Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет

Ч48
Н34

НАУКА ЮУрГУ

Материалы 67-й научной конференции

СЕКЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2015

ББК Ч481.46.я43 + Ч215.1.я43
Н34

Оргкомитет 67-й научной конференции

Ваулин С.Д. (председатель), Рождественский Ю.В., Ульрих Д.В., Шабиев С.Г., Сафонов Е.В., Карпов А.Н., Радченко Г.И., Шестеркина Л.П., Парфентьева Н.Д., Хомутова Т.Н., Келлер А.В., Горшенин В.П., Гузеев В.И., Майсак В.Н., Казаринов Л.С., Солдатова Е.Л., Кундикова Н.Д., Михайлов Г.Г., Авдин В.В., Шиндина Т.А., Баев И.А., Ганджа С.А., Классен А.Н., Волошина И.А., Ангеловский А.А., Демин А.А., Эрлих В.В., Окольнишникова И.Ю., Чванова Е.Е., Чуманов В.И., Довгалюк И.М., Серко И.А., Борщенюк В.Н., Давыдова О.И., Романов Е.В., Кравцов А.И., Орлова Е.Ю., Шкерина Г.А.

Ответственный за выпуск Ваулин С.Д.

Н 34 **Наука ЮУрГУ** [Электронный ресурс]: материалы 67-й научной конференции. Секции технических наук. – Электрон. текст. дан. (55,5 Мб). – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 1 электрон. опт. диск (DVD); 12 см – Системные требования: PC не ниже класса Pentium I; ОЗУ 512 Mb; ОС Windows 2000/XP/Vista/7; Adobe Acrobat Reader; DVD-ROM дисковод. – Загл. с экрана.

Представлены материалы 67-й научной конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и сотрудников, которая состоялась в апреле 2015 года.

Отпечатано с авторских оригиналов.

ББК Ч481.46.я43 + Ч215.1.я43

ISBN 978-5-696-04694-5 © Издательский центр ЮУрГУ, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОТРАКТОРНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

Мартьянов А.С. Решение задач оптимизации в ANSYS MAXWELL 24

Уланов А.Г. Конструкция колесно-ступичного узла (КСУ) автомобилей повышенной проходимости..... 29

Шишков В.В. Моделирование процесса топливоподачи топливной системы аккумуляторного типа..... 33

Рулевский А.Д. Тенденции развития регионального автомобильного рынка..... 36

Рулевский А.Д., Рыбаков В.П. Возможности базовой кафедры вуза в усилении практико-ориентированной направленности обучения специалистов для автосервисных предприятий..... 43

Возмилов А.Г., Андреев А.А., Калмаков В.А. Особенности эксплуатации накопителей энергии на основе химических источников тока в составе автономных энергосистем..... 47

Возмилов А.Г., Калмаков В.А., Андреев А.А. Влияние условий работы накопителя энергии на основе химических источников тока в составе автономных энергосистем на его срок службы..... 52

Ломакин Г.В., Мацулевич М.А., Ломакина Н.М. Оценка возможностей форсирования двигателя 4Ч8,2/7,56 газотурбинным наддувом без изменения конструкции кривошипно-шатунного механизма..... 57

Леванов И.Г., Задорожная Е.А. Оценка ресурса шатунных подшипников коленчатого вала дизеля на основе расчета их гидромеханических характеристик..... 60

Задорожная Е.А., Раскатов Д.И., Иванов Д.Ю. Исследование работоспособности подшипников коленчатого вала теплового двигателя при работе на неустановившихся режимах..... 68

Задорожная Е.А., Сорокин Д.В. Исследование работоспособности и выбор геометрических параметров многослойных подшипников скольжения ротора турбокомпрессора..... 76

Илимбетов Р.Ю., Попов В.В. Результаты моделирования электромеханической трансмиссии грузового автомобиля КАМАЗ... 84

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

Аксенов В.М., Костина Л.К., Пахомова Е.В. Экономический механизм и оценка развития рекреационной недвижимости мегаполиса..... 91

Аксенов В.М., Муртазина К.С. Исследование достоверности кадастровой стоимости объектов капитального строительства и планирования налогообложения недвижимости..... 98

Аксенов В.М., Мухаметдинова Э.С. Исследование рынка коммерческой недвижимости на «Золотой миле» Челябинска……. 104
Амелькович С.В., Брыткова О.К., Губаева М.В. Мультикомфортные дома……. 111
Анисимова Е.Ю. Энергоэффективное управление тепловым режимом зданий……. 116
Асташкин В.М., Маликов Д.А. Сборные вертикальные цилиндрические емкости из стеклопластика…….. 120
Байбурин А.Х., Румянцев Е.В., Беляк М.А., Разумова Я.К. Результаты исследования качества монтажа 26-этажного крупнопанельного дома из изделий завода «Бетотек»……... 127
Белканова М.Ю. Возможности СДО Moodle в подготовке и проведении итоговой государственной аттестации студентов профиля «Водоснабжение и водоотведение»……. 132
Белов С.А. Перспективы развития ландшафтно-экологического каркаса в городе Челябинске и его окрестности…… 137
Беляева Т.В. Гражданские здания и сооружения……... 143
Бобылев А.В. Динамика обслуживания населения крупнейших городов России городским пассажирским транспортом (период с 1991 по 2015 гг.)…….. 147
Ивашенко Ю.А., Фердер А.В. Метод расчета прочности наружных узлов сопряжения панелей многоэтажных зданий в горизонтальных швах……. 153
Карманова Л.Л., Попцова Т.Ю., Дубовикова Е.П. Компас 3D для студентов МТ факультета…….. 156
Карякин А.А., Сонин С.А., Попп П.В., Дербенцев И.С. Экспериментальное исследование работоспособности ребристых железобетонных плит перекрытий серии 7018-М с жестким узлом сопряжения продольных ребер……. 161
Киянец А.В. Расчет истираемости бетона……... 165
Короткий В.А., Попцова Т.Ю. Об одном особом случае пересечения параболических цилиндров…….. 169
Короткий В.А., Усманова Е.А. Кривые второго порядка в задачах моделирования архитектурных оболочек……... 173
Костин А.М., Аршакян Д.Ю. Массовая оценка недвижимости: проблемы и перспективы…….. 181
Кувшинов Н.С. Подготовка инженерных кадров в области графических дисциплин…… 188
Левада Г.П., Турова К.В. Анализ использования методов определения стоимости земельных участков при оценке эффективности инвестиционных проектов…… 195
Логиновский А.Н. Комплексные задачи в пакетах среднего САПР… 201

Максимова В.Н. Применение результатов данных ДЗЗ для картографирования объектов сельского хозяйства..... 206
Малев И.В. Прогнозирование цен на рынке жилья г. Челябинска..... 211
Матис К.А. Организационно-технологические основы скоростного возведения зданий из монолитного железобетона (поточное производство работ)..... 217
Мельник А.А. Моделирование теплообменных процессов при выдерживании бетона в зимних условиях..... 225
Молодцов М.В., Пикус Г.А, Русанов А.Е. Опыт моделирования электропрогрева бетона монолитной фундаментной плиты в зимнее время с помощью по «ELCUT»..... 229
Мусихин В.А. Расчет ширины раскрытия трещин различными нормативными документами..... 234
Потапов А.Н. Соотношения ортогональности в упругопластических диссипативных системах..... 241
Рыбаков М.М. Краевые зоны при устройстве светопрозрачных фасадов..... 249
Сбитнев В.Ф. К вопросу о решении одной задачи теории упругости в полиномах..... 256
Семенов К.О. Устойчивость ригелей многоэтажных зданий с учетом возведения..... 262
Сидоров Г.Ф. Аналитический (безитерационный) метод расчета железобетонных колонн с учетом нелинейности деформационных свойств бетона..... 266
Февралев А.А., Гибадуллина В.В. Моделирование работы пластинчатого теплообменника. Исследование эксплуатационных режимов..... 269
Хмарова Л.И. Концепция графического образования студентов высшей школы в современных условиях..... 276
Ярина Т.В., Бондарь М.С. Разработка типовой схемы горячего водоснабжения для офисных помещений предприятия..... 281

АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кириллов В.В., Шульц А.О. Моделирование теплового режима электрического воздухоподогревателя..... 286
Вайчулис Е.В. О моделировании процесса захолаживания криогенных каналов гелием сверхкритического давления..... 289
Караваев В.Г., Прядко Ю.Г., Слепова С.В. Анализ результатов работы студенческого научного общества «Механик» кафедры ТМ и ОПМ по подготовке студентов к олимпиадам в 2011/12–2014/15 учебных годах..... 297

Караваев В.Г., Прядко Ю.Г., Слепова С.В. Особенности методики подготовки студентов ко всероссийским и международным олимпиадам по теоретической механике…… 302
Прядко Ю.Г., Караваев В.Г. Колебания и «псевдо» равновесие механических систем с тросами…….... 305
Прядко Ю.Г., Чернин Д.Б. О задаче и способах расчета равновесия стержня при наличии сухого трения…… 314
Устиновский Е.П., Вайчулис Е.В. Компьютерные технологии при чтении лекционного курса «Детали машин и основы конструирования»…….... 320
Пешков Р.А. Методика расчета проектных параметров ракеты с учетом процессов теплообмена при минометном старте…… 323
Сергеева А.А., Сидельников Р.В. Влияние нестационарности обтекания на динамику полета летательного аппарата…… 331
Шефер Л.А. Формирование программ эквивалентных испытаний несущих конструкций на ресурс…….. 337
Пономарев И.С., Махнович С.В. Моделирование пробития панели компактным ударником…… 343
Фисивский Н.А., Пантилеев А.С. Модификация специализированного стенда для изучения летных характеристик беспилотного летательного аппарата схемы «винт в кольце»…… 349
Михайлов Е.А., Хищенко Ю.М. Создание модели самолета на основе технологии 3D печати…….... 354

МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Шамин В.Ю., Пугач П.Г. Математические этюды в расчете размерных цепей…… 362
Сарайкин А.М., Корчмарь Ф.Я., Гвоздев В.Ю. Режущая способность лент с различными связующими при шлифовании фрикционных материалов…… 363
Николаенко А.А. Моделирование операций глубинного шлифования на станках с ЧПУ…….... 366
Ардашев Д.В. Влияние химического состава обрабатываемого материала на интенсивность его физико-химического взаимодействия с абразивным материалом при шлифовании…….... 374
Выбойщик А.В. Зависимость динамических характеристик процесса объемного фрезерования от точности обработки…….... 380
Сырейщикова Н.В. Освоение инновационных технологий в образовательном процессе вуза…… 384
Сметанин С.Д., Федоров Д.М. Ротационная головка модульной конструкции для получения порошков резанием……... 392

Савельев А.А. Параметрические методы подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ..... 396
Батуев В.А., Батуев В.В. Моделирование зоны резания при многокоординатном фрезеровании..... 400
Сырейщикова Н.В. Управление технологическим процессом изготовления выпускного клапана с использованием статистических методов..... 406
Щуров И.А., Немытова Е.В. Обработка упорных резьб планетарным фрезерованием на станках с ЧПУ..... 414
Переверзев П.П., Попова А.В. Моделирование процесса съема металла на примере внутреннего шлифования..... 417
Третьяков А.Ю., Сафонов Г.К. О вопросе эмиссии первичных электронов с катода сварочной дуги..... 425
Шаламов П.В., Савельев Д.А., Бабкин В.Э., Валеева Р.М. Формообразование отверстий под резьбу вращающимся пуансоном в тонколистовых заготовках..... 427
Нуркенов А.Х., Савельев Д.А. Исследование фактической жесткости ТС при круглом врезном шлифовании тонкостенных деталей..... 432
Сафин В.Н. Применение СОЖ при фрезеровании..... 436
Шипулин Л.В., Миронова Н.Е., Дьячкова И.В. Разработка алгоритма САМ-модуля проектирования двухступенчатого цикла круглого шлифования на базе общемашиностроительных нормативов.. 438
Болдырев И.С. Решение связанных задач при моделировании процесса резания изотропных материалов методом конечных элементов..... 443
Гузеев В.И. Обеспечение производительности многостадийной обработки..... 446
Мясников Ю.И. Метод системного проектирования универсально-сборных приспособлений..... 453
Тверской М.М., Румянцев Д.В. Оптимальное управление температурным режимом здания при комбинированной системе отопления..... 460
Абдуллоев Р.Т., Сидоров А.И. Физическое моделирование элементов заземлителей при учете электромагнитных процессов..... 467
Сидоров А.И., Сайдалиев Ш.С. О соотношении величин сопротивлений заземления нейтрали и повторных заземлений..... 473
Шеремета И.А., Сидоров А.И. О влиянии углеродных добавок на процесс электризации полимерных поверхностей..... 478
Красильникова Э.М. Природные ресурсы в системе коррекции здоровья работающих во вредных и опасных условиях..... 486
Окраинская И.С., Сидоров А.И. Магнитное поле статического тиристорного компенсатора..... 491

Исаков Д.В., Колесниченко Т.И. Особенности воспитания правовой культуры несовершеннолетних правонарушителей..... 497
Хашковский А.В. Вентиляция застойной зоны акустических экранов с целью обеспечения взрывобезопасности..... 504
Палатинская И.П. Влияние антропометрических параметров человека-оператора автотранспортных устройств..... 508
Волкова М.А. Инновационные формы организации научно-исследовательской работы студентов..... 513

ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ, ТОРГОВЛИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Соболевский А.С. Производство бутилированной питьевой воды на основе скважин в поселке «Залесье» Сосновского района Челябинской области..... 520
Лукин А.А. Применение молочной сыворотки в технологии продуктов питания..... 523
Кисимов Б.М. Исследование возможности внедрения технологической модернизации мукомольной линии на предприятии..... 528
Кретова Ю.И. Инновационные технологии как приоритет энерго- и ресурсосберегающего развития производства продукции растительного происхождения..... 531
Меренкова С.П. Применение пробиотических заквасок в технологии ржано-пшеничных сортов хлеба..... 537
Николаев В.Н. Разработка технологической схемы производства мучных композитных смесей..... 542
Старикова Н.А. Современные тенденции в развитии технологий пищевой промышленности..... 546
Шалагина Ю.А. Влияние СВЧ излучения на кислотность и влажность круп..... 552
Потороко И.Ю., Андросова Н.В. Применение электрофизического воздействия в пищевой промышленности..... 560
Наумова Н.Л. Об опасности загрязнений территории Уральского региона радионуклидами..... 565
Пономарева Т.А. Производство мясных рубленых полуфабрикатов с использованием нетрадиционного сырья..... 569
Рущиц А.А. Об использовании порошка из ягод красной смородины в производстве мучных кондитерских изделий..... 574
Саломатов А.С. О применении β-глюкана в технологии продуктов питания..... 580
Щербакова Е.И. Анализ рынка сети предприятий общественного питания г. Челябинска..... 584

Журавлева Н.Д. Способ получения эмульсионных соусов для здорового питания с заданными функциональными свойствами.. 588
Апалькова Г.Д., Потороко И.Ю., Зеленкин В.Г. Типы аудитов, практикуемые для компаний и организаций, их эффективность на российском рынке научно-технических услуг..... 596
Баранов П.Н. Влияние размерных параметров мясных продуктов на качество ведения процессов замораживания..... 601
Калинина И.В., Ботвинникова В.В. Применимость методов электрофизического воздействия для интенсификации процессов производства кисломолочных продуктов..... 604
Науменко Н.В. Исследование влияния ультразвукового воздействия на скорость протекания процессов черствения хлеба..... 608
Фекличева И.В. К вопросу о повышении пробиотических свойств кисломолочных продуктов..... 611
Цирульниченко Л.А. Моделирование процессов гидратации белков на основе сонохимии..... 614
Потороко И.Ю. Инновационные подходы в формировании потребительских свойств пищевых продуктов..... 620
Руськина А.А. Современные подходы повышения пищевой ценности продуктов переработки овощей..... 626
Попова Н.В. Модернизация технологических схем производства молочных напитков на основе сухого молока..... 632
Прохасько Л.С. Актуальные проблемы науки и техники в пищевой промышленности..... 637
Зурочка А.В., Зурочка В.А. Новые формы организации и проведения международной школы по проточной цитометрии..... 642
Альхамова Г.К., Зубарева Е.К. Государственная политика в области школьного питания..... 645

ФАКУЛЬТЕТ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЛЕКТРОНИКИ

Казаринов Л.С., Барбасова Т.А. Метод идентификации производственных характеристик доменного процесса..... 650
Казаринов Л.С., Вернергольд А.Р., Колесникова О.В. Математическое моделирование динамики процессов вельц-печи..... 656
Вставская Е.В., Константинов В.И. Построение многоканальных источников тока для светодиодных излучателей..... 660
Ямщиков А.В. Алгоритмы частотного управления асинхронными конденсаторными двигателями общего применения в автоматизированных электроприводах с заданными нагрузками.... 663

Астахова Л.В., Еремин И.А., Галимов И.М. Проблемы метрик информационной безопасности в российских и зарубежных публикациях..... 667
Астахова Л.В., Калмыкова Д.В. Оценка личных качеств будущих специалистов по защите информации как субъектов аудита информационной безопасности..... 672
Астахова Л.В., Середкина Е.Д. Типовая модель политики управления информационной безопасностью организации на основе международных стандартов..... 676
Астахова Л.В., Ульянов Н.Л. Модель политики управления осведомленностью сотрудников организации в области информационной безопасности..... 678
Астахова Л.В. Доверие к пользователю информационной системы как компонент доверия к ее безопасности..... 682
Астахова Л.В., Томилов А.А. Понятие и структура управленческой компетенции специалиста по защите информации в области кадровой безопасности..... 688
Томилов А.А. Проблема субъекта управления кадровой безопасностью организации..... 691
Зюляркина Н.Д. Элементы больших порядков в линейных группах и модификация системы Эль-Гамаля..... 695
Баринов А.Е. Температурная граница коагуляции бактерий в физиологическом растворе..... 699
Запевалов В.В. Применение устройств выборки-хранения для уменьшения апертурного эффекта АЦП..... 703
Казимиров А.Н. Радиочастотные и низкочастотные хаотические колебания в устройствах связи..... 709
Петряков Е.А., Рагозин А.Н. Модель авторегрессии узкополосного сигнала..... 714
Тамбовцев В.И., Шевяков И.А., Хаютин А.М. Радиофизические свойства плазменной оболочки, образующейся в мезосфере вокруг ЛА при гиперзвуковом движении..... 718
Булгакова М.В. Использование информационных технологий в управлении предприятием..... 726
Кудрин Л.П., Воробьев М.С. Разработка конструкции антенной решетки с диаграммой направленности специального вида..... 731
Хашимов А.Б. Метод синтеза антенной системы с рефлектором..... 737
Бухарин В.А., Войтович Н.И. Поляризационные свойства резонаторной антенны..... 745
Думчев И.А., Войтович Н.И. Дифракция волны на конце полосковой линии передачи..... 750
Кацай Д.А. Трехкомпонентный тензометрический стенд..... 757

Кацай Д.А., Исупова Т.Д. Подсистема технического зрения робота андроидного типа как объекта двойного назначения…… 764
Анисимов Я.О. Влияние искажений измерительного сигнала на динамику гиростабилизатора с нейронной сетью…… 770
Алешин Е.А. О влиянии случайного изменения параметров модели системы на ее вероятностные характеристики…….... 773
Зырянов Г.В. Динамический синтез многосвязной САР с неминимально-фазовым объектом управления……... 776
Павловская О.О. О методах обеспечения живучести технических систем…….. 781
Плотникова Н.В. Многосвязная исполнительная система манипуляционного робота…… 785
Плотникова Н.В. Об усиленной инженерной подготовке на факультете…… 789
Садов В.Б. Автоматическое управление установкой добычи нефти со штанговым глубинным насосом…….. 791
Чернецкий В.О. Об оценке гармоник вейвлет-спектров……... 795
Щербаков В.П. Применение интернет-технологий в автоматизированных системах управления оборудованием…….. 799

ФИЗИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Михайлов Г.Г., Макровец Л.А., Дресвянкина Л.Е. Взаимодействие лантана, кремния и углерода с кислородом в жидкой стали…… 804
Жихарев В.М. Термодинамические свойства нитрида ниобия…… 810
Морозова А.Г., Лонзингер Т.М., Михайлов Г.Г., Скотников В.А. Саморегулирующийся композиционный гранулированный сорбент на основе силикатов и алюмосиликатов кальция…….... 816
Винник Д.А., Гафаров М.Ф., Павлова К.П., Машковцева Л.С., Чернуха А.С., Живулин В.Е., Живулин Д.Е., Галимов Д.М., Подгорнов Ф.В., Жеребцов Д.А. Исследование влияния давления прессования на фазообразование гексаферрита бария…….. 824
Винник Д.А., Павлова К.П., Гафаров М.Ф., Машковцева Л.С., Чернуха А.С., Живулин В.Е., Живулин Д.Е., Галимов Д.М., Подгорнов Ф.В., Жеребцов Д.А. Оптимизация режима твердофазного синтеза гексаферрита бария $BaFe_{12}O_{19}$…… 828
Штин С.В., Лыкасов А.А. Исследование равновесия вюститного и шпинельных растворов в системе Fe – Ge – O…… 833
Кузнецов Ю.С., Качурина О.И. Окислительно-восстановительный потенциал газовых фаз…….. 838
Швецов В.И., Кулаков Б.А., Иванов М.А. Экономия металла в производстве отливок…… 846

Варламов А.С. Керамические стержни для художественного литья... 849
Дубровин В.К. Перспективы применения неорганических силикатных связующих в литейном производстве..... 856
Знаменский Л.Г. Экономичные керамические формы в художественном литье по выплавляемым моделям..... 860
Ивочкина О.В. Наноструктурированные материалы в процессах модифицирования металлов..... 867
Карпинский А.В. Компьютерное моделирование литья титан-алюминиевого интерметаллидного сплава..... 871
Капелюшин Ю.Е., Рощин В.Е., Рощин А.В. Селективное извлечение железа из малотитанистых магнетитовых концентратов для увеличения содержания оксидов ванадия и титана..... 875
Шабурова Н.А. Импульсная обработка расплавов: от практики к теории..... 885
Горячев Е.А., Крайнов В.И. Исследование деформируемости ультрамелкозернистого титана..... 889
Дубинский Ф.С., Соседкова М.А., Мальцев П.А. Современные методы обучения и контроля знаний технологического персонала на базе тренажеров-имитаторов процессов прокатки..... 892
Болдов Ю.П., Кувшинова Н.Л., Фирстова С.В. Устройство, действие и испытание огнетушителя «Малыш» с пиротехническим приводом..... 899
Ильичев В.Г., Залавин Я.Е. Влияние условий контактного взаимодействия инструмента и листа на качество трубной заготовки при догибке кромок..... 903
Мишин С.Н., Алюшкаев Е.А., Струин Д.О., Шеркунов В.Г. Исследование характера износа оправок стана МРМ и пути повышения срока их эксплуатации..... 909
Шеркунов В.Г., Дубинский Ф.С., Загуменнов О.В., Моторыгин М.Е., Симачев В.С. Новые возможности производства металлопроката на современном металлургическом комбинате..... 915
Карева Н.Т., Пелленен А.П., Хабибуллин А.А. Влияние рекристаллизационного отжига на состояние поверхности плакирующего слоя биметалла..... 920
Уланов А.М., Иванов М.А. Методика повышения скорости многодуговой сварки при производстве труб большого диаметра..... 925

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Хохлов Ю.И., Прохоров В.В. Улучшение массогабаритных показателей и быстродействия выпрямителей с дроссельным управлением..... 930

Хохлов Ю.И., Сафонов В.И., Лонзингер П.В. Электромагнитные процессы в некомпенсированных выпрямителях с повышением фазности векторным управлением..... 935
Сафонов В.И., Джакупова К.А. Упрощенная модель двенадцатифазного компенсированного выпрямителя..... 941
Ершов А.М. Методы передачи информации в электрических сетях напряжением 380 В..... 946
Ершов А.М., Манжуков К.Р., Бухмастов А.К. Управление режимами работы подстанции, питающей нефтеперекачивающую станцию..... 954
Валеев Г.С., Валеев Р.Г., Ершов А.М., Колесников С.А. Исследование на компьютерной модели влияния степени несимметрии нагрузок фаз двух параллельно работающих ВЛ 380 В на величину токов и напряжений и их симметричных составляющих в нормальных эксплуатационных режимах работы сетей..... 960
Валеев Г.С. Валеев Р.Г., Мухтаров И.В., Плотникова И.В. Исследование на компьютерной модели влияния степени несимметрии нагрузок фаз и сетевых параметров на величину токов и напряжений и их симметричных составляющих в конце передачи «блок трансформатор – ВЛ 380 В» в нормальных эксплуатационных режимах..... 967
Валеев Г.С., Валеев Р.Г., Матвеева Н.С. О целесообразности усовершенствования методики расчетов по определению экономически обоснованного значения расстояния между ГПП и промежуточными РП в сетях напряжением 6–10 кВ и основных факторах, влияющих на решение..... 974
Цытович Л.И., Дудкин М.М., Брылина О.Г., Сапрунова Н.М., Логинова Н.А. Развертывающие преобразователи с однотактной широтно- и частотно-широтно-импульсной модуляцией..... 980
Брылина О.Г. К анализу аддитивной ошибки многозонного развертывающего преобразователя с частотно-широтно-импульсной модуляцией..... 989
Цытович Л.И., Дудкин М.М., Брылина О.Г., Драчев Г.И., Логинова Н.А. Тиристорный преобразователь постоянного тока для объектов с питанием от автономных энергетических установок... 996
Цытович Л.И., Брылина О.Г., Нестеров А.С., Тюгаев А.В., Логинова Н.А., Лопухова Е.А. Электропривод системы водоснабжения сельского поселения с дискретным управлением..... 1001
Цытович Л.И., Дудкин М.М., Нестеров А.С. Интегрирующий преобразователь аналогового сигнала в частоту импульсов..... 1007
Цытович Л.И., Дудкин М.М., Нестеров А.С., Тюгаев А.В. Устройства синхронизации ведомых сетью вентильных преобразователей с адаптацией к нестабильности амплитуды напряжения сети..... 1014

Бычков А.Е., Верцюх А.С., Евдокимов В.С., Бодренко А.П. Развитие регулируемого синхронного электропривода на примере модернизации лабораторных стендов…….. 1022
Горожанкин А.Н. Обзор регулируемых электроприводов с традиционными и новыми электрическими машинами…….. 1025
Кодкин В.Л. Оптимальность и устойчивость электромеханических систем…….. 1032
Кодкин В.Л., Балденков А.А., Логинова Н.А. Экспериментальные исследования асинхронных электроприводов с частотным управлением. Неустойчивость векторного управления……. 1039
Кодкин В.Л., Аникин А.С., Балденков А.А. Динамическая положительная связь в асинхронных электроприводах с частотным управлением…… 1043
Кодкин В.Л., Аникин А.С., Балденков А.А., Качалин А.Ю. Идентификация регуляторов теплоснабжения динамическими звеньями с переменными характеристиками……... 1049
Кодкин В.Л., Балденков А.А., Качалин А.Ю., Аникин А.С., Немков В.Л. Экспериментальные исследования динамики систем теплоснабжения…….. 1054
Кодкин В.Л., Балденков А.А., Качалин А.Ю., Аникин А.С., Немков В.Л. Оптимизация энергопотребления в тепловых системах методами ТАУ…… 1058
Шмарин Я.А., Кодкин В.Л. Динамические характеристики системы частотного электропривода на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами……. 1062
Нестеров А.С., Шапкин А.А. Исследование системы поддержания давления на базе стенда «Интеллектуальные датчики и SCADA-системы»…….. 1068
Сапрунова Н.М., Киричук С.В., Гребнев А.И. Переходные процессы в источнике вторичного энергопитания……... 1076
Жиргалова Т.Б. Реконструкция системы теплоснабжения жилого микрорайона района № 1 г. Копейска…….. 1079
Жиргалова Т.Б. Выбор источника теплоснабжения для производственной базы «Спецтехника» Тракторозаводского района г. Челябинска……. 1083
Жиргалова Т.Б. Реконструкция камерной печи ЗП1 ОАО «Уральская кузница» с целью повышения энергоэффективности 1085
Лымбина Л.Е. Энергосбережение зданий……... 1086
Осинцев К.В., Лыксов В.С. Увеличение выработки электроэнергии Костанайской ТЭЦ путем установки теплофикационных турбин……. 1089
Реш А.Г. Усовершенствование схемы сжигания Экибазстузского угля на ТЭЦ-2 г. Петропавловск……... 1093

Торопов Е.В. Применение метода однократного нагрева к оценке аккумуляционных процессов…… 1097
Шашкин В.Ю. Интенсификация конвективного теплообмена в насадках доменных воздухонагревателей…… 1102
Шашкин В.Ю. Перспективные конструкции насадок доменных воздухонагревателей…….. 1107
Бакунин В.В. Преобразователь напора «турбина-насос»…….. 1113
Sheshukov V.V., Bakin A.A., Litvinova E.V. There is now room for dissenting opinions……... 1120
Кирпичникова И.М., Волкова О.С. Использование энергоэффективных систем освещения в коммерческой недвижимости в условиях Южного Урала…… 1124
Гун В.С., Морозова В.С., Бакин А.А. Математическое моделирование течения топлива в каналах конуса распылителя форсунки дизеля методом численного конформного отображения….. 1130
Кирпичникова И.М., Малюгина А.А. Оценка энергетической эффективности возобновляемой энергетики……... 1137
Козин А.А. Экономическая оценка питания автономных потребителей от группы вертикально-осевых ветроэнергетических установок…….. 1142
Круглов Г.А., Круглова Е.С. Оценка эффективности использования тепловых насосов в отопительно-вентиляционных системах животноводческих помещений…… 1148
Аникин А.С., Мартьянов А.С. Математическая модель литий-железо-фосфатной аккумуляторной ячейки и батареи на ее основе…. 1152
Мартьянов А.С. Исследование транзисторного ключа импульсного преобразователя…….. 1157
Мартьянов А.С. Моделирование алгоритмов заряда аккумуляторной батареи…… 1165
Низамутдинова Н.С., Пташкина-Гирина О.С., Низамутдинов Р.Ж. Экономическая оценка проектов возобновляемой энергетики……. 1172
Соломин Е.В., Козлов С.В., Киндряшов А.Н. Возможности сотрудничества РФ-КНР в области возобновляемой энергетики……. 1178
Телюбаев Ж.Б., Ильин Ю.П., Доскенов А.Х. К вопросу об исследовании параметров элементов БГУ горизонтального типа с использованием имитационной динамической модели……... 1186
Смолин В.И., Топольская И.Г., Яковлев В.А. Алгоритмы управления ветряным двигателем по критерию максимума отбора мощности…... 1192
Топольский Д.В. Развитие концепции активно-адаптивных сетей….. 1198
Усков А.Ю. Адаптивный алгоритм управления системой отопления помещения……... 1202
Четошников С.А. Системы управления ветроустановками в интеллектуальной сети……... 1210

Шешуков В.В., Нараева Р.Р. Энергия распада ядра $_{83}Bi^{210}$ при воздействии наносекундных электромагнитных импульсов……. 1214
Павлюков В.С., Павлюков С.В. Применение способа интеллектуального управления режимами электрических систем…... 1218
Коржов А.В. Оценка эксплуатационной надежности кабельных линий 6(10) кВ в условиях развивающихся городских электрических сетей на примере г. Челябинска……... 1221
Садовников А.Н. Выполнение встречно-направленной логической защиты шин 6–35 кВ на свободно-программируемых терминалах, поддерживающих стандарт МЭК 61850…….. 1225

ФАКУЛЬТЕТ ВОЕННОГО ОБУЧЕНИЯ

Зайчиков Ю.Н. О влиянии гусеничных движителей на боевые и эксплуатационно-технические свойства ВГМ……. 1233
Костюк А.Д. Изменение характера внутренних вооруженных конфликтов в XX веке в связи с изменением социально-экономических условий…… 1237
Лутченко А.Д. Психология личности будущего офицера…… 1247

ФИЛИАЛ В г. АША

Мохова А.В. Основные вредные и опасные производственные факторы электросталеплавильного производства…….. 1252
Чванова Е.Е. Экспериментальное исследование процесса несимметричной прокатки толстых полос…….. 1257

ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ В г. ЗЛАТОУСТ

Сергеев С.В., Решетников Б.А., Микрюков А.А. Исследование формы траектории движения рабочего органа роторных инерционных виброприводов……... 1261
Дерябин И.П., Головачёв С.Ю. Разработка методики определения жесткости сверла с многогранными неперетачиваемыми пластинками 1264
Пестов С.П. Модели формообразования отверстий двухлезвийными концевыми мерными инструментами…….. 1272
Дерябин И.П., Павлючук С.И., Чернышев С.В. Экспериментальные исследования влияния подточки перемычки спиральных сверл на точность обработки отверстий…… 1278
Сергеев Ю.С., Сергеев С.В., Шильберт Л.С., Медведева А.Г. Проблемы практической реализации *CALS*-технологий на производстве 1282

Сергеев Ю.С., Сергеев С.В., Кононистов А.В. Универсальное автоматизированное устройство для снятия остаточных напряжений вибрацией в сварных конструкциях..... 1286
Дерябин И.П., Миронова И.Н., Пантелеев С. В. Исследование стойкости многогранных неперетачиваемых пластин при токарной обработке титановых сплавов..... 1290
Бружас В.В., Лопатин Б.А. Формирование твердотельных трехмерных моделей эвольвентно-конических колес..... 1296
Лопатин Б.А., Бружас В.В. Особенности зубчатых передач с эольвентно-коническими колесами на параллельных осях..... 1299
Казарцев Д.Н. Кинематические характеристики зацепления гиперболоидных зубчатых передач..... 1305
Плотникова С.В., Плотников В.А. Создание моделей реальных объектов с помощью современных технологий..... 1311
Плотникова С.В., Сухарева О.А. Разработка модели пулемета системы Максима (Максим)..... 1314
Сандалов В.М., Полуэктов Е.А., Хазиев Т.Р. Применение вентильных двигателей в независимых приводах машины безогневой резки труб большого диаметра..... 1317
Чуманов В.И., Аникеев А.Н., Чуманов И.В. К вопросу создания композиционных металлических материалов с задаваемым комплексом механических и физических свойств за счет введения мелкодисперсных фаз с различной удельной плотностью..... 1324
Аникеев А.Н., Чуманов И.В. Способ повышения износостойкости коронок экскаваторов путем дисперсного упрочнения карбидом титана 1331
Аникеев А.Н., Чуманов И.В. Исследование взаимодействия карбида вольфрама и металлического расплава..... 1334
Чуманов И.В., Дильдин А.Н., Трофимов Е.А. Разработка технологии пирометаллургического восстановления шлаков сталеплавильного производства..... 1337
Дильдин А.Н., Еремяшев В.Е., Пономаренко В.В. Жидкофазное восстановление отходов сталеплавильного производства..... 1339
Жильцова Т.А., Трофимов Е.А. Моделирование фазовых равновесий, реализующихся при выплавке и термообработке никельсодержащих жаростойких и жаропрочных сплавов..... 1341
Матвеева М.А. Использование программного комплекса «Тиксомет» для решения прикладных задач металлургии и материаловедения..... 1344
Чуманов И.В., Матвеева М.А., Чуманов В.И. Исследование структуры и механических свойств многослойного металлического материала полученного методом электрошлакового переплава..... 1346
Чуманов И.В., Матвеева М.А., Порсев М.А. Исследование структуры переходной зоны биметаллического слитка, полученного методом электрошлаковой плавки..... 1351

Аникеев А.Н., Сергеев Д.В. Разработка и конструирование системы дозирования дисперсных частиц…….. 1355
Трофимов Е.А. Термодинамический анализ фазовых равновесий в многокомпонентных системах, включающих металлические расплавы 1359
Кузьминых О.В. Необходимость ухода и наблюдения за бетоном в период твердения с 29-х и последующих суток……... 1361
Хворонова Н.М. Автоматизированный метод построения орнамента из элементов модулей…… 1364
Лисиенкова Л.Н., Дерябина А.И. Рынок легкой промышленности и индустрии моды сегодня: аспекты развития в условиях импортозамещения……. 1368
Смолина О.А. Технология изготовления форменной одежды для смотрителей музея…….. 1373
Лисиенкова Л.Н., Дерябина А.И. Разработка методов оценки и исследование деформации нетканых материалов для одежды в условиях циклического сжатия…….. 1378
Мязина Ю.С. Прогнозирование надежности шовных соединений трикотажных полотен в эксплуатации……. 1383

ФИЛИАЛ В г. КЫШТЫМ

Ахлюстина В.В. Электроэрозионная обработка зубчатых колес…… 1388
Плаксин С.Ф. Методы производства резинотехнических изделий для машиностроения…… 1393
Ардашев Д.В., Захарова О.С. Анализ производственных данных по эксплуатации шлифовальных кругов в изменяющихся технологических условиях…… 1398
Ардашев Д.В. Имитационная модель процесса микрорезания…… 1403
Ахлюстина В.В. Методы и средства измерений и испытаний зубчатых колес……... 1408
Попова А.В. Аналитическое моделирование силы резания, возникающей в процессе внутреннего шлифования…….. 1413
Суворова Н.Н., Ардашев Д.В. Государственный экзамен бакалавров по направлению 15.03.05 (151900.62). Особенности проведения…... 1421
Суворова Н.Н., Ардашев Д.В. Выпускная квалификационная работа бакалавров по направлению 15.03.05 (151900.62). Особенности выполнения…… 1425
Погорелов Н.А., Ахлюстина В.В. Анализ параметров точности зубчатых колес……... 1428
Ахлюстина В.В., Власов И.С. Точность обработки деталей машин... 1435
Попова А.В., Тиль С.В. Анализ современных проблем проектирования шлифовальных операций…….. 1442

Силаева Л.А. Совершенствование методов преподавания графических дисциплин при переходе на стандарты нового поколения 1449
Силаева Л.А. Проектирование педагогической системы обучения инженерной графике с использованием новых информационных технологий…….. 1455
Силаева Л.А., Чудинова Е.Д. Демонстрационный материал для выполнения сборочного чертежа в учебном процессе…… 1460
Иванеев Д.В. Возможность использования обратных некорректных задач в радионавигации для повышения помехоустойчивости и методы их решения…… 1469
Аврамов Д.В. Получение объемных изображений в рентгеновской компьютерной томографии……... 1476

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ В г. МИАСС

Краснокутский В.В., Штыка М.Г., Штыка А.Г. Повышение эффективности использования пожарного автомобиля расширением способов тушения пожаров……... 1484
Штыка М.Г., Краснокутский В.В. Снижение механических потерь впуска ДВС, работающих на легких углеводородах…….. 1489
Камерлохер В.А. Повышение эффективности проезда перекрёстков г. Миасса…… 1492
Абрамов М.И. Автоматизация обработки экспериментальных и расчетных данных нагруженности колесных машин…….. 1498
Мельниченко В.Г. Относительная распространённость олова в биосфере и его биогенность……... 1504
Зезин В.Г., Новиков А.И. Анализ рассогласования величин суммарного потребления горячей воды жильцами многоквартирного дома при его коммерческом учете по показаниям индивидуальных и общедомовых приборов путем имитационного моделирования…... 1508
Новиков А.И., Зезин В.Г., Шабанов О.Н. Исследование влияния местных сопротивлений на пространственное поле скорости жидкости в проточной части расходомера и погрешность его показаний…… 1518
Зезин В.Г., Новиков А.И. Анализ погрешности измерительной схемы учета теплоносителя ГВС с расходомерами, установленными на общих коллекторах теплового пункта…… 1526
Зезин В.Г. Метод решения задачи гидравлического расчета тепловых схем теплоэнергоустановок…… 1536
Чемборисов Н.А. Обоснование выбора материала режущей части инструмента при формообразовании поверхности детали резанием... 1546
Бережко Л.Н. К вопросу о преподавании темы «Методы преобразования проекций» в начертательной геометрии…….. 1554

Горшков В.А. Характерные особенности стандарта ИСО 9001 в новой редакции 2015 года…….. 1560
Волохов В.А. Применение компьютерных графических программ в учебном процессе…… 1569
Миронов В.М. Особенности курса деталей машин и основ конструирования при подготовке специалистов в области автомобилестроения……... 1572
Пяткин В.А., Слесарев Е.Н. Особенности основ рационального проектирования при подготовке специалистов в области проектирования, производства и эксплуатации летательных аппаратов 1576
Сердега Ю.П. Динамика вращательного движения системы тел с использованием компьютерных технологий…… 1580
Сердега Ю.П., Волохов В.А. Исследование и визуализация многозвенных механизмов с применением компьютерных технологий 1585
Слесарев Е.Н. Качество технического образования в нашей стране: опыт и перспективы……... 1595
Слесарев Е.Н. Проблемы управления качеством на примере отечественных предприятий строительной отрасли……... 1601
Слесарев Е.Н., Шабанов М.Н. Возможности и перспективы применения 3D-принтеров в образовании, машиностроении и архитектуре…….. 1605
Шабанов М.Н. Некоторые аспекты применения информационных технологий в образовательном процессе на примере курса «Сопротивление материалов»……... 1608
Мельчаков А.П., Казакова Е.А. Воздействие на безопасность зданий и сооружений в системе предупреждения аварий…….. 1611
Чебоксаров Д.В. О целесообразности сквозной разработки ВКР бакалавров направления «Строительство»…….. 1617
Эпштейн М.С. Опыт привлечения экспертных организаций с целью достоверного подтверждения соответствия выполненных СМР требованиям безопасности при осуществлении функций ГСН……. 1622
Казакова Е.А. Информационная модель контроля конструкционной безопасности строительства в системе страхования на случай аварии 1625
Шерстобитова Е.Г. Нормативно-правовые аспекты «реверсного» проектирования зданий…… 1629
Власов А.А. 3D принтеры в строительстве…… 1634
Суховая С.И. Фибробетон…… 1636
Галашев Н.В. Проблемы в области негосударственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий…… 1641
Кошкин В.Е. О рациональном соотношении технического творчества и управления для инженеров-руководителей при проектно-исследовательских работах……... 1646

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ В г. МИАСС

Афанасьев В.А., Киселёв В.И. Управление возвращаемым космическим аппаратом с регулируемым центром масс..... 1655
Биткин С.А., Кузнецов А.Б. Расчет массовых характеристик и поверхности горения заряда РДТТ в среде 3 D-моделирования Creo Parametric..... 1664
Киселёв В.И. Многокритериальная оптимизация траектории спуска многоразовой одноступенчатой ракеты..... 1672
Лопатин В.М., Насыров Р.Ш. Высокотемпературная вакуумно-компрессионная плавильная установка..... 1680
Мокин Ю.А. Оценка изменения положения центра давления сферы за счет малого изменения формы её передней части при сверхзвуковом и гиперзвуковом обтекании..... 1685
Мухачев А.Г., Хусниярова Л.Т. Оценки напряженно-деформированного состояния и прочности тонкостенных оболочечных конструкций при воздействиях импульса давления..... 1695
Суслов А.А. Трехмерная динамическая модель движения в атмосфере изделия с переменными массо-центровочными характеристиками... 1701
Телегин А.И., Тимофеев Д.Н. Генератор X3D-моделей механических систем..... 1709
Телегин А.И., Читалов Д.И. Математическое моделирование трехстепенного манипулятора..... 1716

ФИЛИАЛ В г. УСТЬ-КАТАВ

Виноградов К.М., Константинов В.Д. Расчет массивного ротора синхронной реактивной машины независимого возбуждения..... 1724
Виноградов К.М. Энергосбережение в электроприводах котельных установок промышленных предприятий..... 1727
Иршин А.В., Голубева Н.С. Окрашивание кожаных изделий..... 1731
Константинов Ю.В., Некрутов В.Г., Константинов В.Д. Анализ современных SCADA-систем..... 1734
Колесов Ю.Б., Некрутов В.Г. Не бороться с гофрами, а управлять! 1740
Некрутов В.Г., Иршин А.В. Исследование способов механического возбуждения колебаний..... 1742
Пестов С.П. Модели точности формообразования отверстий двухлезвийными кольцевыми свёрлами..... 1747
Дружкова Н.Л., Константинов В.Д. Вопросы энергосбережения на городском транспорте..... 1751
Юдин С.Н., Пестов С.П. Моделирование элементов технологической системы для обработки отверстий..... 1754

Сергеев Ю.С., Сергеев С.В., Мальцев П.С. Интенсификация гидродинамических процессов при получении и регенерации технологических многокомпонентных смесей..... 1762
Сергеев С.В., Шелегов А.А., Сергеев Ю.С. Особенности верификации управляющих программ по точности формообразования поверхностей 1766
Сергеев Ю.С., Сергеев С.В., Акимов Д.О. Опыт практического освоения методики исследований в программной среде T-FLEX CAD 12..... 1770

ФИЛИАЛ В г. САТКА

Марков А.Б. Пустотелый заполнитель для бетонов на основе бумаги и минерального сырья..... 1774
Маркова М.В. Изучение свойств керамических изделий с различными отощающими добавками..... 1777
Рябинин А.В. Пенобетон в современном строительстве..... 1781

ФИЛИАЛ В г. НИЖНЕВАРТОВСК

Зверева Е.А. О возможностях применения некоторых SCADA-систем в учебном процессе..... 1785
Жарова Н.Р. Из опыта преподавания различных разделов математики при помощи универсальных математических систем..... 1793
Нурисламов О.Р. Образование гидратов в газопроводах..... 1800
Пономарева С.Г., Латвин В.В. Повышение трещиностойкости асфальтобетонных покрытий..... 1803

ФИЛИАЛ В г. ОЗЕРСК

Погорелов С.Н., Гончаров Ю.В. Исследование деформативности и морозостойкости тяжелых бетонов..... 1806
Погорелов С.Н. Повышение морозостойкости сталефибробетона путем использования активных минеральных добавок..... 1808
Пикус Г.А., Евсеев Б.А., Гончаров Ю.В. Удобоукладываемость сталефибробетонных смесей, подвергнутых предварительному электроразогреву..... 1812
Киянец А.В., Гончаров Ю.В. Энерго- и ресурсосберегающие технологии в строительстве..... 1815
Исакова Е.С., Коваль С.Б., Гончаров Ю.В., Чистякова Е.В. Исследование параметров уровня подготовки выпускников по направлению «Строительство» Озерского филиала ЮУрГУ..... 1818

Гончаров Ю.В., Коваль С.Б., Исакова Е.С., Чистякова Е.В. Анализ итоговых показателей конкурентоспособности молодых специалистов на рынке труда (на примере выпускников кафедры «Строительство» филиала ЮУрГУ в г. Озерске)……. 1824
Байбурин А.Х. Риск-анализ конструктивной системы крупнопанельных зданий…… 1828

ФИЛИАЛ В г. СНЕЖИНСК

Крупнова Н.Е. Контроль качества малярных работ в строительстве 1834
Ницкая С.Г. Поверхностный сток…….. 1838
Степанов В.Ф. Об одном способе выхода из особой точки в автомодельной задаче о сферическом поршне……... 1842
Шартдинова Р.Ф. Бренд города как его фирменный знак……. 1845
Янголь Ж.А. Особенности охраны труда в строительстве……... 1848

АВТОТРАКТОРНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

УДК 621.313.1 + 004.45

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ В ANSYS MAXWELL

А.С. Мартьянов

В статье показаны возможности программного обеспечения Maxwell в области оптимизации электромеханических систем. До создания систем автоматического проектирования инженеры были вынуждены производить все расчеты вручную и тратить на это большую часть времени разработок. С внедрением систем автоматического проектирования появилась возможность переложить обязанности по расчету на мощные калькуляторы, а затем и вовсе опереться на компьютерные программы. Появились программные средства, основанные на методах конечных элементов, позволяющие производить расчеты с задаваемой пользователем точностью. Все это позволяет рационально использовать время инженерной работы. При обеспечении современными технологиями инженер имеет возможность тратить большую часть работы не на пересчеты, а на поиск творческих инновационных идей, несмотря на сложность их дальнейшего расчета.

Ключевые слова: ANSYS Maxwell, вентильная электрическая машина, анализ характеристик электрических машин, расчет вентильных электрических машин, оптимизация параметров.

В статьях [1, 2] были продемонстрированы некоторые возможности расчета и анализа электромеханических систем. Однако в практике проектирования требуется не только расчет и анализ, но так же и оптимизация самой системы и отдельных ее узлов [3].

Большинство методов оптимизации легко программируются на ЭВМ, что позволило разработать большое количество различных программ. Из существующих на сегодняшний день программ оптимизации, наиболее удобной и простой в использовании, для расчета электромеханических систем, является программа Ansys Maxwell [4]. В программе предложено четыре модуля и шесть алгоритмов оптимизации. Среди них наиболее часто пользуются в инженерной практике такие модули как Parametric (параметризация) и Optimization (оптимизация). В использовании алгоритмов оптимизации особых предпочтений выделить нельзя, так как каждый алгоритм определяется собственными достоинствами и собственными недостатками, при этом радикальных отличий в них нет. Списки модулей и алгоритмов представлены на рисунке 1.

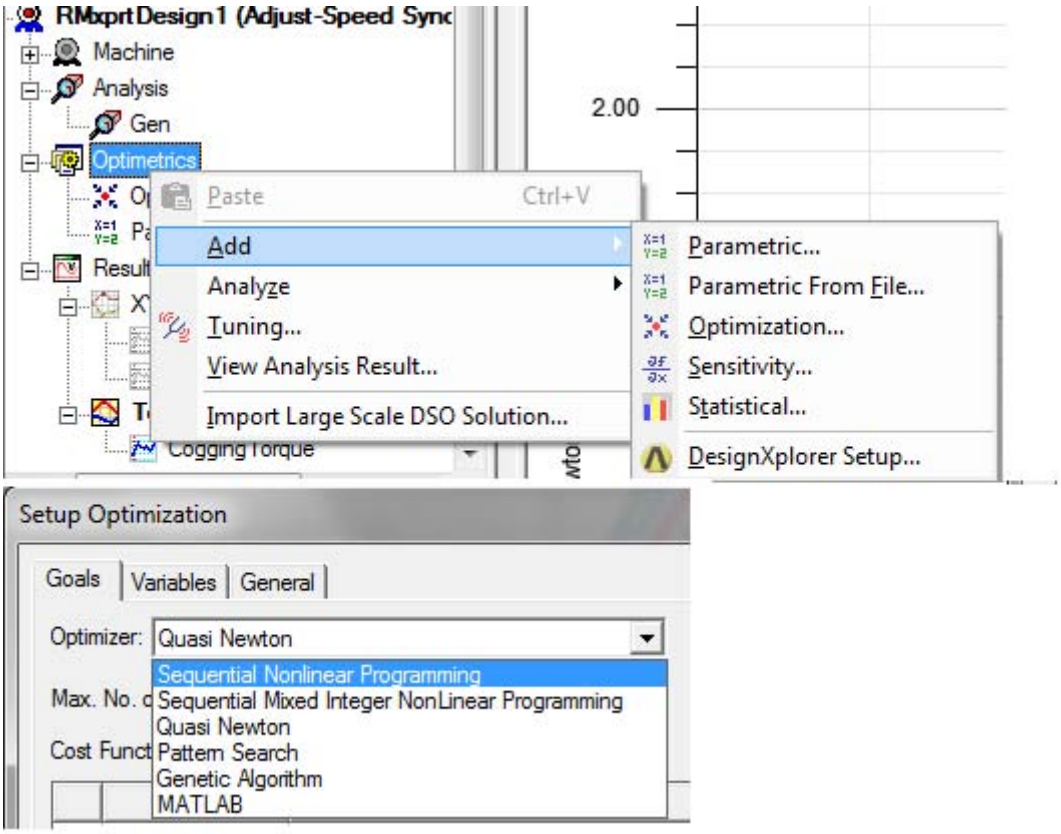


Рис. 1. Список модулей и алгоритмов оптимизации

Перед началом процесса оптимизации необходимо выполнить ряд несложных настроек. Требуется задать переменные, которые подлежат изменению в процессе оптимизации. На рисунке 2 показан список таких переменных. Здесь необходимо отметить, что при наличии знака доллара перед именем переменной программа распознает эту переменную как глобальную, и ее можно использовать в любом дизайне проекта. Если же знак доллара не поставить, то программа будет воспринимать переменную как локальную, для одного конкретного дизайна в проекте. В этом случае задавать ее можно непосредственно в диалоговом окне выбора размеров и параметров дизайна. Затем необходимо выбрать модуль подпрограммы оптимизации, который предполагается использовать, как показано на рисунке 1.

Рассмотрим модуль параметризации. В этом модуле определяется влияние одной, или нескольких переменных на остальные параметры системы. Для проведения параметризации необходимо лишь ввести переменные, которые будут изменяться, а также параметр, влияние на который исследуется.

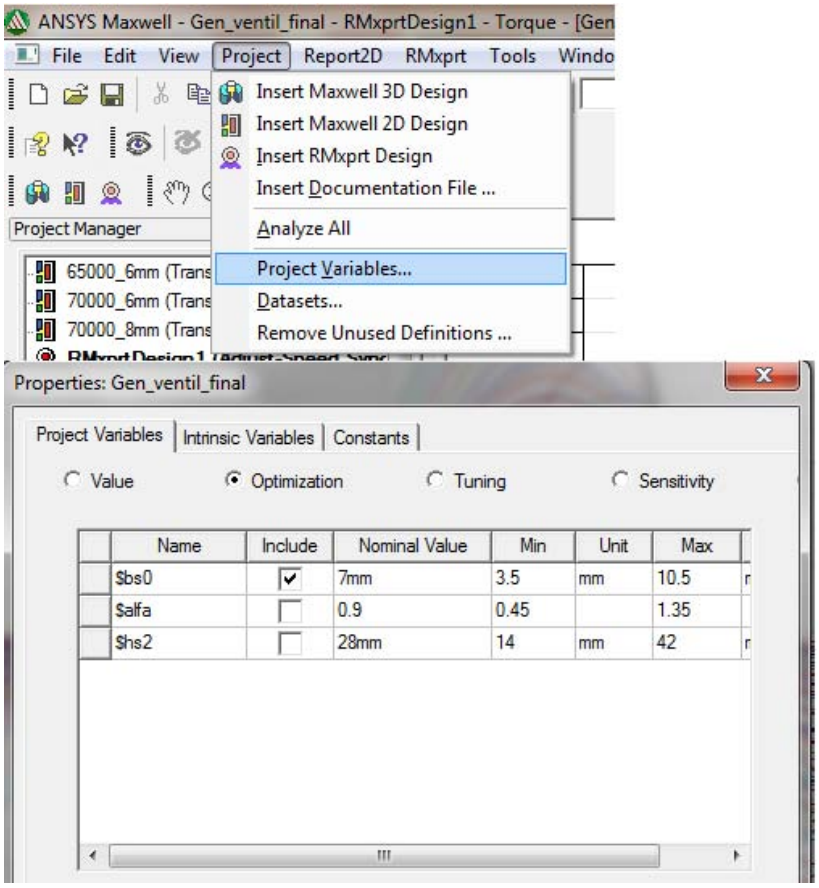


Рис. 2. Список переменных для оптимизации

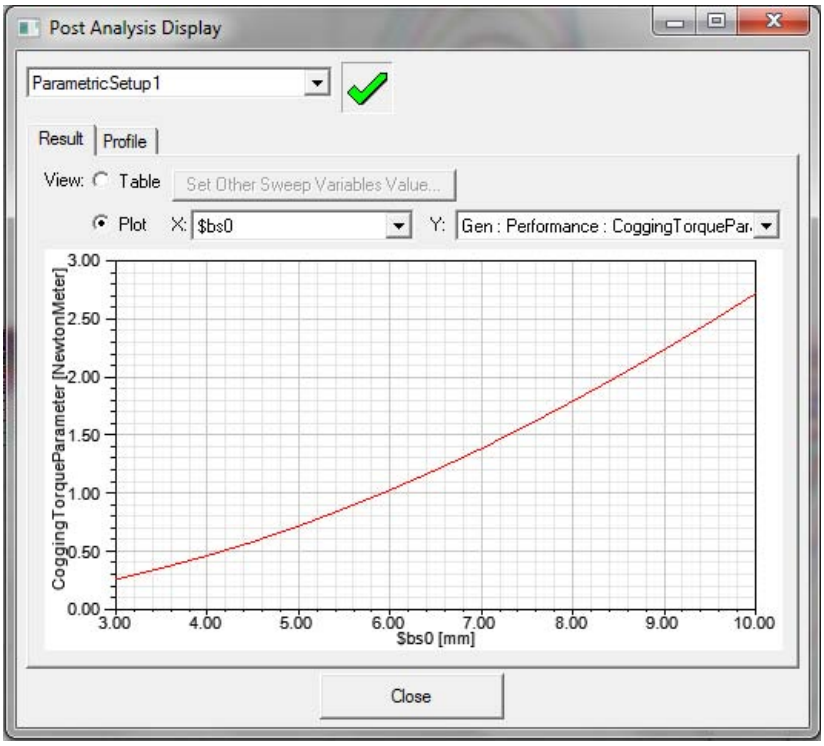


Рис. 3. Результат параметризации

В качестве примера рассмотрим влияние ширины раскрытия паза статора на реактивный момент трехфазной электрической машины с постоянными магнитами [5]. Из теории известно, что чем меньше ширина раскрытия паза, тем меньше реактивный момент [6]. Результат проиллюстрирован на рисунке 3.

Рассмотрим модуль оптимизации. Он подразумевает поиск решения, при котором значения переменных и значения параметров будут изменяться в допустимых пределах [7]. Для решения задачи оптимизации со слов самих разработчиков самым универсальным является алгоритм Sequential Nonlinear Programming. Объясняется это тем, что такой алгоритм позволяет избежать зацикливания программы на локальном минимуме функции оптимизации. В качестве примера рассмотрим минимизацию реактивного момента в зависимости от ширины раскрытия паза [8]. Результат проиллюстрирован на рисунке 4.

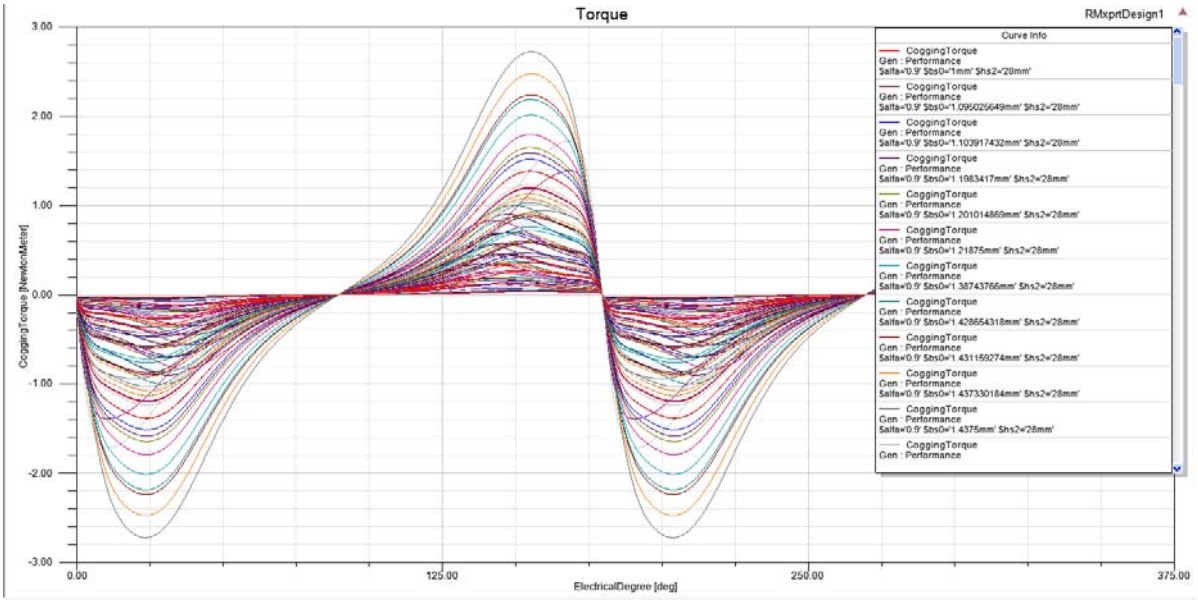


Рис. 4. Результат решения задачи оптимизации.
Семейство зависимостей реактивного момента от электрического угла поворота ротора при различных раскрытиях паза

Показанным способом возможно производить автоматизированные параметрические и оптимизационные расчеты при любом количестве переменных и любых граничных условиях в течение короткого времени [9]. Продемонстрированное в статье решение применительно к подпрограмме RMxprt, но этот же подход применим и к другим подпрограммам программы Maxwell. При этом надо учитывать, что решение подобных задач методом конечных элементов требует значительные системные ресурсы, в противном случае процесс оптимизации занимает много времени на последовательный перерасчет множества вариантов решения.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках комплексного проекта «Создание производства модельного ряда микротурбинных энергоустановок нового поколения» по договору № 02.G25.31.0078 от 23.05.2013 г. между Министерством образования и науки Российской Федерации и Открытым акционерным обществом «Специальное конструкторское бюро «Турбина» в кооперации с головным исполнителем НИОКТР – Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет).

Библиографический список

1. Мартьянов, А.С. Анализ электромеханических систем с помощью ANSYS MAXWELL / А.С. Мартьянов, Н.И. Неустроев // Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 19(159). – С. 47–52.

2. Martyanov, A.S. ANSYS Maxwell Software for Electromagnetic Field Calculations / A.S. Martyanov, N.I. Neustroyev // Eastern European Scientific Journal. – 2014. – № 5. – С. 206–210. – URL: http://www.auris-verlag.de/mediapool/99/990918/data/DOI_10.12851_EESJ201410.pdf.

3. Ганджа, С.А. Анализ электромагнитной мощности для различных конструктивных исполнений вентильных машин с аксиальным потоком / С.А. Ганджа // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика» – 2010. – Вып. 14. – № 32. – С. 64–69.

4. Клявлин, А. Новые возможности ANSYS в области моделирования электромагнитных полей / А. Клявлин // САПР и графика. – 2012. – № 3 (185). – С. 44–46.

5. Ваулин, С.Д. Электрический генератор для газотурбинной установки / С.Д. Ваулин, С.А. Ганджа, А.С. Мартьянов // Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 19(159). – С. 35–40.

6. Мартьянов, А.С. Вентильная электрическая машина для энергетической установки / А.С. Мартьянов, Е.В. Соломин // Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 19(159). – С. 42–46.

7. Martyanov, A.S. Generator of Turbine Engine Power Station / A.S. Martyanov // Eastern European Scientific Journal. – 2014. – № 5. – С. 202–206. – URL: http://www.auris-verlag.de/mediapool/99/990918/data/DOI_10.12851_EESJ201410.pdf.

8. Ганджа, С.А. Методика ускоренного расчета синхронных генераторов с аксиальным магнитным потоком / С.А. Ганджа, А.С. Мартьянов // Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 5 (145). – С. 42–44.

9. Мартьянов, А.С. Определение оптимальных габаритных размеров для вентильных машин с аксиальным магнитным потоком / А.С. Мартьянов, С.А. Ганджа // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 2. – С. 88–90.

К содержанию

УДК 629.113.01

КОНСТРУКЦИЯ КОЛЕСНО-СТУПИЧНОГО УЗЛА (КСУ) АВТОМОБИЛЕЙ ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ

А.Г. Уланов

Предложена принципиально новая конструкция колесно-ступичного узла без тормозного барабана. В этой конструкции тормозные накладки закреплены на ободе колеса, вследствие чего принципиально изменено направление теплового потока в зоне трения тормозного механизма: выделившееся в процессе торможения тепло поглощается тормозной колодкой, а теплоизоляционные свойства тормозных накладок использованы для защиты обода колеса от перегрева.

Ключевые слова: автомобиль, колесо, обод, колесный тормоз, колодка, фрикционная накладка.

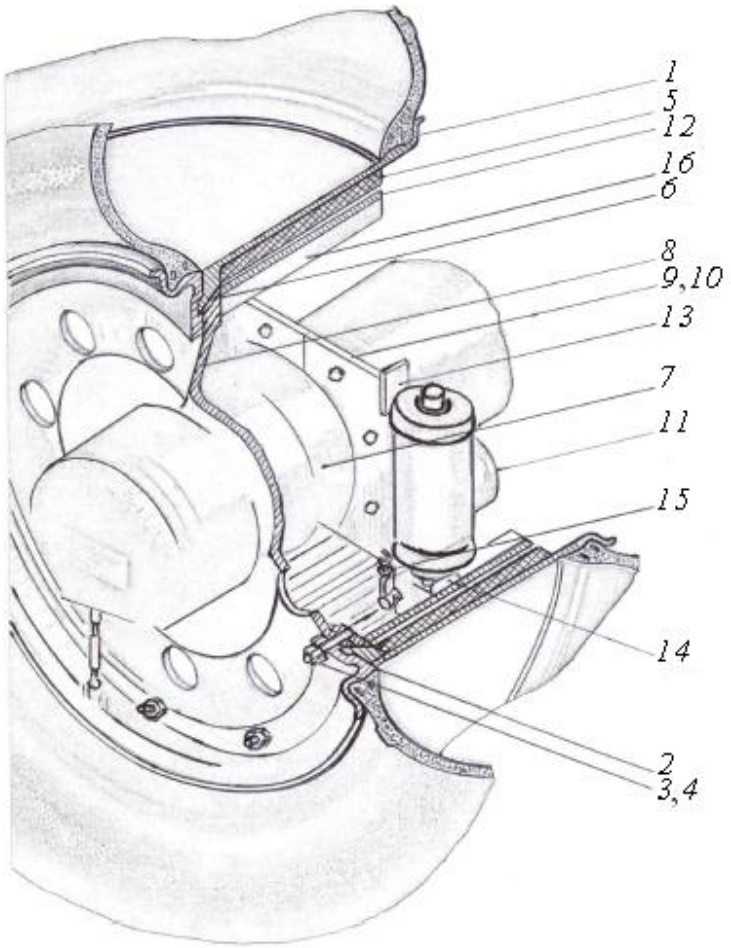
Многолетняя практика выработала определенный стереотип барабанного тормозного механизма. Тормозной механизм работает в условиях весьма высоких и переменных нагрузок, которые постоянно увеличиваются вследствие явной тенденции к росту массы и эксплуатационных скоростей транспортных средств. Поскольку повышение безопасности является проблемой государственной важности, то и повышение надежности работы тормозных механизмов приобретает первостепенное значение.

Одним из путей повышения надежности механизма в целом является усовершенствование конструкции тормозного механизма в направлении выравнивания усилий на тормозных колодках, что в свою очередь обеспечивает равномерный износ рабочих поверхностей фрикционных накладок.

Повышение эффективности действия барабанных тормозов неразрывно связано с уменьшением влияния деформации их элементов на работу тормоза и со снижением теплового состояния. Специфика работы тормозного барабана заключается в том, что свыше 95 % выделившегося при торможении тепла поглощается барабаном. Это вызывает необратимые процессы, в том числе деформацию барабана, вследствие чего неплотное прилегание накладок влечет за собой снижение эффективности торможения. Поэтому большая роль отводится мероприятиям, обеспечивающим интенсивный отвод тепла. Конструктивные мероприятия направлены на увеличение поверхности теплоотдачи элементов барабанных тормозов или на увеличение объема воздуха, обтекающего фрикционные пары.

Снижение массы тормозных механизмов – это еще одна проблема, которая решается традиционными методами: использование современных легких сплавов и применение облегченных конструкций.

Принципиальным отличием новой конструкции КСУ отныне существующих является отсутствие в колесном тормозе одной из основных его деталей – тормозного барабана. Функции тормозного барабана в предложенной схеме выполняет обод колеса [1].



Колесно-ступичный узел

В общем случае новая конструкция КСУ включает в себя колесо, состоящее из литого обода *1*, съемного бортового кольца *2* и комплекта резьбовых крепежных деталей: девяти шпилек *3* и гаек *4*. Съемное бортовое кольцо может быть отлито как из черных металлов, так и из легких сплавов. Внутренняя поверхность обода колеса облицована фрикционным материалом, выполняющим, кроме функции сменной тормозной накладки *5* в паре трения тормоза, для шины дополнительно теплозащитные функции. Тепло, выделяемое в процессе торможения, в этом случае в основном поглощается колодками и затем рассеивается в окружающую среду.

Обод колеса по конической поверхности *6* соединяется со ступицей *7*, имеющей развитую дисковую часть *8*, на которой выполнены вентиляционные окна. На фланце кожуха полуоси *9* болтами М14 крепятся два кронштейна *10*, на которых установлены гидроцилиндры *11* колесного

тормозного механизма. Фланец кожуха полуоси и гидроцилиндры заимствованы от серийной конструкции автомобилей «Урал». Кронштейны *10* дополнительно выполняют функции упоров для тормозных колодок *12*. Опорные поверхности *13* упоров *14* тормозных колодок выполнены наклонными под углом 13^0, что кроме предотвращения окружных перемещений колодок в процессе торможения, обеспечивает автоматическое отслеживание рабочей поверхностью упругой колодки изменение диаметра накладки обода в процессе ее износа. В исходное положение после процесса торможения колодки возвращаются стяжными пружинами *15*. Поверхности трения тормоза в зоне стыка колодок от интенсивного попадания грязи и крупных абразивных частиц защищены специальными штампованными фартуками *16*. Повышению срока службы пар трения будет способствовать также и горизонтальное положение колодок, т.к. в этом случае зона скопления абразивных материалов надежно защищена от попадания посторонних частиц между поверхностями трения специальными отбортовками и уплотняющими поясками. Выполненная грязезащита поверхностей трения позволяет полностью отказаться от неоправдавшего лабиринтного уплотнения внутренней полости и сделать тормоз открытым со стороны торцов. Такое конструктивное решение будет в значительной мере способствовать улучшению тепловых режимов работы колесных тормозных механизмов.

В новой схеме тормоза принципиально изменено направление теплового потока в зоне трения. Выделившееся в процессе торможения тепло поглощается не тормозным барабаном, а тормозной колодкой. Для более интенсивного отвода тепла из зоны трения на колодках установлены оребренные теплопоглотители *16*, обдуваемые в процессе качения колеса через вентиляционные окна ступицы направленным потоком воздуха.

В конструкции полноприводных автомобилей, оборудованных централизованной системой регулирования давления воздуха в шинах, повысить интенсивность охлаждения колесных тормозов можно за счет дополнительного обдува колодок воздухом, который на режимах интенсивного торможения (горные условия) можно подводить от системы подкачки шин.

Принципиальное изменение конструкции колесных тормозов привело к изменению массы входящих в них основных деталей и КСУ в целом. Анализ показывает, что масса КСУ снижена практически на 20 кг. Неподрессоренная масса автомобиля Урал-4320 при этом снижается на 120 кг.

В случае изготовления бортового кольца колеса из легких сплавов снижение массы деталей КСУ в сравнении с серийной конструкцией составит 33,24 кг, неподрессоренная масса автомобиля уменьшается при этом на 199,5 кг.

В случае изготовления бортового кольца колеса из легких сплавов снижение массы деталей КСУ в сравнении с серийной конструкцией составит 33,24 кг, неподрессоренная масса автомобиля уменьшается при этом на 199,5 кг.

Таблица

Весовые характеристики деталей колесно-ступичного узла

№ пп	Наименование детали КСУ	Ед. изм.	Масса, кг	
			серийная конструкция	новая конструкция
1.	Обод колеса	шт.	–	37,23
2.	Бортовое кольцо колеса	шт.	–	22,81 (9,58)*
3.	Крепление колеса	компл.	4,2	2,9
4.	Колесо в сборе	компл.	55,42	60,04**
5.	Накладки обода	шт.	–	10,3
6.	Колодки тормозные в сборе	компл.	17,8	17,2
7.	Ступица в сборе	компл.	25,7	28,3
8.	Тормозной барабан	шт.	32,0	–
9.	Щит тормоза	шт.	6,73	–
10.	Кронштейны крепления гидроцилиндров (2 шт.)	шт.	–	3,1
		Итого	141,85	121,84 (108,61)*

Примечания: * – масса бортового кольца изготовлена из легкого сплава;
** – суммарная масса обода колеса и бортового кольца.

При размещении фрикционного элемента на внутренней поверхности обода значительно изменились геометрические параметры поверхности трения. Для новой накладки с размерами диаметра трения равного 460 мм и шириной – 178 мм поверхность трения при угле охвата колодки 240° составляет 171489 мм^2, что на 77 % больше в сравнении с серийной конструкцией. Для предельно изношенного состояния накладки до диаметра 480 мм увеличение суммарной поверхности трения составляет 85 % или практически в 2 раза. Кроме того, объем изнашиваемого фрикционного материала в конструкции серийного тормоза составляет 2,0 кг, а в новой конструкции КСУ практически в три с половиной раза больше или 7,2 кг.

Если принять в процессе торможения интенсивность изнашивания (стирания) фрикционного материала на единицу работы тормозных сил для серийного и нового тормозных механизмов одинаковой, то можно утверждать, что долговечность тормозных накладок у новых схем колесных тормозов не менее, чем в три раза выше серийных. Этому процессу также способствует и значительное (практически в 2 раза) снижение удельных давлений в контакте трущихся поверхностей колесных тормозных механизмов. Изложенное убедительно показывает, что материалоемкость нового КСУ ниже в сравнении с серийной конструкцией, а это, в конечном итоге, окажет положительное влияние на многие другие технико-эксплуатационные показатели автомобиля в целом. Кроме того, согласно теоретическим предпосылкам ожидается резкое (не менее чем в 5–6 раз) увеличение долговечности (ходимости) фрикционных тормозных накладок.

Библиографический список

1. Колесно-тормозной узел транспортного средства, а.с. СССР № 1725518 / Г.В. Савельев, Е.П. Устиновский, П.П. Сохрин, А.Г. Уланов, А.А. Романченко, Р.А. Банников, Г.Н. Сыпченко, приоритет от 16.12.1989 г.

К содержанию

УДК 621.436.038

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТОПЛИВОПОДАЧИ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ АККУМУЛЯТОРНОГО ТИПА

В.В. Шишков

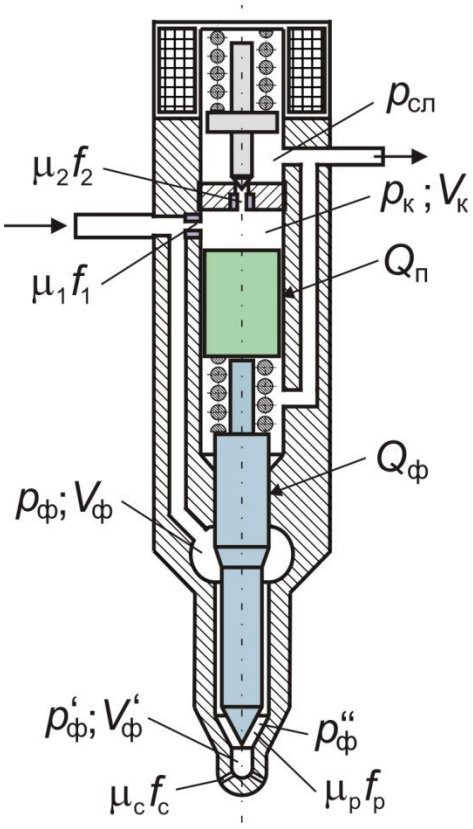
Применительно к топливной системе аккумуляторного типа приведено описание расчетной модели процесса топливоподачи. Составляющими элементами для компьютерного моделирования послужили: объем постоянного давления, топливопровод, топливные каналы, жиклеры, электромагнитный клапан, игла распылителя, сопловые отверстия. Модель позволяет установить влияние на показатели процесса впрыскивания топлива основных конструктивных параметров системы топливоподачи и осуществить для них целенаправленный выбор численных значений.

Ключевые слова: дизель; топливная система; впрыскивание топлива; параметры топливоподачи; электромагнитная форсунка.

Достижение высоких удельных мощностных, экономических и экологических показателей дизелей обеспечивается, в частности, постоянным совершенствованием конструкции и параметров топливоподающей аппаратуры. Важным условием улучшения показателей дизеля служит совершенствование процессов управления топливоподачей. Возможности управления процессом топливоподачи, в период рабочего цикла дизеля для топливных систем непосредственного действия с механическим приводом и нагнетательным трубопроводом, ограничены. Наиболее перспективной в плане управления процессом топливоподачи является аккумуляторная система топливоподачи типа Common Rail. Такие системы обеспечивают более высокое давление впрыскивания, более широкие возможности для управления топливоподачей [1, 2].

Зарубежные фирмы серийно выпускают аккумуляторные топливные системы типа Common Rail, отечественные моторостроительные предприятия создают опытные образцы. Исследования и разработку конструкций аккумуляторных топливных систем в нашей стране выполняют в МГТУ им. Н.Э. Баумана, в МАДИ (ГТУ), в НИКТИД, в НИИД, на ЯЗТА и др.

Для ускорения разработки и постановки на производство аккумуляторных систем топливоподачи необходимы дальнейшие углубленные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.



Расчетная схема электрогидравлической форсунки для топливной системы аккумуляторного типа

Уровень существующих математических моделей процессов впрыскивания топлива, смесеобразования и сгорания, уровень соответствующего программного обеспечения не позволяют на данном этапе получить абсолютно удовлетворяющие по точности количественные закономерности для априорного обоснования закона топливоподачи. Однако процессы в топливоподающей системе могут моделироваться с достаточно высокой точностью, что позволяет анализировать конструктивные параметры элементов системы и проектировать перспективные топливные системы.

Расчетная модель электрогидравлической форсунки, схема которой представлена на рисунке, основана на общепринятых для расчета аккумуляторных топливных систем допущениях: течение топлива в топливопроводах считается одномерным; рассматриваемые рабочие процессы – изотермическими; давление в аккумуляторе, линии низкого давления и цилиндре двигателя – постоянными; не учитывается трение движущихся деталей; скорость звука и плотность топлива в трубопроводах постоянны.

Расчетная модель электрогидравлической форсунки, схема которой представлена на рисунке, основана на общепринятых для расчета аккумуляторных топливных систем допущениях: течение топлива в топливопроводах считается одномерным; рассматриваемые рабочие процессы – изотермическими; давление в аккумуляторе, линии низкого давления и цилиндре двигателя – постоянными; не учитывается трение движущихся деталей; скорость звука и плотность топлива в трубопроводах постоянны.

Решение волновых уравнений в топливопроводах с учетом гидродинамического трения имеет вид:

$$p - p_{ост} = e^{-bt}\left[F\left(t - \frac{x}{a}\right) - W\left(t + \frac{x}{a}\right)\right];$$

$$u - u_o = \frac{1}{a\rho} e^{-bt}\left[F\left(t - \frac{x}{a}\right) + W\left(t + \frac{x}{a}\right)\right].$$

Уравнения граничных условий составлены из уравнений объемного баланса в полостях форсунки, динамики движения иглы распылителя и управляющего клапана:

– изменение давления в полости форсунки:

$$\frac{dp_{\text{ф}}}{dt}=\frac{1}{\beta V_{\text{ф}}}\left\{\frac{f_{\text{т}}}{a\rho}\left[2F\left(t-\frac{l_{\text{т}}}{a}\right)e^{-b\frac{l_{\text{т}}}{a}}-p_{\text{ф}}+p_{\text{ост}}\right]-\sigma_1\mu_1 f_1\sqrt{\frac{2}{\rho}\left|p_{\text{ф}}-p_{\text{к}}\right|}-\sigma_2\mu_{\text{р}} f_{\text{р}}\sqrt{\frac{2}{\rho}\left|p_{\text{ф}}-p'_{\text{ф}}\right|}-Q_{\phi}\right\};$$

– изменение давления в полости перед сопловыми отверстиями:

$$\frac{dp'_{\text{ф}}}{dt}=\frac{1}{\beta V'_{\text{ф}}}\left\{\sigma_2\mu_{\text{р}} f_{\text{р}}\sqrt{\frac{2}{\rho}\left|p_{\text{ф}}-p'_{\text{ф}}\right|}-\sigma_3\mu_{\text{с}} f_{\text{с}}\sqrt{\frac{2}{\rho}\left|p'_{\text{ф}}-p_z\right|}\right\};$$

– изменение давления в камере управления:

$$\frac{dp_{\text{к}}}{dt}=\frac{1}{\beta V_{\text{к}}}\left\{\sigma_4\mu_1 f_1\sqrt{\frac{2}{\rho}\left|p_{\text{ф}}-p_{\text{к}}\right|}-\sigma_5\left(\mu_2 f_2\right)_{\Sigma}\sqrt{\frac{2}{\rho}\left|p_{\text{к}}-p_{\text{сл}}\right|}-Q_{\text{п}}\right\};$$

– ускорение иглы распылителя:

$$\frac{dv_{\text{и}}}{dt}=\frac{1}{\text{m}_{\text{и}}}\left[\left(f_{\text{и}}-f'_{\text{и}}\right)\left(p_{\text{ф}}-p_{\text{сл}}\right)-c_{\text{и}}x_{\text{и}}\right];$$

– скорость иглы распылителя:

$$\frac{dx_{\text{и}}}{dt}=v_{\text{и}};$$

– ускорение клапана:

$$\frac{dv_{\text{кл}}}{dt}=\frac{1}{\text{m}_{\text{кл}}}\left[F_{\text{эм}}-F_{\text{пр0}}-c_{\text{кл}}x_{\text{кл}}+f_{\text{кл}}\left(p_{\text{к}}+p_{\text{сл}}\right)/2\right];$$

– скорость клапана:

$$\frac{dx_{\text{кл}}}{dt}=v_{\text{кл}}.$$

В приведенных уравнениях $V_{\text{ф}}$, $p_{\text{ф}}$ – объем и давление в полости форсунки; $V'_{\text{ф}}$, $p'_{\text{ф}}$ – объем и давление в полости перед сопловыми отверстиями; $V_{\text{к}}$, $p_{\text{к}}$ – объем и давление в камере управления; $p_{\text{сл}}$ – давление в полости слива; $p''_{\text{ф}}$ – давление между конусом иглы и посадочным конусом; $\mu_1 f_1$ – эффективное проходное сечение жиклера на входе в камеру управления; $\mu_2 f_2$ – эффективное проходное сечение жиклера на выходе из камеры управления; $\mu_{\text{р}} f_{\text{р}}$ – эффективное проходное сечение между конусом иглы и посадочным конусом; Q_{ϕ} – утечки через уплотняющую часть распылителя; $Q_{\text{п}}$ – утечки через уплотняющую поршня; $\text{m}_{\text{кл}}$, $x_{\text{кл}}$, $v_{\text{кл}}$ – масса, перемещение и скорость управляющего клапана; $c_{\text{кл}}$ – жесткость пружины клапана; $f_{\text{кл}}$ –

площадь поперечного сечения клапана; $F_{эм}$ – сила электромагнита; $F_{пр0}$ – сила предварительной затяжки пружины клапана.

Ступенчатые функции σ принимают следующие значения:

$\sigma_1 = +1$ если $p_ф > p_к$; $\sigma_1 = -1$ если $p_ф \le p_к$; $\sigma_2 = +1$ если $p_ф \ge p'_ф$; $\sigma_2 = -1$ если $p_ф < p'_ф$; $\sigma_3 = +1$ если $p'_ф \ge p_z$; $\sigma_3 = -1$ если $p'_ф < p_z$; $\sigma_4 = +1$ если $p_ф \ge p_к$; $\sigma_4 = -1$ если $p_ф < p_к$; $\sigma_5 = +1$ если $p_к \ge p_{сл}$; $\sigma_5 = -1$ если $p_к < p_{сл}$.

Приведенная методика расчета применима для расчетно-аналитического исследования процессов системы топливоподачи аккумуляторного типа с электрогидравлической форсункой. Расчетное моделирование направлено на обоснование выбора схемы системы топливоподачи и параметров конструктивных элементов систем топливоподачи.

Библиографический список

1. Лышевский, А.С. Системы питания дизелей: Учебное пособие для студентов втузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / А.С. Лышевский. – М.: Машиностроение, 1981. – 216 с.

2. Грехов, Л.В. Топливная аппаратура и система управления дизелей / Л.В. Грехов. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с.

К содержанию

УДК 332.1:629.113 + 339.13:336.45:629.113

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО РЫНКА

А.Д. Рулевский

Проведен анализ рынка новых легковых автомобилей Челябинской области. Рассмотрены основные факторы, определяющие характер его функционирования в краткосрочной перспективе. Представлен прогноз развития регионального рынка на 2015–2016 гг.

Ключевые слова: автомобили; рынок; регион; прогноз.

В настоящее время рынок новых легковых автомобилей Челябинской области является одним из крупнейших в Российской Федерации. Так, в 2014 году в Челябинской области было продано 60562 новых легковых и легких коммерческих автомобилей отечественных и зарубежных марок. По объемам продаж новых автомобилей Челябинская область опережает такие европейские страны, как Словения (53296 машин), Люксембург (49793), Хорватия (33997), Эстония (20861), Болгария (20359), Литва

(14503), Латвия (12452). При этом нужно особо отметить, что большинство из этих государств существенно превосходят Челябинскую область по численности населения.

В то же время объем реализации 2014 года почти на 14,4 % (или на 10149 машин) меньше, чем он был в 2013 году. При этом, по итогам девяти месяцев 2014 года спад продаж достигал почти 20 %. Ситуация частично выправилась в ноябре-декабре, когда месячные объемы реализации выросли более чем на 25 %.

Причины возросшей в декабре активности потребителей загадок не представляют – ажиотажный спрос был вызван желанием хоть как-то спасти свои сбережения после падения курса национальной валюты. Поддержали региональный рынок и покупатели из Казахстана.

Поскольку в Казахстане граждане традиционно хранят свои сбережения в долларах, то новые автомобили в автосалонах Челябинска и Магнитогорска стали для них в конце 2014 года минимум в полтора раза дешевле, и многие воспользовались столь неожиданной возможностью. Однако даже такая мощная зарубежная поддержка не смогла переломить сложившуюся отрицательную динамику. В результате, как видно из диаграммы, представленной на рис. 1, результаты, достигнутые региональным рынком в 2014 году, являются худшими за последние четыре года.

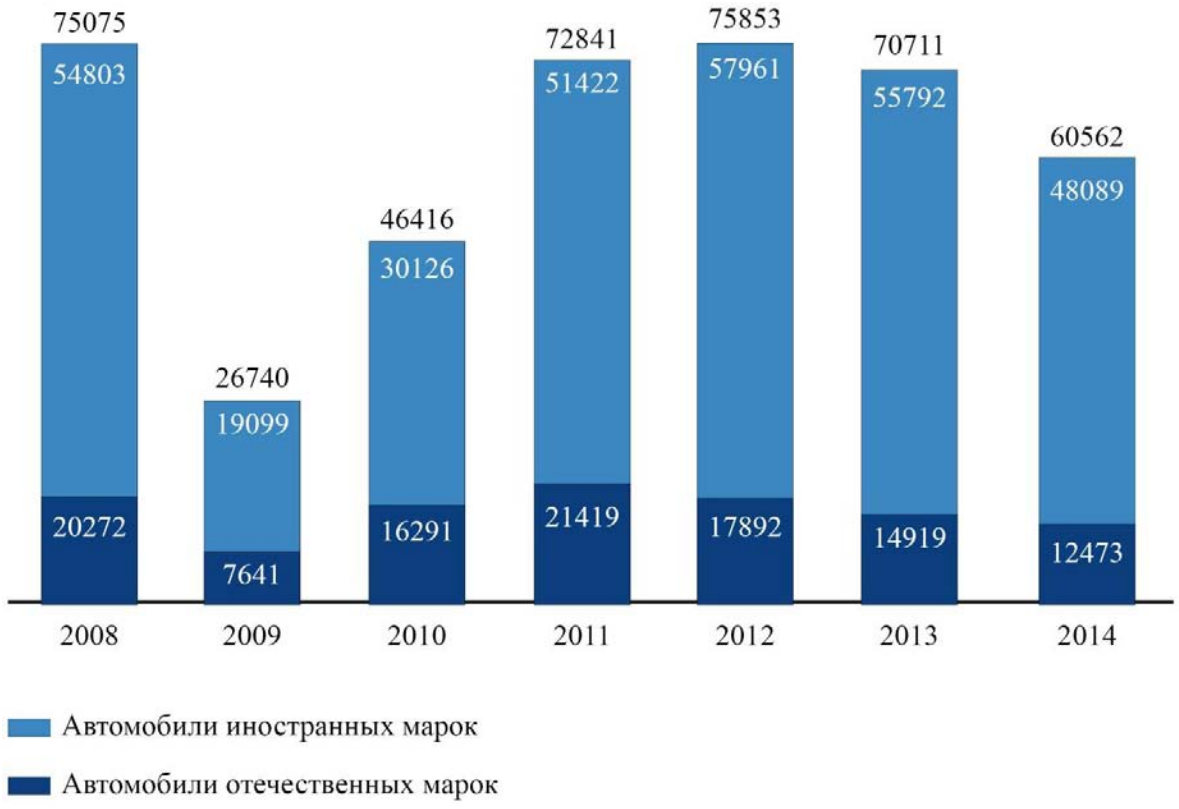


Рис. 1. Динамика продаж новых автомобилей
на региональном автомобильном рынке в 2008–2014 гг.

Что касается показателей Южного Урала в масштабах Российской Федерации, то по итогам 2014 года доля регионального рынка составляет 2,45 % общероссийского, а Челябинская область занимает одиннадцатое место среди российских регионов. Общая структура рынка новых автомобилей Челябинской области представлена на рис. 2.

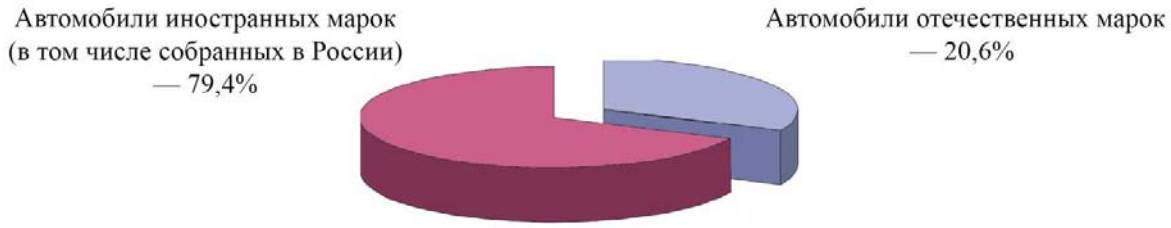


Рис. 2. Общая структура рынка новых автомобилей

Как видно из диаграммы на рис. 2, доля автомобилей отечественных марок на региональном рынке составляет 20,6 %. В 2007–2008 гг. этот показатель имел значение 27–28 %. В декабре 2010 года «ниша» традиционно российских брендов составляла в Челябинской области 31,5 %, а в марте 2011 года достигла своего максимального значения – 31,7 %. Затем началось ее снижение. Особенно резко доля автомобилей российских марок стала падать после прекращения действия всех государственных программ по стимулированию спроса.

В результате, в I квартале 2012 года она снизилась до 24,0 %. И хотя в 2013 году была запущена новая государственная программа льготного автокредитования, доля российских автомобилей на рынке Южного Урала опустилась до 21,0 %. За 2014 год она упала еще на 0,4 %.

Рост сегмента иностранных марок объясняется двумя основными факторами: относительно высокой покупательной способностью населения (что имело место до девальвации национальной валюты в декабре 2014 года) и наблюдавшимся в предыдущие годы сближением отпускных цен российских автомобилей и моделей иномарок, относящихся к бюджетному сегменту.

Что касается ценовых параметров легковых автомобилей, реализованных на региональном рынке в 2014 году, то, как видно из диаграммы, представленной на рис. 3, средняя цена проданной в Челябинской области новой машины составляла 1,08 млн руб. Это несколько меньше, чем в Екатеринбурге и Сургуте, но сопоставимо с Тюменью и больше, чем в Перми и Кургане.

На рис.4 приведен рейтинг десяти самых популярных легковых автомобилей Южного Урала. Видно, что наибольшим спросом у потребителей Челябинской области пользовалась LADA Granta. Более того, в 2014 году, несмотря на общее снижение объемов продаж, реализация «Гранты» выросла. Самым востребованным иностранным автомобилем являлся Kia Rio, а внедорожником – Renault Duster.

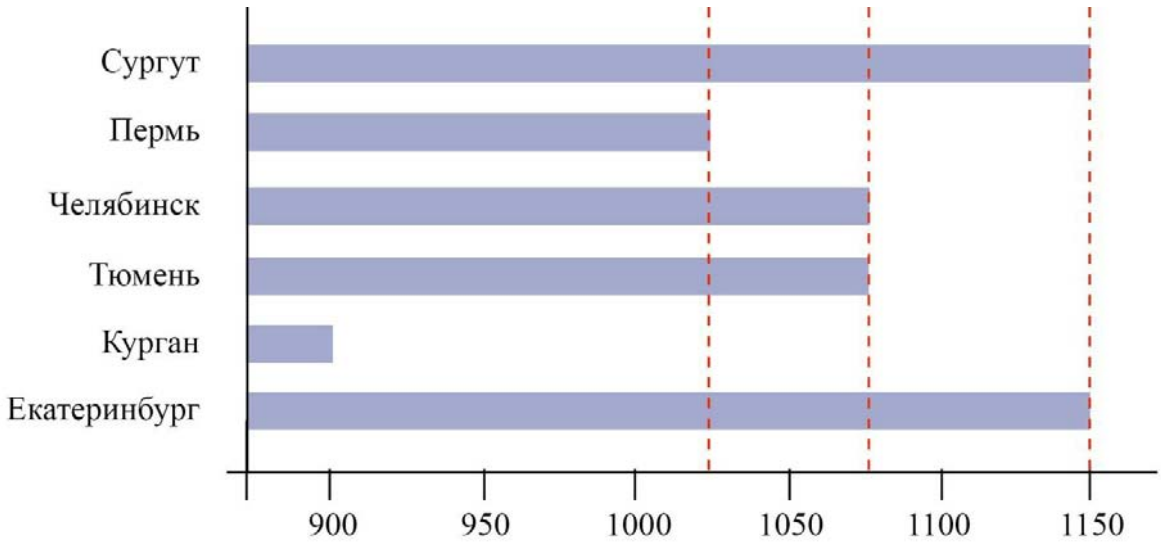


Рис. 3. Средняя цена нового автомобиля, приобретенного в 2014 году

№ п/п	Модель		Марка	Продажи, шт		Динамика изменений,%
				2014	2013	
1		Granta	LADA	4547	4385	103,7
2		Rio	Kia	2820	2623	107,5
3		Solaris	Hyundai	2653	2898	91,5
4		Largus	LADA	2084	1673	124,6
5		Duster	Renault	1775	1993	89,1
6		Kalina	LADA	1599	1909	83,8
7		Almera	Nissan	1533	н/д	—
8		Polo	Volkswagen	1504	1987	75,7
9		Logan	Renault	1381	н/д	—
10		RAV4	Toyota	1011	н/д	—

Рис. 4. Самые популярные на Южном Урале модели легковых автомобилей (по итогам 2014 года)

За 2014 год рейтинг популярности моделей претерпел существенные изменения по сравнению с 2013 годом. Его покинули Ford Focus, Chevrolet Cruze и Toyota Corolla. Их места заняли Nissan Almera, Renault Logan и Toyota RAV4.

Для оценки ближайших перспектив регионального рынка новых автомобилей Челябинской области, был проведен анализ как текущей ситуации, так и основных факторов, определяющих его развитие в краткосрочной перспективе. Очевидно, что произошедшая в декабре 2014 года девальвация рубля серьезно ударила по автобизнесу. Ни одна из автомобильных компаний (это касается как производителей, так и дилеров), не предвидела столь сильные колебания валютных курсов, а значит – не закладывала их в свои планы. Даже самые негативные прогнозы не предусматривали такого развития событий.

Важно понимать, что опыт, накопленный в компаниях при преодолении кризиса 2008–2009 гг., в данном случае может оказаться недостаточным. В подтверждение этого напомним, что в 2009 году курс национальной валюты снизился всего лишь на четверть (точнее на 27,8 %), в то время как в конце 2014 года произошло его падение более чем наполовину (52,6 %). К тому же, в 2009 году отсутствовала «политическая составляющая» кризиса, в нынешних же условиях она играет далеко не последнюю роль, поскольку добавляет нестабильность и резко усиливает непредсказуемость дальнейшего развития событий.

Характер влияния основных факторов, определяющих развитие автомобильного рынка, приведен в таблице 1.

Таблица 1

Основные факторы, определяющие развитие автомобильного рынка

№ п/п	Факторы	Влияние на рынок в 2014 году	Влияние на рынок в 2015 году	Влияние на рынок в среднесрочной перспективе
1	Потребительская способность населения	↓↑	↓	↓↑
2	Цены на автомобили	↓↑	↓	↓↑
3	Доступность автокредитов	↓↑	↓	↑
4	Стимулирование спроса	↓↑	↑	↑
5	Общее состояние экономики	↓	↓	↓↑
6	Обновление модельного ряда	↓↑	↑	↑
7	Отложенный спрос	↓↑	↓	↑

1. Очевидно, что девальвация национальной валюты привела к резкому снижению покупательной способности населения. Если в 2014 году, пусть с использованием автокредитов, потребители имели возможность приобретать автомобили, то в ближайшие год–два такая возможность у большей части населения будет существенно ограничена. Средняя величина зарплаты в Челябинской области в конце 2014 – начале 2015 годов составляла немногим более 28 тысяч рублей. Однако, Минфин РФ уже заявил, что доходы населения в 2015 году сократятся минимум на 10 %, а уровень годовой инфляции, по прогнозу Центробанка РФ может составить 15–17 %. Таким образом, у большей части потенциальных потребителей будут просто отсутствовать финансовые ресурсы для приобретения новых автомобилей. В дальнейшем (2016–2017 гг.) произойдет «подтягивание» уровня доходов населения к новому «горизонту» национальной валюты, как это было в 2010–2011 гг., что позволит, хотя бы частично, восстановить докризисный уровень потребительской способности.

2. Ясно, что одной из основных причин падения продаж автомобилей стало повышение их стоимости. Понимая это, ведущие производители проводили его постепенно, порциями по 10–15 %, продавая какое-то время автомобили себе в убыток, но приучая потребителей к новым ценовым реалиям. Поступали так те, кто мог себе позволить в течение определенного периода покрывать потери в одной стране за счет успешных продаж автомобилей в других регионах мира. Что касается более отдаленной перспективы, то там ценовой фактор не должен играть столь существенную роль.

3. Еще одна причина значительного падения продаж в 2015–2016 гг. – сокращение объемов автокредитования. Нужно учесть, что оно началось уже несколько лет назад: в 2013 году на заемные средства покупалось 48 % новых автомобилей, в 2014 году таких машин было уже в среднем 40,5 % (в конце четвертого квартала – 35,5 %). Сегодняшняя ситуация с автокредитованием характеризуется отсутствием стратегии и стабильности и непонятной ситуацией со стоимостью фондирования. Поэтому неслучайно, что крупные универсальные банки в конце декабря 2014 года просто остановили выдачу автокредитов, а некоторые из них не восстановили ее в прежнем объеме до сих пор.

4. В сложившейся экономической ситуации особое значение приобретает поддержка рынка со стороны государства. Проведенные расчеты показывают, что в случае введения мер по стимулированию спроса, снижение продаж по итогам года может оказаться на 10–15 % меньше, чем в случае их отсутствия.

5. Понятно, что кризис на автомобильном рынке является прямым следствием ухудшения дел в экономике страны, падением цен на энергоресурсы и действующими антироссийскими санкциями. Можно с большой долей вероятности прогнозировать, что все эти факторы сохранятся

до конца 2015 года, а возможно и дольше. В то же время, есть очень важное отличие от того, что наблюдалось в экономике в период кризиса 2008–2009 гг. Тогда падение отмечалось во всех отраслях и регионах страны, за исключением тех, где финансирование велось с помощью госбюджета (как пример – строительство олимпийских объектов в Сочи). В настоящее время, на фоне значительной девальвации национальной валюты, отрасли, работающие на экспорт, оказались в относительном выигрыше. Среди них – металлургия, основа экономики Южного Урала. Поэтому есть надежда, что в среднесрочной перспективе этот фактор окажет позитивное воздействие на развитие регионального автомобильного рынка.

6. Преимущество в 2015 году получат те производители, которые смогут предложить потребителям новые модели при умеренных ценах. Последнее условие может быть достигнуто только при высоком уровне локализации производства.

7. При всем драматизме сложившейся на автомобильном рынке ситуации, у нее есть один бесспорный плюс – низкие объемы продаж формируют устойчивый отложенный спрос. Поэтому уже в среднесрочной перспективе – примерно через два года – можно ожидать новую волну повышенного спроса на автомобили.

Она неизбежна еще и потому, что новая модель социализации жизни общества (переселение больших масс населения в отдаленные пригороды крупных городов и загородные поселки) уже через десять лет потребует повышения уровня автомобилизации России до 350–400 автомобилей на 1000 жителей вместо нынешних 284. Это невозможно без восстановления рынка.

Проведенный анализ позволяет уверенно прогнозировать, что в 2015–2016 гг. на региональном авторынке будут четко просматриваться две тенденции:

– увеличение срока владения автомобилем (с 4,5 до 5–7 лет и выше);

– снижение планки потребительской статусности (пересаживание на менее дорогой автомобиль).

В подобных настроениях нет ничего нового – они присутствовали и в период острой фазы кризиса 2008–2009 гг. Нет сомнений в том, что 2015 год будет очень сложным. При этом, как показал опыт 2008–2009 гг., острая фаза кризиса наступает через шесть–восемь месяцев после его начала, а это значит, что самым тяжелым периодом может стать июнь–июль 2015 года. Поэтому во второй половине года можно ждать относительного оживления и возникновения позитивной динамики.

При составлении краткосрочного прогноза развития рынка новых автомобилей Южного Урала был проведен анализ всех приведенных выше факторов, что позволило сделать следующие количественные оценки (таблица 2).

Таблица 2

Прогноз развития регионального автомобильного рынка на 2015 год

Автомобили	Продажи в 2014 г	Прогноз на 2015 год, шт		
		пессимистический сценарий	базовый сценарий	оптимистический сценарий
Автомобили иностранных марок	48089	15500-16000	28500-29000	33500-35000
Автомобили отечественных марок	12473	9000	11000	12000
Всего	60562	24500-25000	39500-40000	45500-47500

Таким образом, в 2015 году региональный рынок ожидает серьезное снижение объемов продаж. В лучшем случае («оптимистичный сценарий») он опустится до уровня 2010 года, в худшем («пессимистичный сценарий») упадет ниже показателей 2009 года.

Библиографический список

1. Рулевский, А.Д. Региональный автомобильный рынок Челябинской области. Анализ и тенденции / А.Д. Рулевский. – Челябинск: Ассоциация ЧАД, 2014. – 60 с.

К содержанию

УДК 378.14.014

ВОЗМОЖНОСТИ БАЗОВОЙ КАФЕДРЫ ВУЗА В УСИЛЕНИИ ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ АВТОСЕРВИСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.Д. Рулевский, В.П. Рыбаков

Рассмотрены возможности интеграции университета и базового предприятия в процессе подготовки специалистов для автосервисного производства. Проведен анализ мотивов вуза и предприятия, побуждающих их к взаимодействию при проведении обучения студентов практической деятельности.

Ключевые слова: кафедра, предприятие, обучение.

Наше время предъявляет новые требования к выпускникам высшей школы. Их профессиональная квалификация во все возрастающей мере определяется не только уровнем и объемом имеющихся знаний, но и способностью быстро адаптироваться к меняющимся хозяйственным условиям, постоянным пополнением и творческим использованием получаемой информации.

Выпускник вуза должен уметь согласовывать свои цели, задачи и действия с целями, задачами и действиями предприятия, на которое он приходит работать после завершения обучения. Практика же показывает, что во многих жизненных и производственных ситуациях знания и навыки, полученные во время обучения в вузе, не «срабатывают» и, даже, зачастую становятся вредными: молодой специалист использует их автоматически, не понимая сути конкретной ситуации. Все это приводит к тому, что до того момента, когда выпускник вуза станет полноценным работником, способным стабильно выполнять требуемые функции и задачи, которые ставятся перед ним на предприятии, проходит период его адаптации (рис. 1).

Рис. 1. Классическая схема подготовки специалиста в вузе

Как показывает анализ деятельности автосервисных предприятий, адаптация выпускников вузов является довольно длительным и затратным процессом. В этот период непосредственно на предприятиях проходит их обучение необходимым профессиональным навыкам, которое проводится в виде прохождения всевозможных стажировок и аттестаций. Все это позволяет вчерашним студентам приобрести минимально необходимый производственный опыт. Не менее важное значение имеют и элементы воспитания – это, прежде всего, освоение корпоративной философии и культуры предприятия.

Очевидно, что эффективность подобного алгоритма подготовки специалистов для предприятий довольно низка. К числу ее основных недостатков можно отнести:

– сложности с определением компетенции выпускников вузов при приеме их на работу;

– значительные временные затраты на адаптацию выпускников на предприятии;

– значительные материальные затраты предприятий на организацию процесса «доведения» принятых на работу выпускников вузов.

При этом нужно учитывать, что вероятность успешного прохождения периода адаптации выпускником вуза с дальнейшим его закреплением на предприятии довольно невелика. Именно это является одной из основных причин наличия постоянной «текучки» кадров и как следствие – необходимости подготовки новых.

Поэтому и перед предприятиями, и перед вузами стоит задача снижения издержек на процесс адаптации выпускников. Ее решение позволит первым снизить затраты и тем самым повысить эффективность деятельности, а вторым – повысить свою конкурентоспособность и престиж.

В данном случае нужно понимать, что конкурентоспособность современного высшего учебного заведения во многом зависит от степени практической направленности проводимого в нем образовательного процесса, от того, насколько активно в учебный процесс вовлекаются специалисты-практики соответствующей сферы деятельности. Сегодня абитуриенты и студенты предъявляют высокие требования к учебным заведениям, ожидая, что по их окончании они будут хорошо подготовлены к практической деятельности в своем направлении и без особого труда смогут найти работу по специальности.

Реальным решением указанного круга проблем является организация практико-ориентированного обучения студентов на базовых кафедрах. Базовая кафедра – это образовательная площадка, находящаяся на территории предприятия – стратегического партнера вуза. Базовая кафедра создается для сотрудничества вуза с одним конкретным работодателем, причем, его рамки в каждом случае должны оговариваться индивидуально и четко фиксироваться на договорных основах.

Для вузов главным достоинством базовых кафедр является возможность совершенствования учебного процесса за счет привлечения в него передового опыта ведущих отечественных и зарубежных компаний. Это будет способствовать более высокой степени соответствия высшего образования актуальным запросам реальной экономики.

Предприятия-стратегические партнеры вузов благодаря работе базовых кафедр получат выпускников с необходимыми им компетенциями. Очевидно, что чем активнее будет сотрудничество вуза и предприятия при создании базовой кафедры, тем выше будет отдача от ее деятельности.

Базовая кафедра позволяет приблизить учебный процесс к нуждам конкретных предприятий (рис. 2). Это дает возможность ориентировать учебный процесс на получение студентами навыков по решению практико-ориентированных задач, что делает их готовыми приступить к профессиональной деятельности на базовом предприятии сразу же после завершения учебы в вузе.

Достигается это, прежде всего, проведением практико-ориентированной части подготовки непосредственно на базовом предприятии. Это дает возможность организовать прохождение студентами стажировок и практик непосредственно на месте их будущей работы. Не менее важно и привлечение к преподавательской деятельности высококвалифицированных специалистов предприятия с целью передачи студентам практического опыта решения конкретных производственных задач. Если суммировать все вышесказанное, то можно констатировать, что базовое предприятие получает реальную возможность снизить материальные и временные издержки на адаптацию выпускников вузов.

Рис. 2. Схема подготовки специалиста на базовой кафедре вуза

В Южно-Уральском государственном университете в конце 2013 года была создана базовая кафедра автомобилей и автомобильного сервиса. Стратегическим партнером вуза выступило ООО «Регинас» – одна из крупнейших на Урале автомобильных дилерских компаний.

Целью создания кафедры являлась подготовка студентов по программе прикладного бакалавриата для базового предприятия. Важнейшим принципом организации учебного процесса на кафедре автомобилей и автомобильного сервиса является соединение обучения и воспитания студентов с их производительным трудом на базовом предприятии в рамках производственной практики, которая проводится еженедельно, начиная уже с первого курса. Ее программа предусматривает последовательную смену рабочих мест и должностей, что позволяет целенаправленно формировать комплекс компетенций высококвалифицированного специалиста в сфере автомобильного сервиса.

Учебным планом предусмотрено, что на первых курсах студенты базовой кафедры обучаются по обычным программам, но с углубленным изучением конструкции автомобиля и технологий его обслуживания и ремонта непосредственно в производственных подразделениях предприятия. Профилирующая подготовка студентов старших курсов будет вестись в современном учебном центре, созданном на базовом предприятии (рис. 3). Это даст возможность привлечь к учебному процессу ведущих специалистов базового предприятия.

Рис. 3. Учебный центр базовой кафедры автомобилей и автомобильного сервиса, построенный на территории стратегического партнера – ООО «Регинас»

Уже первый опыт работы базовой кафедры показал, что реализация ее возможностей позволит существенно повысить как эффективность учебного процесса, так и качество подготовки специалистов.

К содержанию

УДК 621.355

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА В СОСТАВЕ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ

А.Г. Возмилов, А.А. Андреев, В.А. Калмаков

В статье описывается получающая в последнее время в мире все большее распространение концепция распределенной энергетики и необходимость применения в автономных энергосистемах накопителя энергии на основе химических источников тока. Приводится описание негативных факторов, снижающих срок эксплуатации аккумуляторов и таким образом снижающих срок необслуживаемой работы все автономной энергосистемы. Описывается необходимость применения систем контроля и управления для накопителей энергии автономных энергоустановок, основные функции этих систем. Делается вывод об ожидаемом улучшении эксплуатационных характеристик и увеличении срока безотказной службы накопителя энергии и автономной энергосистемы в целом.

Ключевые слова: накопитель энергии, аккумулятор, эксплуатация аккумуляторов.

Концепция распределенной энергетики, получающая все большее распространение в мире в последнее время, подразумевает строительство дополнительных источников электроэнергии в непосредственной близости от потребителей. Такой подход позволяет снизить потери электроэнергии при транспортировке из-за максимального приближения источника электроэнергии к потребителю, уменьшить число, протяженность и необходимую пропускную способность магистральных линий электропередачи, смягчить последствия аварий на центральных электростанциях и главных линиях электропередач [1, 2]. Кроме того, одна из ключевых особенностей распределенной энергетики заключается в широком применении возобновляемых источников энергии, что является одной из важнейших современных задач в условиях перевода мировой экономики на низкоуглеродный и энергоэффективный путь развития. Поворот к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) в мире вполне закономерен по экологическим (отсутствие вредных

выбросов, сохранение запасов нефти и газа), так и по экономическим причинам (независимость от импорта энергоносителей, аварий на центральных электростанциях и магистральных линиях электропередач) [3].

Несмотря на то, что в настоящее время уровень использования потенциала возобновляемых источников энергии в нашей стране находится на низком уровне, Россия не остается в стороне от развития этого направления. В последнее время был издан ряд законодательных документов, направленных на поддержку возобновляемой и распределенной энергетики, установлены значения целевых показателей объема производства электрической энергии с использованием возобновляемых источников энергии (4,5 % в 2020 году), а также значения степени локализации производства электроэнергии.

Следует отметить огромный ресурсный потенциал возобновляемой энергетики в России: высокий ветропотенциал на прибрежных территориях, солнечный пояс, тянущийся вдоль всей южной границы России с запада на восток, разнообразные ресурсы для биоэнергетики. Валовый потенциал всех ресурсов ВИЭ России оценивается в $2{,}34 \times 10^6$ млн т условного топлива. Результат оценки объема технически доступных ресурсов возобновляемых источников энергии в Российской Федерации, эквивалентен не менее 4,6 млрд тонн условного топлива, что вдвое превышает энергобаланс страны и в 5 раз внутреннее энергопотребление. Более того, в изолированных удаленных энергорайонах экономическая эффективность использования возобновляемых источников энергии равна или даже выше, чем традиционной энергетики.

Распределенная и автономная энергетика являются особенно актуальными для нашей страны также и потому, что по разным оценкам от 60 до 70 % территории России, на которой проживают до 20 млн человек и сосредоточено до 15 % основных фондов РФ, не охвачено централизованным электроснабжением [4].

Именно на этих территориях наиболее целесообразно применение автономных энергосистем на основе возобновляемых источников энергии. Применение автономных энергоустановок охватывает все стороны жизни человека, где необходим источник электроэнергии: электроснабжение удаленных населенных пунктов, оборудования по охране границ и ответственных объектов, нефте- и газопроводов, энергопитание удаленных объектов, временных парковок, электроснабжение и охрана ответственных инженерных сооружений, энергопитание аппаратуры сотовых операторов [5].

Необходимо отметить, что в системе «Источник возобновляемой энергии – Потребитель» регулярно возникает дисбаланс между производством и потребностью в электрической энергии, поскольку вырабатываемая возобновляемым источником мощность изменяется в зависимости от погодных условий, времени суток и года, а потребление электроэнергии от этих факторов в общем случае не зависит. Этот дисбаланс решается путем при-

менения накопителя энергии, который является обязательным элементом любой автономной энергосистемы и сглаживает кривую выработки электроэнергии и позволяет поддерживать необходимый уровень электропитания потребителя. Схема автономной энергосистемы, использующей в качестве источника энергии ветрогенератор, представлена на рисунке 1.

Рис. 1. Схема автономной энергосистемы

Наибольшее распространение получило применение в качестве накопителей электрохимических источников тока (аккумуляторов), объединенных в батарею подходящих напряжения и емкости.

Основным требованием, предъявляемым к работающим в составе автономной энергосистемы аккумуляторам, является обеспечение требуемого срока службы. Аккумуляторы могут обеспечить ограниченное количество циклов заряд-разряд, после чего их емкость снижается и требуется их замена. Свинцово-кислотный аккумулятор – наиболее распространенный вид аккумуляторов, который широко используется, например, в автомобилях. Использование автомобильных стартерных аккумуляторов нерационально для длительного использования автономных энергосистем. Они выдерживают всего порядка 200 циклов заряд-разряд глубиной 80 %. Немного больший срок работы обеспечивают AGM и гелевые свинцово-кислотные аккумуляторы – 400 и 500 циклов соответственно. Панцирные аккумуляторы с трубчатыми положительными электродами являются наиболее совершенными из аккумуляторов свинцово-кислотной технологии и обеспечивают наибольший срок службы (до 1500 циклов заряд-разряд глубиной 80 %). Именно они находят наибольшее распространение энергии в качестве накопителей энергии автономных энергосистем. Аккумуляторы на основе литий-ионной технологии используются не столь широко, во многом из-за высоких первоначальных капитальных вложений.

Срок эксплуатации аккумулятора зависит не только от его электрохимической структуры, но также во многом и от условий его эксплуатации. К основным факторам, оказывающим существенное влияние на ожидаемый срок службы аккумулятора в составе автономной энергосистемы можно отнести следующие:

• динамика процессов заряда и разряда. Токи заряда и разряда, превышающие оптимальные для данного аккумулятора, а также нахождение аккумулятора при уровне выше или ниже оптимального уровня для хранения способны привести к разрушению внутренней структуры и снижению ресурса аккумулятора;

• влияние температуры. Работа при отрицательных температурах является дополнительным фактором, снижающим срок службы накопителя энергии. Особенно актуальна эта проблема для суровых климатических условий нашей страны, в некоторых регионах которой среднегодовая температура достигает –23 °С. На рисунке 3 приведены графики зависимости срока службы и емкости от рабочей температуры для свинцово-кислотных аккумуляторов выполненных по панцирной технологии (OpZS) [6]. Работа при отрицательных температурах негативно сказывается на продолжительности службы аккумулятора и отдаваемой им емкости. Работа аккумулятора при температуре –20 °С приводит к снижению емкости до 60 % от номинальной и уменьшению ожидаемого срока службы аккумулятора на 40 %.

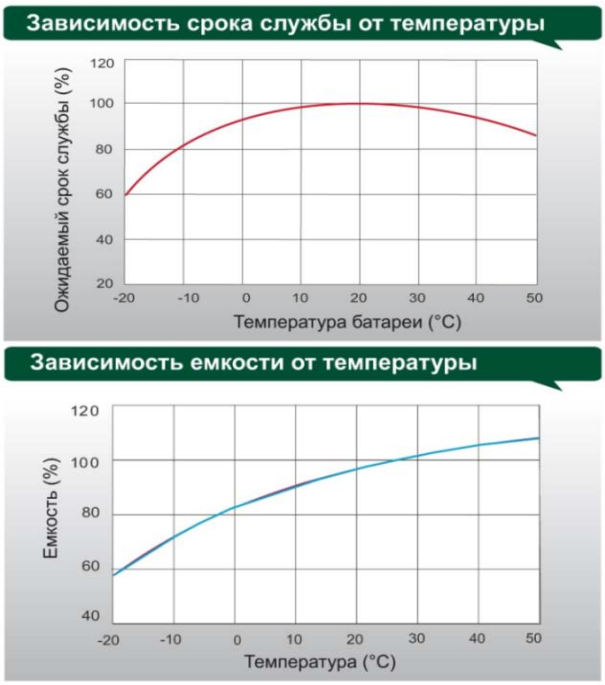


Рис. 2. Влияние температуры
на рабочие характеристики аккумуляторов

Характеристики аккумуляторов (доступная емкость, внутреннее сопротивление, саморазряд и др.) также подвержены негативному влиянию перечисленных выше факторов.

Чаще всего именно накопитель энергии является элементом, лимитирующим срок необслуживаемой работы автономной энергетической установки. Решением данной проблемы является применение систем контроля и управления для накопителей энергии автономных энергоустановок.

Система должна обеспечивать мониторинг состояния аккумуляторных ячеек накопителя энергии (напряжение, уровень заряда и т.д.), защиту ячеек от аварийных режимов (короткого замыкания, перезаряда и переразряда), выравнивание зарядов отдельных ячеек [7], а также обеспечивать поддержание оптимальных температурных условий работы аккумуляторов. Однако решения, обладающие всеми необходимыми функциями, на сегодняшний момент отсутствуют. Существующие системы мониторинга батарей дороги и не имеют функцию терморегулирования, а системы подогрева аккумуляторов, разработанные для других областей применения (стартерных АКБ автомобилей, батарей электровозов), не подходят для накопителей энергии автономных энергосистем.

Результатом применения системы контроля и управления для накопителей энергии автономных энергоустановок станет улучшение эксплуатационных характеристики и увеличение срока безотказной службы накопителя энергии автономных энергоустановок, сокращении затрат на обслуживание и замену аккумуляторов. Все эти факторы в конечном итоге повышают надежность работы автономной энергосистемы в целом. Поэтому исследования в области разработки подобных систем представляются весьма перспективными.

Библиографический список

1. Распределенная энергетика // Wikipedia.ru: сайт. – URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Распределенная_энергетика.

2. Соломин, Е.В. Возобновляемые источники энергии. Новые возможности человечества / Е.В. Соломин // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2013. – № 10. – С. 38–40.

3. Шкрадюк, И.Э. Тенденции развития возобновляемых источников энергии в России и мире / И.Э. Шкрадюк. – М.: WWF России, 2010. – 88 с.

4. Соломин, Е.В. Экономические аспекты внедрения ветроэнергетических установок / Е.В. Соломин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Экономика и менеджмент». – 2010. – № 20. – С. 32–36.

5. Мартьянов, А.С. Система освещения, основанная на ветроэнергетической установке / А.С. Мартьянов, Е.В. Соломин // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – № 1. – С. 101–105.

6. Выбор и эксплуатация аккумуляторов для автономного и резервного электроснабжения // invertor.ru: сайт. – URL: http://www.invertor.ru/akb.html.

7. Возмилов, А.Г. Анализ причин разбалансировки аккумуляторных батарей / А.Г. Возмилов, Е.В. Соломин, В.А. Калмаков, А.А. Андреев // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 11. – С. 65–68.

К содержанию

УДК 621.355

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА В СОСТАВЕ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ НА ЕГО СРОК СЛУЖБЫ

А.Г. Возмилов, В.А. Калмаков, А.А. Андреев

В статье описаны факторы, влияющие на срок службы и эксплуатационные параметры аккумуляторов работающих в составе автономных энергосистем. Определены параметры химических источников тока, по которым можно судить о состоянии аккумулятора.

Ключевые слова: аккумуляторы, условия работы, эксплуатация, автономная энергосистема.

Автономные энергоустановки мощностью от нескольких киловатт до нескольких сотен киловатт являются широко востребованными в различных секторах экономики и географических регионах России, где вне систем централизованного энергоснабжения проживает более 20 млн человек [1]. Особое положение занимают малые энергоустановки для удаленных объектов, положение которых препятствует использованию длинных линий электропередач, а установка мощных генерирующих систем не рациональна. В таких условиях малые установки обязательно должны иметь накопитель электрической энергии, так как только таким образом можно обеспечить стабильное питание электроэнергией потребителей.

Автономная энергосистема включает в себя потребителя энергии и энергетическую установку. Энергоустановка – комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенных для производства или преобразования, передачи, накопления, распределения энергии. В состав энергоустановки входит накопитель – устройство для накопления энергии с целью ее последующего использования. Нарушение работы накопителя, или ухудшение его эксплуатационных качеств негативно влияет на эффективность работы всей энергоустановки вплоть до полного выхода из строя последней.

Для того, чтобы рассматривать факторы, влияющие на срок службы аккумулятора, необходимо определиться с параметрами, по которым можно судить о состоянии аккумулятора. В процессе эксплуатации основные параметры накопителя изменяются: доступная емкость снижается, внутреннее сопротивление растет, ЭДС может снижаться и выходить за рамки рабочего диапазона, а саморазряд увеличивается.

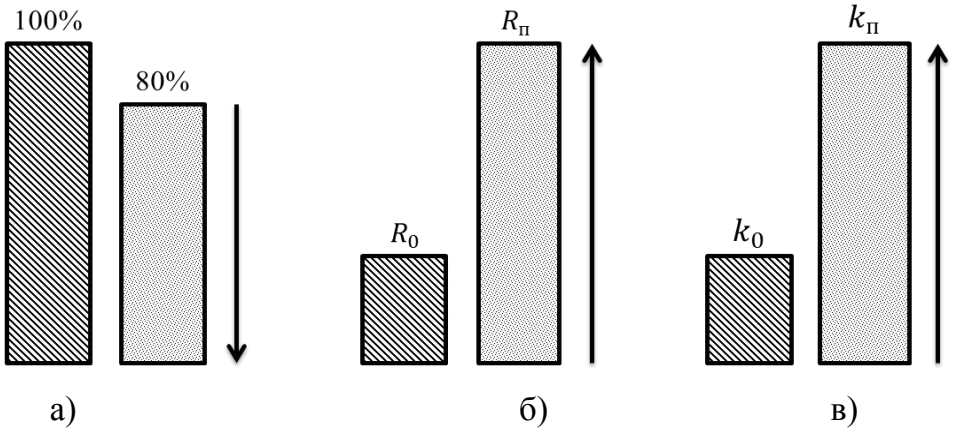


Рис. 1. Изменение индикаторных параметров аккумулятора
в процессе эксплуатации (а – доступная емкость,
б – внутреннее сопротивление, в – коэффициент саморазряда)

Рассмотрим влияние различных факторов более подробно.

Фактор температуры. Для накопителей существует две основные температуры: рабочая температура и температура хранения. При низкой температуре аккумулятор может храниться дольше без потери своих эксплуатационных качеств, за исключением ситуации, когда температура падает ниже температуры замерзания электролита, что может вывести аккумулятор из строя. Чем выше температура, тем активнее протекают химические реакции внутри аккумулятора, что приводит как к снижению электрического сопротивления, так и к ускоренной деградации внутренней структуры аккумулятора. Этим обусловлен диапазон рабочих температур, представленный на рисунке 2а [2].

На рисунке 2б [3] изображены кривые снижения уровня заряда аккумулятора от времени при различных температурах. Анализ показывает, что с ростом температуры растет величина саморазряда.

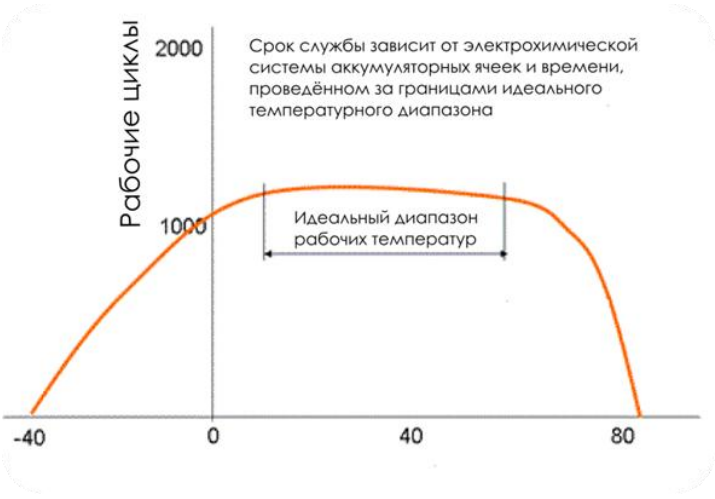


Рис. 2. Идеальный рабочий температурный диапазон

Глубина разряда. Подоптимальная глубиной разряда понимается нижняя граница уровня заряда аккумулятора для поддержания максимального срока службы.

На рисунке 3 [2] представлен рабочий диапазон заряда-разряда, поддержание работы в этом диапазоне существенно повышает срок службы аккумулятора.

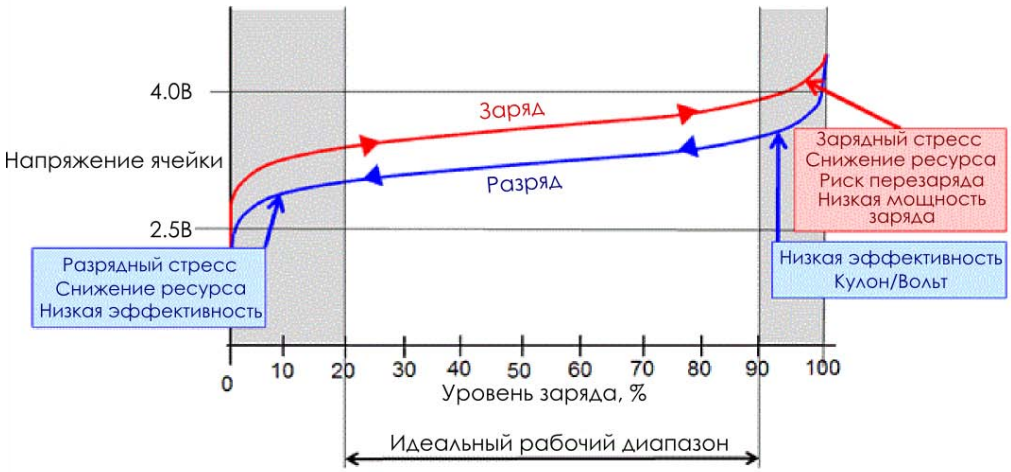


Рис. 3. Идеальный рабочий диапазон по глубине заряда и разряда

Одна из целей создания электронных систем управления накопителем энергии – контроль уровня заряда, и ограничение его оптимальными пороговыми значениями.

На рисунке 4а [3] изображена зависимость числа доступных рабочих циклов от диапазона использования емкости аккумулятора. При увеличении глубины разряда число доступных рабочих циклов снижается.

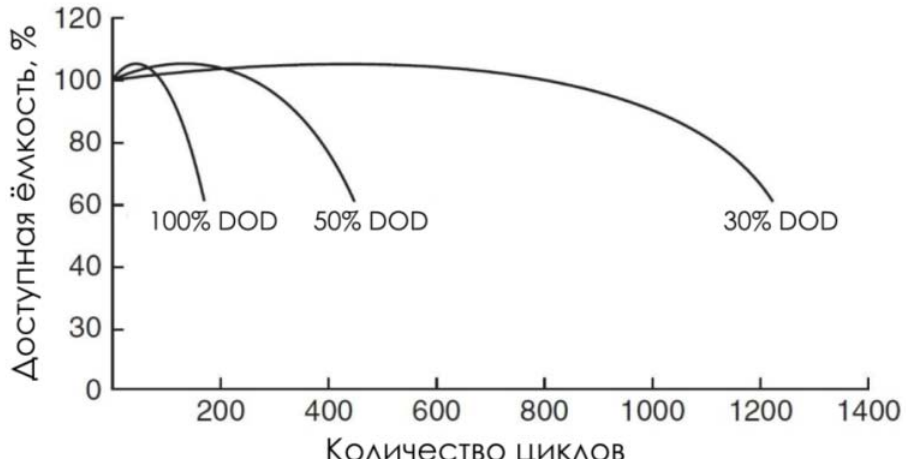


Рис. 4. Влияние глубины разряда на количество рабочих циклов, графики для глубины разряда 30 %, 50 %, 100 %

Динамика зарядно-разрядных процессов. Данный фактор имеет два основных критерия (зарядный ток, разрядный ток) и несколько дополнительных. На рисунке 5а [4] изображены графики снижения ресурса аккумулятором в зависимости от токов через аккумулятор. Если аккумулятор работает в условиях, когда рабочие токи превышают рекомендованные, процессы запасания и высвобождения, имеющие определенную скорость, снижают КПД преобразования, возникает перегрев и нарушение внутренней структуры, что приводит к снижению ресурса или к выходу аккумулятора из строя.

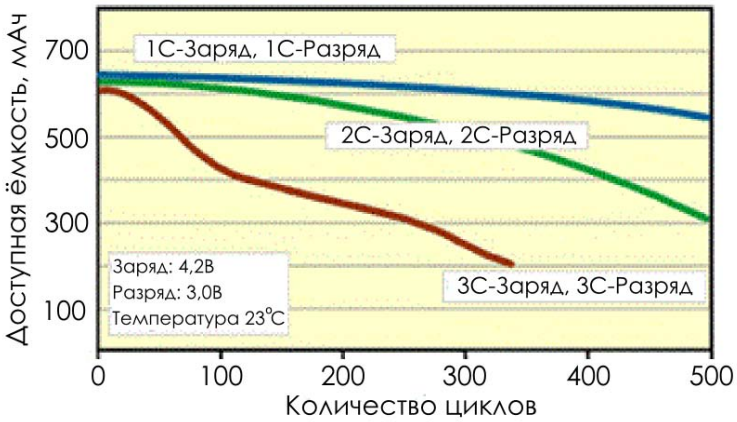


Рис. 5. Зависимость циклов разряда
от зарядного и разрядного тока для токов 1С, 2С, 3С

Количество рабочих циклов. Изменение рабочих параметров, по которым возможно определить состояние аккумулятора в зависимости от количества рабочих циклов для Li-ion технологии приведено на рисунке 6 [5]. Количество доступных циклов запасания и высвобождения энергии зависит от следующих условий:

- электрохимической системы аккумуляторных ячеек;
- конструктивных особенностей ячеек;
- условий эксплуатации [6];
- времени хранения и времени эксплуатации.

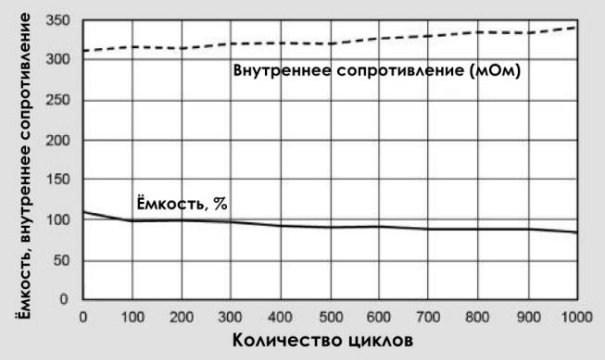


Рис. 6. Зависимость параметров аккумулятора
от числа прошедших циклов для Li-ion технологии

Подводя итог вышесказанному можно качественно определить влияние факторов на срок службы аккумуляторов с разными электрохимическими системами. Как было показано выше, все электрохимические системы аккумуляторов подвержены влиянию факторов, снижающих их срок службы. Комбинирование различных накопителей, позволит перевести режимы работы химических аккумуляторов в оптимальный диапазон.

Выводы:

- ни один из существующих типов химических источников тока (ХИТ) не имеет лучших потребительских качеств по сравнению с другими;
- алгоритм работы энергетической установки подразумевает нестабильность процессов накопления заряда в накопителе энергии, что негативно сказывается на сроке службы ХИТ;
- для максимального продления срока службы необходимо поддерживать оптимальные условия работы ХИТ.

Основные направления в продлении срока службы и повышении эксплуатационных качеств аккумуляторов в составе автономных энергетических установок:

- поддержание оптимального температурного режима.
- минимизация пульсаций тока через аккумулятор.
- поддержание уровня заряда аккумулятора в оптимально зоне (20–80 %).
- комбинирование различных типов накопителей энергии.

Библиографический список

1. Попель, О.С. Автономные энергоустановки на возобновляемых источниках энергии / О.С. Попель // Энергосбережение. – 2006. – № 3. – С. 70–75.

2. www.mpoweruk.com. – URL: http://www.mpoweruk.com/lithium_failures.htm.

3. Tomas, B. Reddy / LINDEN’S HANDBOOK OF BATTERIES. McGraw Hill Companies. – 2011.

4. www.mpoweruk.com. – URL: http://www.mpoweruk.com/life.htm.

5. batteryuniversity.com. – URL: http://batteryuniversity.com/learn/article/battery_performance_as_a_function_of_cycling.

6. Возмилов, А.Г. Анализ причин разбалансировки аккумуляторных батарей / А.Г. Возмилов, Е.В. Соломин, В.А. Калмаков, А.А. Андреев // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – 11 (115). – С. 65–68.

К содержанию

УДК 621.432

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ФОРСИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ 4Ч8,2/7,56 ГАЗОТУРБИННЫМ НАДДУВОМ БЕЗ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА

Г.В. Ломакин, М.А. Мацулевич, Н.М. Ломакина

Выполнена оценка тепломеханической нагруженность поршня двигателя 4Ч8,2/7,56, при форсировании по среднеэффективному давлению с использованием универсальной методики оценки граничных условий, позволяющая учесть все составляющие теплового баланса и особенности газодинамического нагружения в ходе рабочего цикла.

Ключевые слова: поршень, граничные условия, газодинамическое нагружение, квазистационарный теплообмен.

Совершенствование двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием связано с повышением топливной экономичности, увеличением литровой мощности, снижением массогабаритных показателей и тп. Для серийно выпускаемых двигателей номинальная частота вращения коленчатого вала составляет 4000…7000 мин$^{-1}$, а ее дальнейшее повышение не является целесообразным, поскольку возрастают инерционные нагрузки, механические потери, увеличивается скорость изнашивания цилиндропоршневой группы (ЦПГ) и кривошипно-шатунного механизма (КШМ). К перспективным направлениям развития двигателей с искровым зажиганием стоит отнести их форсирование по средне эффективному давлению, например, газотурбинный наддув. Данное техническое решение ограничено рядом факторов, в числе которых повышенные тепловой и механической нагруженности на детали КШМ и опасность возникновения детонационного сгорания.

Тепловая нагруженность поршня, как одного из наиболее нагруженных элементов, образующих внутрицилиндровое пространство камеры сгорания с рабочими температурами до 300 °С из алюминиевого сплава, лимитирует работу компрессионных колец (потеря подвижности), ограничивает срок службы и ухудшает свойства смазочного масла, является причиной появления трещин с последующим оплавлением кромки жарового пояса поршня и ограничивает дальнейшее форсирование двигателей по среднему эффективному давлению. Оценка теплового состояния поршня рассматриваемого двигателя методом конечно-элементного анализа, предусматривает следующую последовательность действий:

- определение характера изменения давления и температуры газов в цилиндре двигателя посредством синтеза рабочего цикла;

- определение параметров теплообмена со стороны рабочих газов в цилиндре двигателя, смазочного материала и сопряженных элементов цилиндро-поршневой группы;
- описание геометрических характеристик элемента, создание конечно-элементной модели и определение условий теплообмена на границах расчетной области;
- указание теплофизических свойств материалов и выполнение расчетных процедур по решению уравнения теплопроводности для нахождения распределения температур в анализируемом элементе.

Граничные условия теплового нагружения поршня двигателя 4Ч8,2/7,56 определены по универсальной методике, позволяющей учесть все составляющие теплового баланса и особенности газодинамического нагружения в ходе рабочего цикла [1].

При оценке прочностных параметров поршня, применительно к конечно-элементной модели, заданы граничные условия силового воздействия на режимах номинальной мощности, основными из которых являются давление газов и инерционная сила, возникающая при возвратно-поступательном движении поршня. Результирующая сила, воздействующая на поршень и приложенная к оси поршневого пальца, определена по результатам кинематического и динамического анализа кривошипно-шатунного механизма.

Следует отметить, для сохранения адекватности формы модели реальному исследуемому объекту линейные размеры элементов выбраны таким образом, чтобы исключить их влияние на геометрические характеристики поршня и обеспечить приемлемую точность при выполнении итерационного процесса. Для получения корректного решения термо-прочностной задачи по оценке уровня деформаций и напряжений, использована комплексная модель фрагмента кривошипно-шатунного механизма двигателя *4Ч 8,2/7,56*. Комплексная модель, включающая поршень, поршневой палец, шатун с втулкой поршневой головки и вкладышами и фрагмент коленчатого вала.

В результате проведенного совместного квазистационарного термопрочностного расчета получены результаты, в виде распределения температур, деформаций и напряжений, по поверхности и в объеме поршня.

Уровень температур в области первого компрессионного кольца, нефорсированного стандартного двигателя на режиме номинальной мощности при Ре = 0,895 МПа соответствует значению, примерно в 220…230 °С и представляется приемлемым. С повышением среднеэффективного давления от 1,428 до 1,815 МПа на режиме соответствующем номинальной мощности температур в области первого компрессионного кольца увеличивается, примерно 20…45 °С, соответственно, и представляется чрезмерно высоким, с точки зрения обеспечения приемлемых условий работы смазочного масла. Высокотемпературное коксование, нагарообразование и возможное «пригорание» смазочного масла в области первого компрессионного кольца создает предпосылки к потере подвижности последнего, что недопустимо.

Статический прочностной расчет поршня осуществлялся при положении коленчатого вала, соответствующий углу поворота 390 град. ПКВ такта расширения. Согласно результатам синтеза рабочего цикла двигателя, в этот момент в цилиндре достигается максимальное давление газов. В ходе проведения расчета определены суммарные и осевые деформации, нормальные, и эквивалентные напряжения, значения которых, использованы для оценки запасов прочности.

Использование комплексной модели при выполнении термо-прочностного анализа целесообразно, поскольку позволяет учесть жесткость фрагмента КШМ при передаче усилия от поршня к коленчатому валу и обеспечить корректное решение контактных задач в сопряжениях «поршень – поршневой палец», «поршневой палец – втулка поршневой головки шатуна», «шатунный вкладыш – шатунная шейка коленчатого вала».

Следует отметить, что максимальные суммарные деформации в 120, 180 и 240 мкм для различных *Ре* режима номинальной мощности *4Ч 8,2/7,56* наблюдаются в центральной части днища поршня, имеющем данное сечение, как наиболее нагруженное, что вполне согласуется с существующими представлениями о механической нагруженности поршня, и при данном уровне температур, и механических нагружений, достигаемых в ходе рабочего цикла, является вполне приемлемым.

Распределение эквивалентных напряжений поршня свидетельствует о приемлемом уровне ее механической нагруженности, значения которых не превышают допустимые значения с точки зрения предела прочности используемого материала АЛ-35.

Максимальный уровень нормальных напряжений сжатия составляет, примерно,77, 120 и 160 МПа соответственно для режимов номинальной мощности двигателя при разных *Ре*. Распределение нормальных напряжений поршня вдоль оси Y свидетельствует о приемлемом уровне ее механической нагруженности, значения которых не превышают допустимые значения с точки зрения предела прочности используемого материала.

Проведение поверочных расчетов поршня при форсировании двигателя *4Ч8,2/7,56* по среднему эффективному давлению, характеризующемуся повышенными значениями удельных показателей, позволяет прогнозировать поведение поршня в условиях реального теплового нагружения и силового воздействия, и, при необходимости внести ограничения по степени форсировки двигателя *4Ч8,2/7,56*.

В результате проведения поверочных расчетных оценок теплового и напряженно-деформированного состояния поршня двигателя *4Ч8,2/7,56* могут быть сформулированы следующие рекомендации:

- повысить эффективность охлаждения поршня смазочным маслом и использовать специальное смазочное масло, отвечающее требованию пониженного коксования при высоких температурах;

- применение охладителя наддувочного воздуха при давлении наддува более 0,15 МПа;
- понижение степени сжатия до 9…9,5 единиц.
- сечение второго компрессионного кольца для повышения его работоспособности в условиях высоких рабочих температур рекомендуется выполнять в виде трапеции;
- для снижения уровня теплового нагружения увеличить отвод теплоты от гильзы цилиндров интенсификацией движения охлаждающей жидкости, омывающей ее верхнюю область в полости системы охлаждения;

Библиографический список

1. Ломакин, Г.В. Методика оценки граничных условий при решении задачи определения теплового состояния поршня бензинового двигателя / Г.В. Ломакин, М.А. Мацулевич // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2014. – Т. 14. – № 1. – С. 26–31.

К содержанию

УДК 621.436.004 + 621. 822.001.2

ОЦЕНКА РЕСУРСА ШАТУННЫХ ПОДШИПНИКОВ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ДИЗЕЛЯ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ИХ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

И.Г. Леванов, Е.А. Задорожная

В статье представлены две методики оценки ресурса шатунного подшипника коленчатого вала дизеля, в основе которых лежит расчет гидромеханических характеристик: минимальной толщины смазочного слоя, расчетной зоны граничного трения в подшипнике.

Ключевые слова: вкладыш шатунного подшипника, теоретический ресурс, гидромеханические характеристики, износ.

Введение. Кривошипно-шатунный механизм является одним из основных узлов двигателя внутреннего сгорания (ДВС), который определяет его надежность. К наиболее ответственным узлам кривошипно-шатунного механизма относятся коренные и шатунные подшипники коленчатого вала.

В соответствии с ГОСТ Р 27.002-2009 [1] ресурс подшипника коленчатого вала – это интервал времени, выраженный в часах или километрах пробега, в течение которого подшипник работает до предельного состояния. Под предельным состоянием подшипника понимается состояние, при котором его дальнейшая эксплуатация нецелесообразна или невозможна

по причинам опасности, экономическим или экологическим. Как правило, предельное состояние подшипника коленчатого вала характеризуется увеличением зазора свыше допустимого значения в результате износа. Это часто приводит к появлению стуков при работе двигателя, увеличению расхода смазочного материала, а также снижению давления в системе смазывания.

Оценка ресурса подшипников коленчатого вала на стадии проектирования двигателя является актуальной задачей. Однако, сложно описать процесс изнашивания подшипника с учетом большого числа факторов: физико-механические и химические свойства материалов элементов подшипника, температурные условия работы, свойства смазочного материала, характер нагружения и другие. Подшипники коленчатого вала работают в разных режимах трения от граничного (в период спуска) до жидкостного (в течение установившегося режима работы), что также усложняет прогнозирование их ресурса.

Ресурс подшипников коленчатого вала может быть определен в результате расчетов по известным методикам [2–4], экспериментально [5], а также экспериментально-теоретическими методами [6, 7].

В основе методик расчета ресурса узлов трения, в частности подшипников коленчатого вала, лежит условие работоспособности [2–4]:

$$[\Delta h] < \Delta h_{\text{пред.}}, \quad (1)$$

где $[\Delta h]$ – допустимый износ, мкм; $\Delta h_{\text{пред.}}$ – предельный износ, мкм.

Условие долговечности узла трения [2] имеет вид:

$$t = \frac{[\Delta h]}{\gamma_1 + \gamma_2} \geq T, \text{ ч} \quad (2)$$

где t – расчетный ресурс узла трения до достижения предельного износа; γ_1, γ_2 – скорость изнашивания элементов узла трения; T – срок службы узла трения.

Скорость изнашивания определяется произведением интенсивности изнашивания I_h на скорость скольжения в зоне контакта [3]. Обоснование значений $[\Delta h]$ и $\Delta h_{\text{пред.}}$ является очень важным, поскольку определяет ресурс трибосопряжения.

Применительно к подшипникам коленчатого вала ДВС можно выделить известные методы определения ресурса [6]: усталостная теория износа по И.В. Крагельскому; метод фирмы «IBM»; расчет износа сопряжений по А.С. Проникову; изнашивания с позиций термофлуктуационной теории прочности по С.Н. Журкову, С.Б. Ратнеру; энергетической теории изно-

са по Флайшеру; структурно-энергетической теории износа по Л.И. Погодаеву; метода оценки износа по статистическим данным.

В работе [6] представлен исчерпывающий обзор экпсериментальных методов определения ресурса узлов трения: микрометрирование деталей, оценка износа по потере массы, анализ наличия частиц износа в смазочном материале, метод радиоактивных изотопов, определение износа по профилограммам поверхностей трения, метод искусственных баз.

Экспериментальные и теоретические методы определения ресурса основаны на оценке контактной зоны с учетом геометрии подшипника, нагрузки, упругих свойств материалов подшипника. Интенсивность изнашивания материалов определяется, главным образом, экспериментально [3].

В работе [6] предложена расчетно-экспериментальная методика оценки скорости износа радиальных подшипников скольжения коленчатых валов ДВС. Эта методика разработана в соответствии с молекулярно-механической теорией трения и усталостной теорией износа (по И.В. Крагельскому). С ее помощью можно определить значения безразмерных линейных интенсивностей изнашивания поверхностей трения сопряжения «вал-втулка», что в свою очередь открывает возможность для определения величин износа этих поверхностей в зависимости от продолжительности работы сопряжения. Расчетная оценка изнашивания осуществляется последовательно для конкретных режимов работы ДВС, то есть с шагом по нагрузке и частоте вращения коленчатого вала. Результаты применения методики показывают хорошее качественное и количественно соответствие с экспериментальными данными. Однако, в работе не представлены диаграммы износа подшипников и результаты микрометрирования вкладышей после испытаний.

Авторы работы [8] представили методику построения теоретической диаграммы износа (теоретического профиля износа) коренных подшипников коленчатого вала. Контактные параметры сопряжения «шейка вала – подшипник», также как в [6], определяются на основе решения контактной задачи теории упругости о внутреннем сжатии двух цилиндров с близкими радиусами [7]. В работе представлена блок-схема алгоритма для построения диаграммы износа подшипника, а также результаты построения. Предложенный в [8] подход может быть использован при проектировании подшипников коленчатого вала. Однако в работе не представлено сопоставления теоретического профиля (диаграммы) износа с ресурсом подшипников двигателя.

В настоящей статье представлено описание двух методик оценки ресурса подшипников коленчатого вала на основе расчета их гидромеханических характеристик (ГМХ). В основу первой методики положена работа [4]. Во второй методике использован подход, разработанный авторами работы [8].

Критерии работоспособности подшипников коленчатого вала. Результатом расчета подшипника коленчатого вала на основе гидродинамической теории смазки является набор ГМХ, позволяющих оценить работоспособность подшипников, а также расчетные траектории, по которым под действием приложенных нагрузок движутся центры шеек коленчатого вала. К таким характеристикам относятся [9–12]: минимальные и средние за цикл нагружения значение толщины смазочного слоя $h_{\min}, \overline{h}_{\min}$, мкм; наибольшее и среднее за цикл нагружения значение гидродинамического давления в смазочном слое $\sup p_{\max}$, p^*_{max}, МПа; относительные суммарные за цикл нагружения протяженности областей, где значения $h_{\min}$ меньше допустимых величин $h_{\lim,cr} - \alpha_{h_{\lim,cr}}$, %; среднеинтегральные за цикл потери мощности на трение $\overline{P}_f$ Вт, расход смазки в торцы подшипника $\overline{Q}$ л/с, и эффективная температура в смазочном слое $\overline{T}$ °С.

Величина $h_{\lim,cr}$ выбирается из условия обеспечения гидродинамического режима трения в подшипнике и должна быть больше средней суммы микронеровностей взаимодействующих поверхностей трения R_{z_1}, R_{z_2}:

$$h_{\lim,cr} > R_{z_1} + R_{z_1}. \qquad (3)$$

Как известно, кратковременный переход в область смешанной смазки не опасен для подшипника, если продолжительность соприкосновения шейки коленчатого вала с поверхностью вкладыша невелика (не более 20 % времени цикла) [13]. Будем считать подшипник работоспособным в случае, если протяженность $\alpha_{h_{\lim,cr}}$ не превышает 20 %. В случае превышения этого значения резко повышается вероятность возникновения задира в подшипнике.

Краткое описание методики расчета гидромеханических характеристик коленчатого вала. Расчет гидромеханических характеристик подшипников коленвала основан на решении трех взаимосвязанных задач: расчет динамики подвижных элементов трибосопряжения; определение сил гидродинамических давлений в смазочном слое; оценка теплового состояния элементов подшипника.

Задача расчета динамики подшипника коленвала сводится к построению траектории движения центра масс каждого подвижного элемента (например, шатунной шейки) под действием внешней периодической нагрузки. Траектория строится по координатам, получаемым в результате решения уравнений движения, интегрирование которых осуществляется методом формул дифференцирования назад, описанного в работах В.Н. Прокопьева, Ю.В. Рождественского и др. [9].

Поле гидродинамических давлений, необходимое для вычисления реакции смазочного слоя, определяется интегрированием уравнения Рей-

нольдса при граничных условиях Свифта-Штибера с учетом наличия на поверхностях трения источников подачи смазки (отверстий, канавок). При этом принимаются во внимание реологические свойства смазочного материала [15]. Уравнение Рейнольдса решается с помощью разработанного авторами адаптивного многосеточного алгоритма, который позволяет получить распределение давлений в смазочном слое с точностью до 10^{-4}.

Для оценки теплового состояния подшипника используется изотермический подход, основанный на решении уравнения теплового баланса. Это уравнение отражает равенство средних за цикл нагружения значений теплоты, рассеянной в смазочном слое, и теплоты, отведенной смазкой, вытекающей в торцы.

Определение ресурса шатунного подшипника. Первая методика определения ресурса подшипников коленчатого вала основана на применении зависимостей Румба В.К. [9]. Ресурс R_h в часах работы подшипника определяется по расчетным минимальным значениям толщины смазочного слоя в виде:

$$R_h = \left(\Delta h_{\text{пред.}} / \gamma\right)^{1/\beta_I}, \qquad (4)$$

где γ – скорость изнашивания, м/с; β_I – показатель степени.

Предельный износ $\Delta h_{\text{пред.}}$ обоснованно принимается в каждом отдельном случае, например, по методике, описанной в [14]. В нашем случае принято $\Delta h_{\text{пред.}} = 30$ мкм, а $\gamma = 10^{-13}$ м/с [3].

Показатель степени β_I является детерминированной величиной и его значение можно задавать в функции от отношения минимальной $h_{\min}$ толщины смазочного слоя, к критической $h_{\text{lim},cr}$, например, по формуле:

$$\beta_I = 1 + \left(h_{\min} / h_{\text{lim.cr}}\right)^{n_I}. \qquad (5)$$

В нашем случае для шатунного подшипника коленчатого вала дизельного двигателя $h_{\text{lim},cr} = 1{,}9$ мкм [9]. Значение показателя степени n_I в формуле (5) определяется решением обратной задачи. То есть, если задать ресурс подшипника с конкретными параметрами (в нашем случае примем 10000 часов) и знать распределение толщины смазочного слоя за цикл, то можно определить сначала показатель степени β_I, а затем и искомую величину n_I. Показатель степени n_I имеет диапазон значений от -2 до -2,5 при значении минимальной толщины смазочного слоя $h_{\min} = (2{,}5 \ldots 3{,}5)$ мкм и критическом значении толщины смазочного слоя $h_{\text{lim},cr} = 1{,}9$ мкм.

Результаты оценки теоретического ресурса шатунного подшипника дизельного двигателя с диаметром цилиндра 130 мм и ходом поршня 150 мм представлены в таблице.

Таблица

Результаты оценки ресурса шатунного подшипника дизеля 6ЧН 13/15

Ширина подшипника B, мм	Характеристики подшипника				
	$\bar{h}_{\min}$ мкм	β_I	$\alpha_{h_{\lim,cr}}$, %	R_h, ч	
				методика 1	методика 2
D = 95мм					
33	5,739	1,109	14,86	4502,2	2282,2
38	6,606	1,082	12,77	6799,4	2915,7
43	7,350	1,066	10,88	8761,7	3681,4
48	8,090	1,055	8,888	10604,7	4767,3

Результаты расчета характеризуют ресурс шатунного подшипника при работе двигателя на установившемся режиме максимального крутящего момента. Двигатель работает в таком режиме лишь часть рабочего времени в реальных условиях эксплуатации. Таким образом, для того, чтобы получить более точное значение теоретического ресурса шатунных подшипников целесообразно учитывать характер нагружения двигателя в реальных условиях эксплуатации.

Второй метод базируется на работах [6, 8]. В основе метода также лежит расчет ГМХ подшипника коленчатого вала. По результатам расчета минимальной толщины смазочного слоя определяется $\alpha_{h_{\lim,cr}}$, то есть часть цикла нагружения, где нарушается гидродинамический режим трения.

В отличие от работы [8], диаграмма износа строится только в том случае, если $h_{\min} < h_{\lim,cr}$.

Условное увеличение износа на каждом шаге расчета по углу поворота коленчатого вала [8] предлагается определять как:

$$\delta(\alpha,\beta) = I_h(\alpha,\beta)\cdot 2\cdot \beta_c \cdot R_b \cdot 10^6. \quad (6)$$

Здесь $\delta(\alpha,\beta)$ – условное увеличение износа (радиального зазора), мкм; α – текущее значение угла поворота коленчатого вала; β_c – полуугол контакта, рад.; β – текущая угловая координата, которая меняется от $-\beta_c$ до β_c; R_b – радиус подшипника, м.

Линейную интенсивность изнашивания предлагается определять как

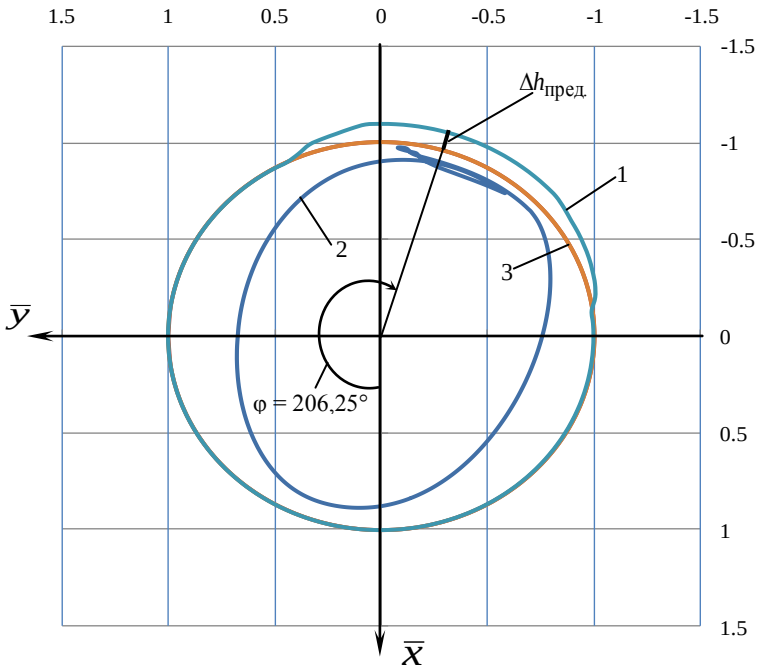
$$I_h(\alpha,\beta) = k\cdot p(\alpha,\beta)^m. \quad (7)$$

Здесь $p(\alpha,\beta)$ – контактное давление, МПа; $k = 3{,}65\cdot 10^{-14}$ – константа, МПа$^{-1}$; $m = 0{,}0659$ – показатель степени.

Значения k и m получены экспериментально для контакта типа «ролик-колодка».

Результаты оценки ресурса шатунного подшипника коленчатого вала по второй методике также представлены в таблице. Теоретическая диаграмма износа и траектория движения центра шатунной шейки в подшипнике представлены на рисунке, где предельный износ $\Delta h_{\text{пред.}} = 30$ мкм указан с масштабным коэффициентом 1/6.

Как видно из таблицы, теоретический ресурс шатунного подшипника, рассчитанный по первой методике, отличается от результата, полученного по второй методике, более чем на 50 %. Однако, полученные значения сопоставимы со значениями назначенного ресурса до первой переборки аналогичных двигателей. Например, для дизелей типа ЧН15/18 назначенный ресурс до первой переборки составляет от 2000 до 5000 часов. Это обстоятельство позволяет говорить о том, что обе методики могут быть использованы для прогнозирования ресурса подшипников коленчатого вала после уточнения параметров, входящих в математические модели.



Теоретическая диаграмма износа поверхности шатунного вкладыша (1) и траектория движения центра шатунной шейки (2) коленчатого вала двигателя 6ЧН 13/15 относительно поверхности подшипника (3) (режим $M_{\max}$)

Заключение. Отличия в результатах, предположительно связаны с тем, что в методиках используются разные подходы. Кроме того, результат в значительной степени зависит от принятого значения линейной интенсивности изнашивания для материалов коленчатого вала и вкладыша подшипника. Очевидно, что обе методики необходимо уточнять на основе результатов экспериментальных исследований подшипников, как в условиях реальной эксплуатации двигателей, так и в лабораторных условиях.

Общим недостатком представленных методик является и то обстоятельство, что ресурс может быть определен только в случае наличия зон граничного трения в подшипнике. В тех же случаях, когда минимальная толщина смазочного слоя превышает предельно допустимое значение на протяжении всего цикла нагружения подшипника, то ресурс теоретически будет равен бесконечности. В условиях реальной эксплуатации этого, ко-

нечно, не происходит, поскольку режим граничного трения реализуется в подшипниках в моменты пуска и остановки двигателя.

Таким образом, дальнейшее совершенствование методик расчета следует вести в направлении связи гидродинамических давлений, развиваемых в подшипнике, с его ресурсом. То есть наряду с фрикционной усталостью оценивать многоцикловую усталость антифрикционного слоя подшипника. Методики уже на данном этапе могут быть использованы для сравнительной оценки ресурса подшипников коленчатого вала ДВС на ранней стадии проектирования.

Представленная работа выполнена при поддержке РФФИ (проект НК-13-08-00875\14).

Библиографический список

1. ГОСТ Р 27.002-2009. Надежность в технике. Термины и определения. – Введ. 2011-01-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 24 с.

2. Сафонов, П.Б. Инженерная трибология: оценка износостойкости и ресурса трибосопряжений. Учебное пособие для студентов специальности 170515 / П.Б. Сафонов, А.В. Бегова. – РХТУ им. Д. И. Менделеева, Новомосковский институт, 2004. – 65 с.

3. Когаев, В.П. Прочность и износостойкость деталей машин / В.П. Когаев, Ю.Н. Дроздов. – М.: Высшая школа, 1991. – 319 с.

4. Румб, В.К. Прогнозирование долговечности подшипников коленчатых валов судовых дизелей / В.К. Румб // Двигателестроение. – 2009. – № 1. – С. 15–17.

5. Vencl, A. Diesel engine crankshaft journal bearings failures: Case study / A. Vencl, A. Rac // Engineering Failure Analysis. – 2014. – Vol.44. – Pp. 217–228.

6. Черепанов, Д.А. Расчетно-экспериментальная модель изнашивания опор скольжения коленчатых валов поршневых ДВС: дис. … канд. техн. наук / Д.А. Черепанов. – СПб.: СПбГПУ, 2004. – 168 с.

7. Крагельский, И.В. Узлы трения машин: Справочник / И.В. Крагельский, М.Н. Михин. – М.: Машиностроение,1984. – 280 с.

8. Nikolic, N. A procedure for constructing a theoretical wear diagram of IC engine crankshaft main bearings / N. Nikolic, T. Torovic, Z. Antonic // Mechanism and Machine Theory. – 2012. – Vol. 58. – Pp. 120–136.

9. Прокопьев, В.Н. Динамика и смазка трибосопряжений поршневых и роторных машин: монография / В.Н. Прокопьев, Ю.В. Рождественский и др. // Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – Ч. 2. – 221 с.

10. Захаров, С.М. Трибологические критерии оценки работоспособности подшипников скольжения коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания / С.М. Захаров, И.А. Жаров // Трение и износ. – 1996. – Т. 17. – № 5. – С. 606–615.

11. Современная трибология: Итоги и перспективы / Отв. ред. К.В. Фролов. – М. Издательство ЛКИ, 2008. – 480 с.

12. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др.; Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

13. Вырубов, Д.Н. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов втузов, обучающихся по специальности «ДВС» / Д.Н. Вырубов, С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко и др.; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и. доп. – М.: Машиностроение, 1984 – 384 с.

14. Система допусков и посадок неразъемного соединения втулок подшипников скольжения распределительного вала ДВС [Электронный ресурс] / В.А. Санинский, Е.И. Румянцев, М.П. Горшенева, Ю.Н. Платонова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – URL: http://www.science-education.ru/117-13637.

15. Задорожная, Е.А. Применение неньютоновских моделей смазочных жидкостей при расчете сложнонагруженных узлов трения поршневых и роторных машин / Е.А. Задорожная, И.В. Мухортов, И.Г. Леванов // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2011. – № 7. – С. 22–30.

К содержанию

УДК 621.822+ 621.43.004

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОДШИПНИКОВ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ТЕПЛОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА НЕУСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

Е.А. Задорожная, Д.И. Раскатов, Д.Ю. Иванов

Представлена методика расчета сложнонагруженных подшипников коленчатого вала дизельного двигателя, работающего на неустановившихся режимах. Определены газовые, инерционные и результирующие силы, действующие на шатунные подшипники. Выполнен расчет гидромеханических характеристик шатунного подшипника, определяющие его работоспособность при переменной угловой скорости коленчатого вала. Представлена также методика контроля износа подшипников при эксплуатации двигателя, основанная на методе безразборной вибродиагностики. Получена зависимость изменения амплитуды сигнала от увеличения зазора в шатунном подшипнике.

Ключевые слова: рабочий цикл, неустановившийся режим, гидродинамические параметры, индикаторное давление, газовые нагрузки, акустический спектр, амплитуда сигнала, вибродиагностика.

Двигатели транспортных установок большую часть времени работают на неустановившихся режимах. В этих случаях работа двигателя сопровождается ухудшением его мощностных и экономических показателей, увеличением механических и тепловых нагрузок, снижением моторесурса.

Моторесурс двигателя в значительной мере определяется работоспособностью подшипников коленчатого вала. Неустановившиеся режимы сопровождаются перегрузками деталей кривошипно-шатунного механизма (КШМ) более чем в 1,5 раза. Перегрузки приводят к увеличению удельных давлений на трущиеся поверхности, что усугубляет работу пар трения, а в условиях недостаточной подачи смазки при низких оборотах коленчатого вала может привести к повышенному износу [1]. Разрушение подшипников КШМ от перегрузок и недостаточности смазки составляет около 25 % от общего числа аварий подшипников.

Несмотря на это, методики, учитывающие условия работы подшипников КШМ на неустановившихся режимах, пока не получили широкого распространения в отечественной практике проектирования ДВС. Это обусловлено, во-первых, недостаточным объемом информации о поведении подшипника скольжения при неустановившихся режимах работы двигателя; во-вторых, отсутствием методики, позволяющей оценивать одновременное влияние различных факторов неустановившегося режима на работоспособность подшипников скольжения коленчатого вала. В данной работе предпринята попытка описать такую методику, а также соответствующее программное обеспечение, с возможностью использования в инженерной практике.

Методика расчета работы двигателя при неустановившихся режимах состоит из трех больших блоков: расчет рабочего процесса; определение сил, действующих на шатунные подшипники коленчатого вала; расчет гидромеханических характеристик (ГМХ) шатунного опоры.

В ходе выполнения исследований был разработан пакет программ на языке программирования ФОРТРАН, который состоит из отдельных, последовательно вызываемых подпрограмм [2]. Структура пакета представлена на рис. 1.

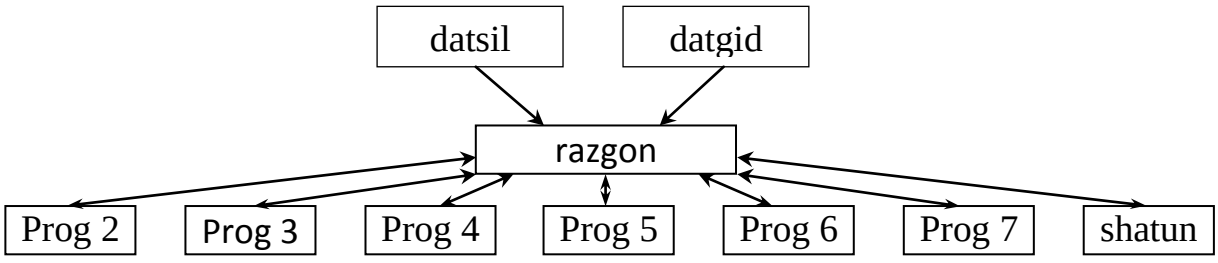


Рис. 1. Пакет программ

Здесь datsil; datgid – файлы ввода данных; razgon – основная программа; Prog 2 – расчет рабочего процесса; Prog 3 – определение индикаторных и эффективных показателей; Prog 4 – печать индикаторных давлений; Prog 5 – печать индикаторных и эффективных показателей цикла; Prog 6 – изменение данных для расчета промежуточных режимов; Prog 7 – расчет сил; Shatun – расчет гидродинамических параметров.

При расчете неустановившегося режима, решено было представить его в виде совокупности установившихся режимов, последовательно сменяющих друг друга. Условия, описывающие работу двигателя при установившемся режиме, могут быть выражены системами уравнений [3]:

$$\begin{cases} \frac{dM_{кр}}{dt} = 0 \\ \frac{dn}{dt} = 0 \end{cases}, \quad \begin{cases} M_{кр} - Mc = 0 \\ Q_в - Q_{от} = 0 \end{cases},$$

где n – обороты двигателя; $Q_в$ – суммарное количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива в единицу времени; $Q_{от}$ – количество теплоты, расходуемое двигателем на полезную работу и передаваемое в окружающую среду; $M_{кр}$ – среднее значение крутящего момента за цикл; $M_с$ – внешний и внутренний моменты сопротивления без учета затрат на инерционные нагрузки.

Следовательно, для установившегося режима характерно равенство количества теплоты, выделившейся в двигателе, и количества теплоты, отдаваемой окружающей среде, включая теплоту, эквивалентную механической энергии, выработанной двигателем и израсходованной автомобилем.

При неустановившихся режимах двигатель вырабатывает недостаточное или избыточное количество энергии при заданной нагрузке. Нагрузкой считаются любые моменты сопротивления, приведенные к коленчатому валу двигателя. Дисбаланс энергии приводит к изменению частоты вращения и, как следствие, к изменению угловой скорости и углового ускорения коленчатого вала, а также к нарушению теплового баланса двигателя. Условия работы двигателя при этом режиме, следующие [3]:

$$\begin{cases} M_{кр} - M_с = J\frac{d\omega}{dt} \\ Q_в - Q_{от} = \sum_l^h c_i \frac{dT_i}{dt} \end{cases},$$

где J – приведенный момент инерции двигателя и автомобиля; T_i – температура i-го теплопередающего элемента двигателя; ω – угловая скорость вращения вала двигателя; c_i – теплоемкость i-го элемента двигателя.

Таким образом, при установившемся режиме угловая скорость коленчатого вала постоянна во времени, а угловое ускорение равно нулю. При неустановившемся режиме если угловая скорость увеличивается во времени, а изменение углового ускорения имеет положительное значение, то двигатель находится в состоянии разгона. Если угловая скорость уменьшается, а изменение ускорения меньше нуля, то – в состоянии замедления.

В представленной работе неустановившийся режим рассмотрен на примере состояния разгона. Длительность одного отдельного цикла разгона равна длительности рабочего цикла (двум оборотам коленчатого вала).

На рис. 2 показан график зависимости угловых скорости и ускорения от цикла неустановившегося режима, полученный при экспериментальном исследовании режимов разгона двигателя типа ЧН 13/15.

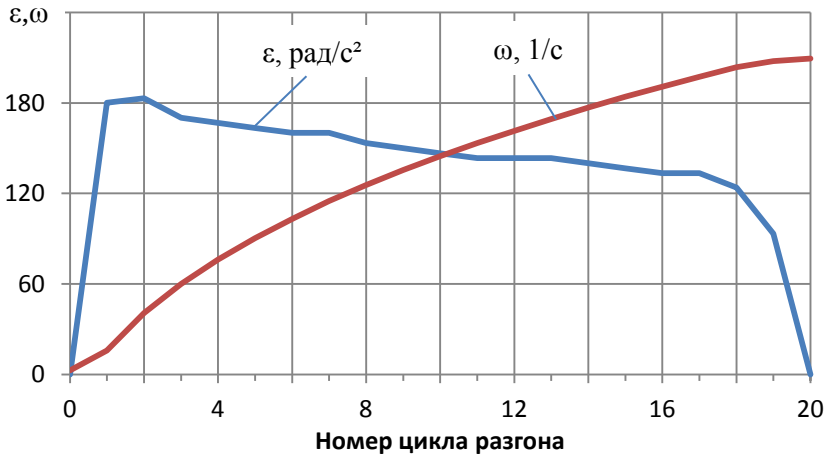


Рис. 2. Зависимость угловой скорости и ускорения от циклов разгона

Разгон осуществлялся без нагрузки путем резкого нажатия педали акселератора в положение максимальной подачи топлива форсунками. При этом начальная угловая скорость коленчатого вала соответствовала скорости режима холостого хода, конечная – скорости режима номинальной мощности.

Первым, согласно методике, производится расчет рабочего процесса. При расчете рабочего процесса во всех его циклах неустановившийся режим разбивается на отдельные элементарные участки продолжительностью 1 град. ПКВ и для каждого участка вычисляются значения давления, температуры и удельного объема.

Наибольшие нагрузки на подшипники коленчатого вала происходят в цикле сгорания. В его основе лежит модель выгорания И.И. Вибе [4, 5].

$$x = 1 - e^{c\left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^{m+1}},$$

где x – доля топлива, выгоревшая к моменту φ; m – показатель характера сгорания; φ_z – продолжительность процесса сгорания.

На основании универсального закона выгорания И.И. Вибе, Е.А. Лазарев предложил свою уточненную модель процесса сгорания отдельно в начальном и основном периоде [6]:

$$\begin{cases} x = 1 - e^{c\left(\frac{\varphi}{\varphi_{zн}}\right)^{m_н+1}}, & 0 \le \varphi \le \varphi_н \\ x = 1 - e^{c\left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^{m_0+1}}, & \varphi_н < \varphi \le \varphi_z \end{cases},$$

где $m_н$ – показатель характера сгорания в начальном периоде; m_o – показатель характера сгорания в основном периоде; $\varphi_{zн}$ – продолжительность начального периода сгорания; φ_z – продолжительность процесса сгорания.

Одним из наиболее важных результатов расчета рабочего процесса являются индикаторные давления газов, определяемые в каждом цикле. По результатам индикаторных давлений строятся индикаторные диаграммы [6]. На рис. 3 приведены индикаторные диаграммы давления газов от угла ПКВ и удельного объема цилиндра.

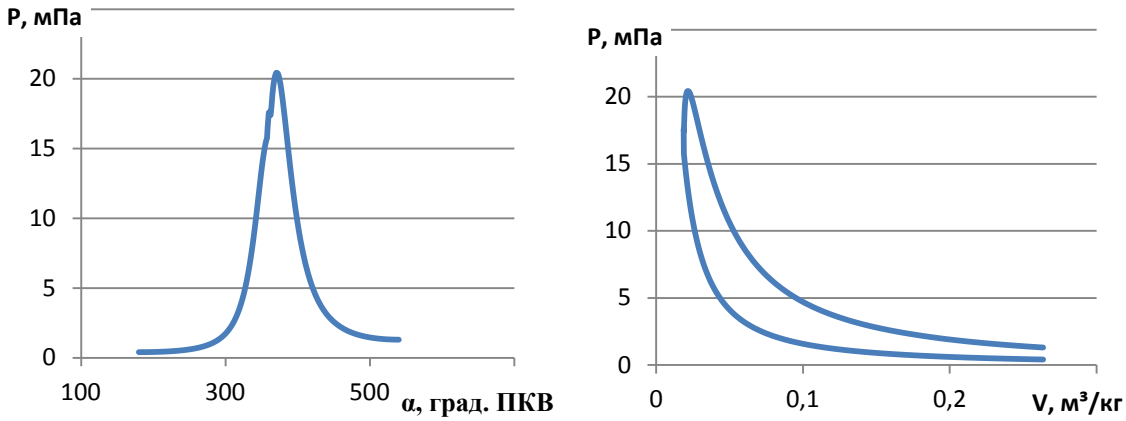


Рис. 3. Индикаторные диаграммы рабочего процесса двигателя ЧН 13/15

Помимо сил давления газов, на нагрузки подшипников КШМ влияют силы инерции поступательно и вращательно движущихся масс, а также реакция смазочного слоя на действие сил. На рис. 4 показана схема действия сил на шатунную опору [3].

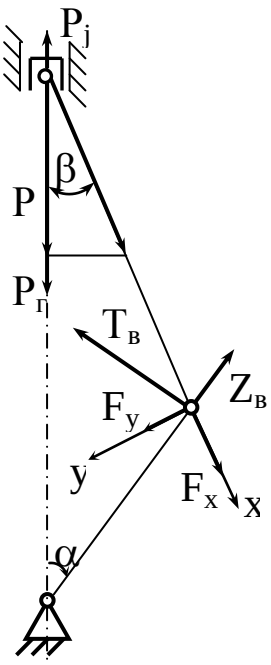


Рис. 4. Схема действия сил

Приближенные уравнения плоского движения центра шатунной шейки:

$$m_Э \ddot{\bar{U}} = P(\bar{U},\dot{\bar{U}}) + f_U(\bar{t})$$

$$P_U(\bar{U},\dot{\bar{U}}) = \frac{1}{h_0\omega_0^2} R_U^*(\bar{U},\dot{\bar{U}}) \qquad f_U(\bar{t}) = F_U(\bar{t}) + \lambda\frac{\partial F_U}{\partial \bar{t}}$$

где $m_э$ – эффективная расчетная масса шипа;

$\bar{U} = U/h_0 = (\bar{X},\bar{Y})$ – безразмерный вектор перемещения центра шипа; $F_U = (F_X, F_Y)$ – проекции на соответствующие оси внешней нагрузки.

Проекции сил, действующих на шатунный подшипник в различные моменты времени, представлены на рис. 5. Причем величина силы давления газов (Fx) максимального значения достигает в цикле сгорания (370 град. угла поворота коленчатого вала). В последнем цикле разгона она больше, чем в начальных из-за роста коэффициента избытка воздуха, улучшения характера сгорания в основном периоде и лучшего очищения цилиндра на выпуске.

Fy – величина проекции силы инерции поступательно и вращательно движущихся масс зависит от оборотов колечатого вала, поэтому она максимальна в последнем цикле разгона.

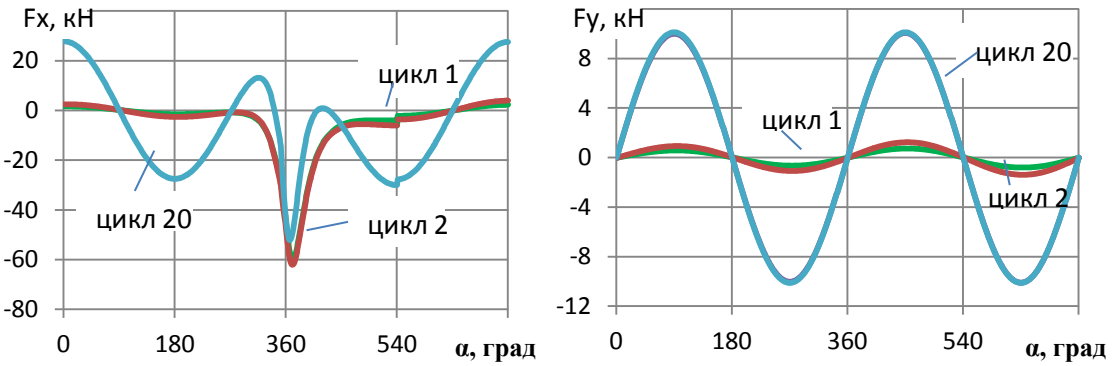


Рис. 5. Проекции сил

Заключительным этапом методики является расчет ГМХ подшипника, который основан на решении обобщенного уравнения Рейнольдса для круглоцилиндрической опоры конечной длины при граничных условиях Свифта-Штибера [7]. Гидродинамические условия работы подшипников коленчатого вала принято оценивать с помощью траектории движения шипа и набора гидромеханических характеристик. На рис. 6 приведены экстремальные характеристики: максимальное давление в слое смазки, минимальная толщина смазочного слоя. По ним можно судить, что наиболее неблагоприятным с точки зрения гидродинамики является первый цикл разгона.

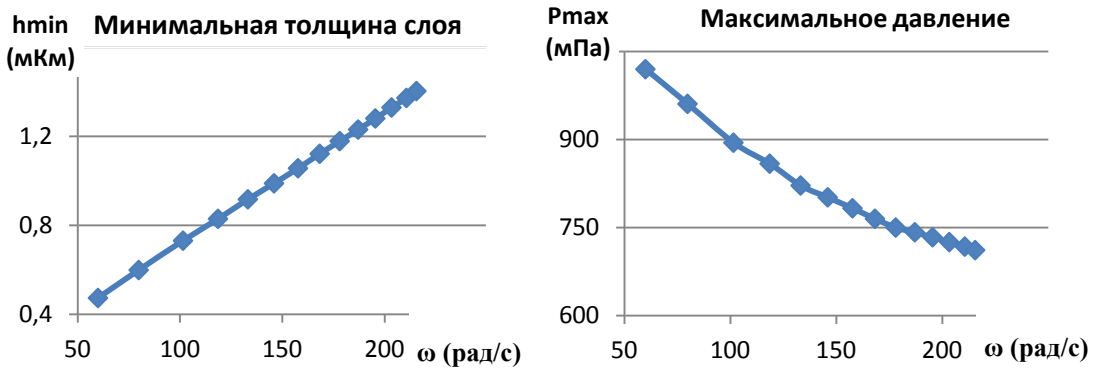


Рис. 6. Результаты гидродинамического расчета

Данная методика применяется последовательно для каждого цикла разгона. Она может быть использована для исследования любого вида неустановившегося режима и любого типа двигателя.

Процесс износа ДВС сопровождается не только изменением геометрических форм деталей, размеров, зазоров, но и во многих случаях акустическими изменениями. Для контроля состояния износа пары «вкладыш под-

шипника – шейка вала» требуется проводить диагностику двигателя. В данной работе предложен метод безразборной виброакустической диагностики и составлен его алгоритм [8].

1. В программе Razgon изменялись данные радиального зазора подшипника от номинального с последующем увеличением. Для каждого зазора проводился расчет, из которого использовались данные: траектория движения центра шипа; угол ПКВ; проекции действующих сил.

2. В программе EXEL для всех зазоров построены зависимости амплитуды траектории движения центра шейки вала от времени.

3. В среде программирования MatLab с помощью быстрого преобразования Фурье для каждой реализации «амплитуда – время» получен спектр «амплитуда – частота», который показан на рис. 7.

На графиках акустического спектра видно, что с увеличением радиального зазора в подшипнике на частоте 160 Гц наблюдается повышение амплитуды акустического сигнала. По результатам проведенных вычислений для всех зазоров на рис. 8 показан график зависимости амплитуды акустического спектра от радиального зазора в подшипнике. По нему видно, что с увеличением зазора, начиная с 76 (мкм) происходит относительно резкий рост амплитуды сигнала по виброперемещению подшипника [9].

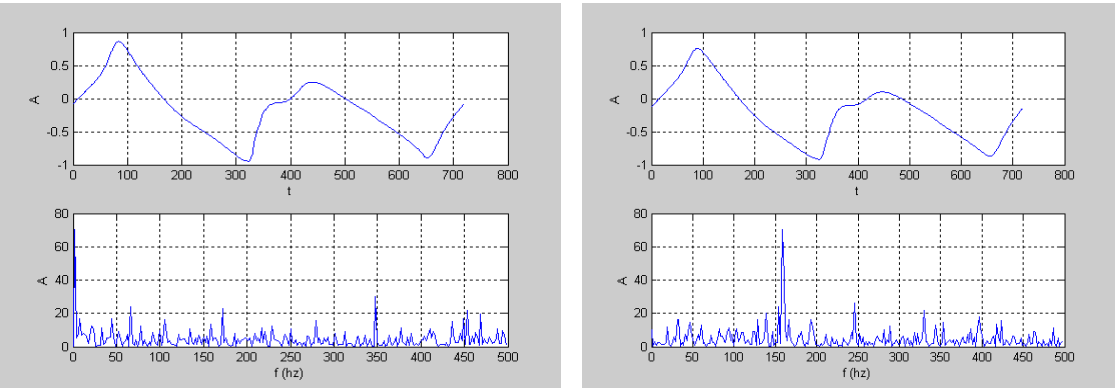


Рис. 7. Реализации «амплитуда – время» и «амплитуда – частота»

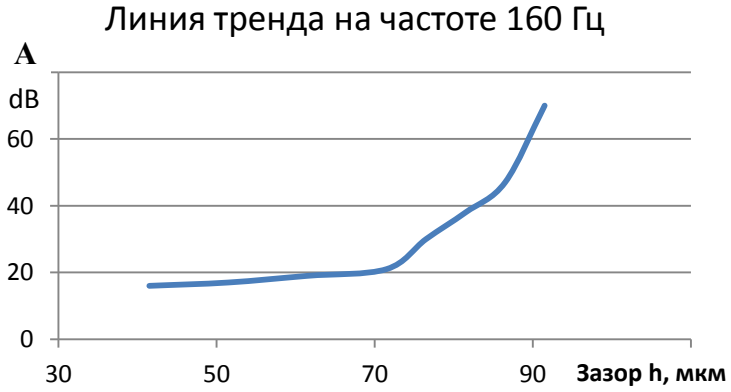


Рис. 8. Зависимость амплитуды спектра от зазора

Представленный диагностический метод определения состояния подшипников КШМ двигателя ЧН 13/15 позволяет без разборки двигателя контролировать его износ. При использовании вибродиагностической аппаратуры с помощью такого метода с большой долей вероятности можно предположить, что при сигнале с вибродатчика частотой 160 Гц и амплитудой 30 дБ, радиальный зазор в подшипнике составляет 76,5 мкм, а при амплитуде сигнала 70 дБ, величина зазора будет составлять около 91 мкм.

Применение разработанного методического и программного обеспечения исследования работоспособности подшипников коленчатого вала позволит на ранних стадиях проектирования тепловых двигателей учесть влияние неустановившихся режимов разгона на характеристики сложнонагруженных подшипников жидкостного трения. А применение безразборного вибродиагностического метода позволит контролировать износ деталей КШМ во время эксплуатации двигателя, сократить временные и финансовые затраты на проведение диагностики и в случае обнаружения преждевременного износа своевременно принять меры по устранению причины.

Представленная работа выполнена при поддержке РФФИ (проект НК-13-08-00875\14).

Библиографический список

1. Прокопьев, В.Н. К методике расчета нагруженности подшипников двигателя на неустановившихся режимах работы / В.Н. Прокопьев // Автомобили, тракторы и двигатели. – Челябинск, 1974.

2. Бояршинова, А.К. Программный комплекс для расчета динамики и ГМХ шатунных подшипников коленчатых валов ДВС на режимах разгона двигателя «Разгон» / А.К. Бояршинова, Е.А. Задорожная, С.В. Чернейко, И.А. Ивин // Свидетельство № 2011612348 от 21.03.2011.

3. Бояршинова, А.К. Влияние режимов разгона на нагруженность подшипников коленчатого вала ДВС / А.К. Бояршинова, Е.А. Задорожная // Двигатели внутреннего сгорания. – 2012. – № 1. – С. 70–75.

4. Вибе, И.И. Теория двигателей внутреннего сгорания: Конспект лекций / И.И. Вибе. – Челябинск: ЧПИ, 1974. – 252 с.

5. Кичигин, Е.Ф. К расчету давления газов в процессе сгорания / Е.Ф. Кичигин // Сб. ст. Автомобили, тракторы и двигатели. – Челябинск: ЧПИ,1974. – С. 155–161.

6. Лазарев, Е.А. Совершенствование моделирования закономерностей выгорания топлива в дизеле / Е. А. Лазарев // Двигателестроение. – 1985.– № 12. – С. 11–12.

7. Задорожная, Е.А. Расчет сложнонагруженныхтрибосопряжений высокофорсированного дизеля / Е.А. Задорожная, И.Г. Леванов, С.А. Пырьев // Вестник машиностроения, – 2013, – № 12. – С. 42–47.

8. Барков, А.В. Современные возможности вибродиагностики машин и оборудования / А.В. Барков, В.С. Никитин. – СПб.: ГМТУ, 2005.

9. Баркова, Н.А. Введение в виброакустическую диагностику роторных машин и оборудования / Н.А. Баркова – СПбГМТУ, 2003. – 160 с.

К содержанию

УДК 621.822.5 + 62-13

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И ВЫБОР ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ РОТОРА ТУРБОКОМПРЕССОРА

Е.А. Задорожная, Д.В. Сорокин

Представлен обзор методов расчета, моделирования, теоретических и экспериментальных исследований многослойных подшипников скольжения ротора турбокомпрессора. На основе расчета динамики гибкого асимметричного ротора турбокомпрессора ТКР-130 выполнены параметрические исследования подшипников с промежуточными элементами. В качестве результатов исследований представлены траектории движения элементов ротора, соотношения внешнего и внутреннего зазора для двухслойных подшипников, а также упругие линии ротора. На основе выполненных исследований разработаны рекомендации по выбору зазоров, обеспечивающие устойчивое движение ротора.

Ключевые слова: подшипник, ротор, турбокомпрессор.

Турбокомпрессор – это лопастная машина, позволяющая использовать энергию выхлопных газов для нагнетания воздуха или топливовоздушной смеси в двигатель внутреннего сгорания. В результате, при одинаковом объеме двигателя увеличивается его мощность [1].

Турбокомпрессор (рис. 1) представляет собой соединенные неподвижные корпуса турбины, компрессора и подшипников, в которых вращается ротор. Ротор турбокомпрессора представляет собой вал, с консольно расположенными колесами турбины и компрессора. Ротора опирается на подшипники скольжения, которые представляют собой трибосопряжения с промежуточными элементами в виде плавающих вращающихся (ПВ) втулок. Таким образов образуется два смазочных слоя: внутренний между ротором и втулкой, а также внешний между втулкой и корпусом подшипников. От величины этих зазоров и от их соотношения во многом зависит устойчивость движения ротора и работоспособность турбокомпрессора [2].

Работоспособность подшипников скольжения зависит от состояния смазочного слоя и трущихся поверхностей. Критериями работоспособности опор скольжения являются допускаемая температура в рабочей зоне подшипника и минимальная толщина смазочной пленки. Необходимо обеспечить работу подшипников скольжения в жидкостном режиме [3].

Опоры скольжения ротора турбокомпрессора являются тяжелонагруженными. Ротор имеет высокие рабочие скорости вращения, составляющие 90 000–200 000 об./мин [2], при этом величины зазоров очень малы, внутренний зазор составляет 15–25 мкм, а также высокие рабочие температуры, составляющие 120–150 °С. Указанные условия работы трибосопряжений, сложность геометрии поверхностей трения, на поверхности которых располагаются источники смазки, предполагают развитие математических моделей для расчета динамики ротора с учетом различных факторов. От работоспособности подшипников зависит ресурс турбокомпрессора в целом.

Рис. 1. Конструкция турбокомпрессора

Вал ротора турбокомпрессора несимметричный с переменными по длине диаметрами. На ротор действуют центробежные силы инерции, силы тяжести, гидродинамические реакции смазочных слоев, гироскопические силы. Все эти факторы создают дополнительные сложности при моделировании.

Целью данной работы является исследование работоспособности подшипников скольжения ротора турбокомпрессора, обеспечивающих устойчивое движение ротора. В качестве основного параметра, определяющего устойчивого движения ротора, было использовано соотношение внутреннего и внешнего зазоров.

В результате нарушения условий работы возникают (рис. 2): износ и искажение формы рабочих поверхностей, увеличение зазоров, отслоение и выкрашивание материала, сколы, трещины, раковины на поверхностях скольжения, искажение профиля источников смазки, износ торцов втулок, перегрев посадочных мест подшипников, изменение свойств смазочного материала, нагар [4]. Все это в конечном итоге приводит к изменению условий работы турбокомпрессора и его поломке.

Экспериментальные исследования [5] показывают, что даже незначительные отклонения формы цапф ротора ведут к значительному росту их амплитуд колебаний, например, конусность цапф в 9 % приводит к росту амплитуд на 20 %, овальность величиной 5 % – на 16 %, бочкообразность в пределах 9 % – на 12 %. При больших отклонениях происходит полная дестабилизация работы.

Помимо конструкционных причин отказов могут также возникать и эксплуатационные, такие как загрязнение смазочного материала мелкими или крупными частицами, химическое загрязнение, недостаточная подача смазочного материала или преувеличение скорости вращения ротора [4].

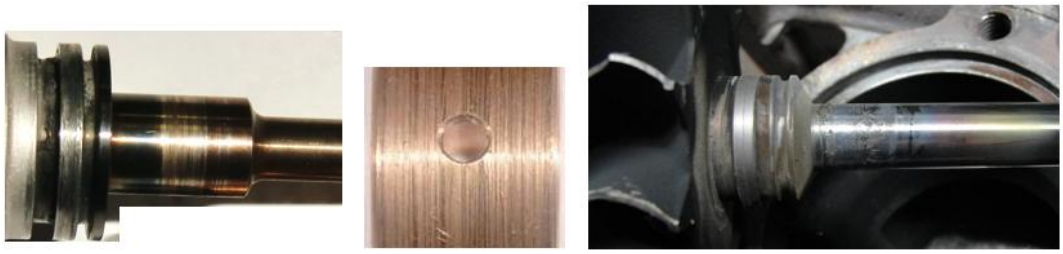


Рис. 2. Неисправности ротора и подшипников турбокомпрессора

Выход из стоя турбокомпрессора приводит к потере мощности двигателя и, как следствие, к росту материальных затрат.

Разнообразие факторов, влияющих на устойчивость движения ротора, их количество, а также постоянное совершенствование конструкций подшипников скольжения и смазочных материалов является причиной создания большого количества математических моделей для описания динамики ротора, основанные на различных допущениях.

На начальном этапе для детального исследования протекающих в смазочном слое процессов авторы использовали модель «автономной опоры», которая состояла из цапфы, смазочного слоя и корпуса [3, 6]. Такой подход позволил заложить базы для расчетов, но не может в полной мере использоваться, так как не позволяется определить форму установившегося движения ротора и учитывать ее влияние на нагруженность подшипников.

Модели многомассовых роторов на двух подшипниках с плавающими втулками использовали Тараненко [7], Ли, [8], A. Boyaci, [9], B. Schweizer [10], что позволяло рассматривать ротор на подшипниках скольжения как единую автоколебательную систему и методом численного эксперимента исследовать ее важнейшие динамические характеристики, в частности, форму установившегося движения и ее влияние на нагруженность подшипников.

Нестационарные колебания реальной механической системы «гибкий ротор – подшипники», обладающей распределенными инерционными, упругими и гироскопическими свойствами и, как следствие, бесконечным числом степеней свободы, моделируются системой нелинейных дифференциальных уравнений. Решение этой системы связано с известными трудностями, поэтому для упрощения решения искусственно ограничивают число степеней свободы и представляют реальный гибкий ротор, вращающийся на подшипниках скольжения вокруг оси, вдоль вала, в виде изменяемой балочной системы цепной структуры, состоящей из конечного числа дискретных элементов. Предполагается, что балка изгибается в 2 взаимно перпендикулярных плоскостях. Смазочные слои представлены в виде пружин и демпферов [11].

Можно выделить следующие, модели гибкого ротора [11]:

1) система, состоящая из дискретных точечных масс, связанных участками гибкого безмассового вала;

2) система, состоящая из дискретных точечных масс и тонких твердых дисков, связанных участками гибкого безмассового вала – модель Проля;

3) система, состоящая из цепочки упругих конечных элементов с распределенными массами и тонких твердых дисков.

В первой модели не отражено влияние гироскопических сил, что препятствует ее применению при расчете роторов с консольно расположенными массивными колесами. Способ учета гироскопических сил с помощью введения в рассматриваемую систему тонких однородных дисков (вторая модель) предложен Пролем [12].

Третья модель основана на конечно-элементном подходе Эрчера, впервые примененном к турбороторным системам Рулом и Букером, [13]. Конечный элемент Рула – это цилиндр, обладающий при вращении ротора упругой энергией изгиба и инерцией поступательного перемещения.

Динамике гибкого ротора на подшипниках с плавающими вращающимися втулками посвящена статья Ли [8]. Автор показал, что модель Проля можно использовать для исследования устойчивости и колебаний гибкого ротора на подшипниках с плавающими вращающимися втулками, добавив в исследуемую систему втулки, смоделировав их твердыми полыми цилиндрами. В настоящее время распространенным методом решения задач динамического расчета роторных систем является метод конечных элементов [14].

В представленной работе для проведения исследования работоспособности выбрана методика расчета, разработанная на кафедре «Автомобильный транспорт и сервис автомобилей» ЮУрГУ. Согласно данной методике [11], расчет сводится к решению зависимых дифференциальных уравнений второго порядка:

$$[m]\left[\ddot{U}\right] = \bar{F}(\tau) + R\left(U, \dot{U}\right), \qquad (1)$$

где искомыми величинами являются перемещения $[U]$ элементов ротора.

Ротор турбокомпрессора представлен динамической моделью (рис. 3), в которой пять масс соединены между собой безмассовыми гибкими стержнями.

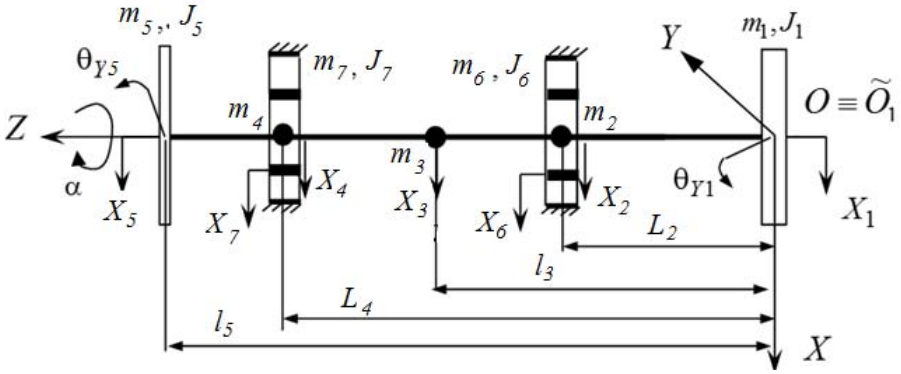


Рис. 3. Динамическая модель ротора

ПВ втулки смоделированы цилиндрами, обладающими массами.

Методика также включает тепловой расчет и учет вязкости смазочного материала, представленные в работах [15, 16].

В качестве объекта исследований был выбран турбокомпрессор ТКР–130 производства НПО «Турботехника», г. Протвино. Согласно конструкторской документации, диапазоны изменения радиальных зазоров каждого подшипника находились в следующих пределах: для внутреннего $C_{2,4} = 15 \dots 24{,}5$ мкм, для внешнего $C_{6,7} = 100 \dots 115{,}5$ мкм.

Для проведения численного эксперимента был использован метод центрального ортогонального композиционного планирования [17]. Для каждого из сочетаний факторов проведен расчет при рабочих скоростях вращения вала, составляющих 85000 об./мин. В качестве результатов получены траектории и скорости движения всех элементов ротора турбокомпрессора, а также рабочие температуры, минимальные толщины смазочных пленок, амплитуды колебаний цапф и потери мощности на трение.

Проиллюстрируем траектории движения центров элементов ротора для одного из сочетаний зазоров (рис. 4). Цифрами указаны элементы ротора согласно динамической модели (рис. 3).

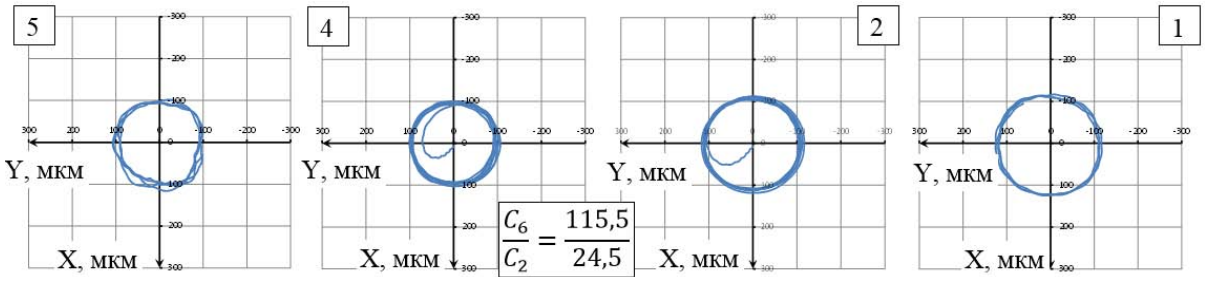


Рис. 4. Траектории движения центров

Положение асимметричного ротора в каждый момент времени характеризует его упругая линия, представленная на рис. 5. Наиболее опасной считается коническая прецессия ротора, так как из-за больших перекосов вала консольные колеса могут задевать корпус.

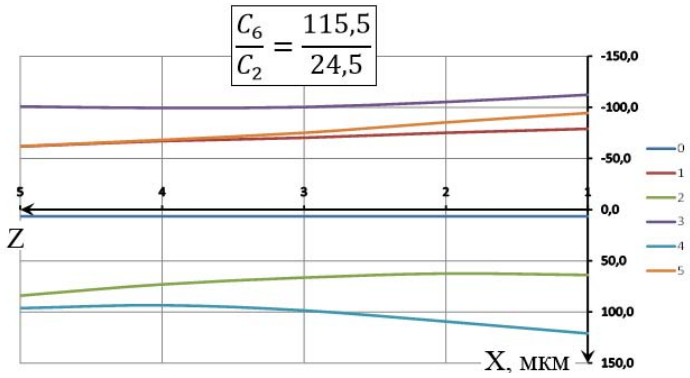


Рис. 5. Упругие линии ротора

В ходе проведения эксперимента выяснилось, что помимо самих величин зазоров, большое значение имеет и их соотношение. При увеличении этого соотношения наблюдается резкое увеличение амплитуд колебаний цапф ротора. Из опыта проектирования аналогичных

подшипников и ранее выполненными исследованиями для разных типов турбокомпрессоров было установлено наиболее удачное соотношение внешнего и внутреннего зазора, лежащее в диапазоне 1,8…2,2. Одни и те же соотношения зазоров могут быть получены за счет варьирования как внутреннего, так и внешнего зазора.

Для оценки полученных результатов построена зависимость рабочей температуры от соотношения зазоров (рис. 6). Выявлено, что с ростом величины зазора уменьшаются рабочие температуры.

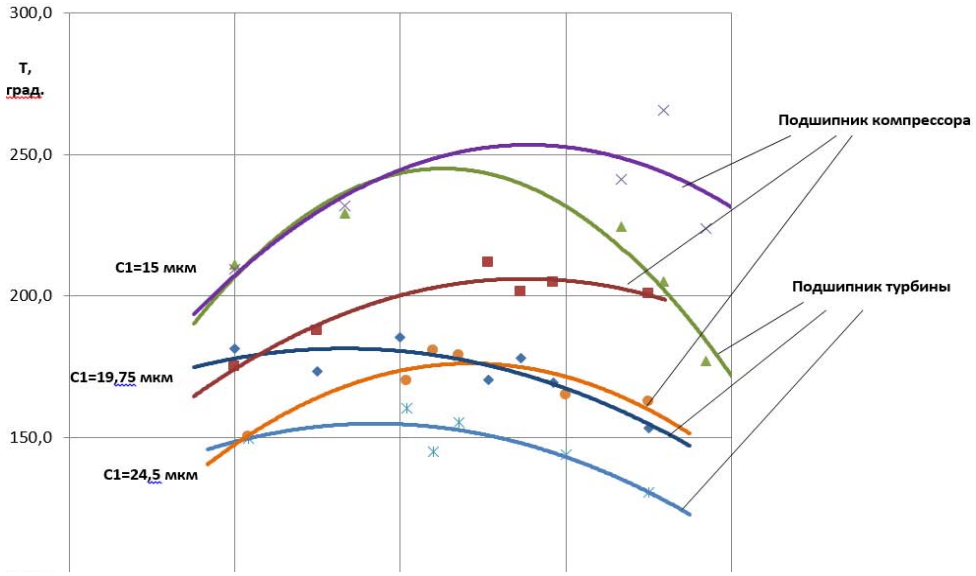


Рис. 6. Температуры смазочных слоев

Зависимость амплитуды колебаний цапф ротора от соотношения внешнего и внутреннего зазоров представлена на рис. 7. В ходе параметрических исследований была выбрана величина внутреннего зазора, равная 24,5 мкм.

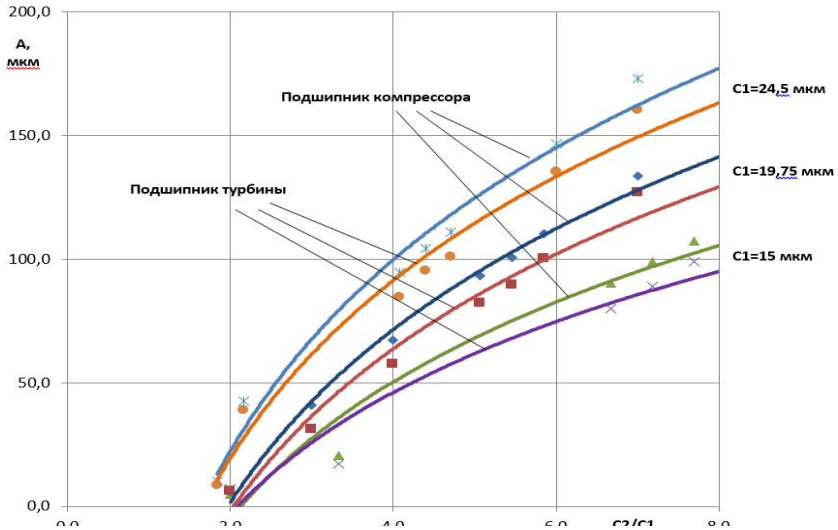


Рис. 7. Амплитуды колебаний цапф ротора

Результаты расчетов показали, что с ростом величины зазора увеличивается амплитуда колебаний. Наиболее низкие величины амплитуд сохраняются при соотношениях зазоров, равных 2…3. В качестве компромисса, решено выбрать соотношение зазоров 2,2. Таким образом, определилась величина внешнего зазора, составляющая 53 мкм.

На следующем этапе исследований была произведена проверка работоспособности смоделированных подшипников в широком диапазоне скоростей вращения ротора. Для этого был проведен численный эксперимент, в результате которого построена зависимость амплитуд колебаний ротора от угловых скоростей вращения (рис. 8).

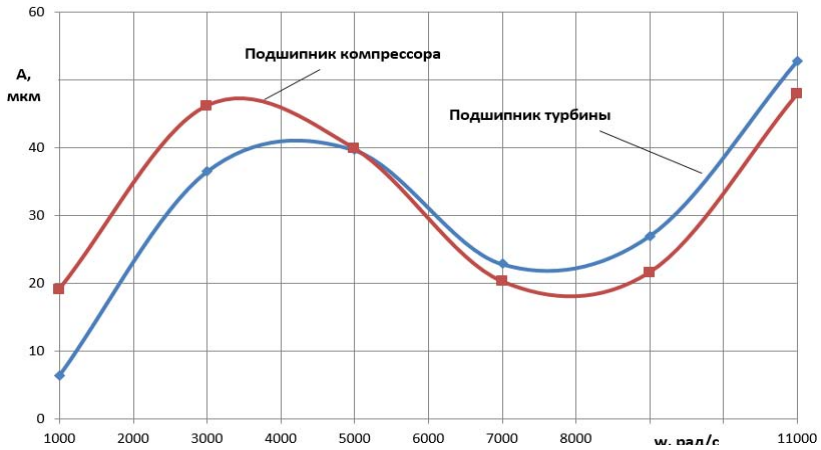


Рис. 8. Зависимость амплитуд колебаний цапф от угловых скоростей ротора

При угловых скоростях 3000 об./мин наблюдается явный резонанс, в результате чего происходит значительный рост амплитуд. Наиболее благоприятен диапазон скоростей вращения лежит в диапазоне 7000–9000 об./мин, который и будет рабочим.

Представленная работа выполнена при поддержке РФФИ (проект НК-13-08-00875\14).

Библиографический список

1. Галеркин, Ю.Б. Турбокомпрессоры / Ю.Б. Галеркин, Л.И. Козаченко. – СПб: Изд-во Политехнического ун-та, 2008. – 374 с.

2. Воскресенский, В.А. Расчет и проектирование опор скольжения (жидкостная смазка): Справочник / В.А. Воскресенский, В.И. Дьяков. – М.: Машиностроение, 1980. – 224 с.

3. Задорожная, Е.А. Совершенствование и расширение области применения метода расчета динамики и гидромеханических характеристик опор скольжения с плавающими втулками: дис. … канд. техн. наук / Е.А. Задорожная. – Челябинск, 2002. – 170 с.

4. Причины поломки турбокомпрессора. – URL: http://masterturbo.ucoz.ru/publ/1-1-0-4.

5. Данчин, И.А. Влияние отклонений формы опорных поверхностей гидростатодинамических подшипников на динамические характеристики роторных систем: автореф. дис. … канд. тех. наук / И.А. Данчин. – Орел: ОрелГТУ, 2007. – 19 с.

6. Задорожная, Е.А. Совершенствование конструкций многослойных подшипников ротора турбокомпрессоров дизелей / Е.А. Задорожная, А.С. Фишер // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева (национального исследовательского университета). – 2009. – № 3–2 (19). – С. 17–21.

7. Тараненко, П.А. Динамика ротора турбокомперссора на подшипниках скольжения с плавающими втулками: автореф. дис. … канд. тех. наук / П.А. Тараненко. – Челябинск: ЮУрГУ, 2011. – 19 с.

8. Ли. Динамика ротора на подшипниках с плавающей втулкой / Ли // Тр. америк. о-ва инженеров-механиков. Проблемы трения и смазки. – 1982. – № 4. – С. 34–42.

9. Boyaci, A. Analytical bifurcation analysis of a rotor supported by floating ring bearings / A. Boyaci, H. Hetzler, W. Seemann, C. Proppe, J. Wauer // Nonlinear Dynamics. – 2009. – Vol. 57, № 4. – Pp. 497–507.

10. Schweizer, L. Nonlinear oscillations of automotive turbocharger turbines / L. Schweizer, M. Sievert // Journal of Sound and Vibration. – 2009. – № 321. – Pp. 955–975.

11. Прокопьев, В.Н. Динамика гибкого асимметричного ротора на трехслойных подшипниках скольжения/ В.Н. Прокопьев, В.Г. Караваев, Е.А. Задорожная, Н.А. Хозенюк // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Машиностроение». – 2006. – № 11 (66). – С. 59–68.

12. Prohl, M.A. A general method of calculating critical speeds of flexible rotors // Trans. ASME / Journ. Of Appl. Mech. – 1945, V. 67. – Pp. 142–148.

13. Рул, Б. Модель турбомоторной системы с распределенными параметрами в конечных элементах / Б. Рул // Конструирование и технология машиностроения. – 1972. – № 1. – С. 135–142.

14. Соломин, О.О. Задачи и методы динамического анализа высокоскоростных роторных систем с подшипниками жидкостного трения / О.О. Соломин // Гидродинамическая теория смазки – 120 лет: Труды Международного научного симпозиума. Т.1. – М.: Машиностроение–1, 2006. – С. 478–491.

15. Задорожная, Е.А. Применение неньютоновских моделей смазочных жидкостей при расчете сложнонагруженных узлов трения поршневых и роторных машин / Е.А. Задорожная, И.В. Мухортов, И.Г. Леванов // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2011. – № 7. – С. 22–30.

16. Задорожная, Е.А. Решение термогидродинамической задачи смазки сложнонагруженных подшипников скольжения с учетом реологических свойств смазывающей жидкости / Е.А. Задорожная // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2014. – № 4. – С. 70–81.

17. Бояршинова, А.К. Теория инженерного эксперимента: текст лекций / А.К. Бояршинова, А.С. Фишер. – Челябинск: ЮУрГУ, 2006. – 85 с.

К содержанию

УДК 629.114.2-21

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ КАМАЗ

Р.Ю. Илимбетов, В.В. Попов

В статье рассмотрены отрицательные воздействия на окружающую среду, а так же развитие гибридного автопарка в зарубежных странах и в России с перспективными возможностями развития гибридных грузовых автомобилей. Приведены примеры гибридных грузовиков, которые применяются в разных сферах деятельности, с их техническими характеристиками. Также смоделированы циклы движения автомобилей с последующим расходом топлива.

Ключевые слова: комбинированная энергетическая установка, выбросы, расход топлива.

В настоящее время усиливается отрицательное воздействие человеческой деятельности на окружающую среду, растет количество промышленных предприятий, электро- и теплостанций, а также транспортных средств [1].

Чтобы улучшить экологическую ситуацию, многие экономически развитые страны уделяют большое внимание развитию экологически чистых транспортных средств – гибридных автомобилей и электромобилей.

К настоящему времени наибольшее количество гибридных автомобилей реализовано в **США**: более 2 млн штук. Темпы роста продаж достигают 50 % в год от общего количества проданных автомобилей за год [2].

На **Европейском рынке продажи** гибридных автомобилей меньше чем в США, при этом динамика роста продаж составляет около 25 % в год [3].

Автомобильная промышленность Китая делает ставку на гибридные автомобили марки Byd и Chery, их доля в общем объеме продаж в КНР мала: из 14,5 млн автомобилей, проданных в Китае в 2011 году, только 2713 – гибридные [2].

Массовые продажи гибридных автомобилей в **России** начались с 2005 года. В течение 2005–2015 гг. через дилерские центры было продано примерно 8,4 тыс. автомобилей. Одним из популярных в мире гибридных автомобилей с 2009 года является Toyota Prius. По итогам 2011 года их было продано более 400 шт.

Статистика всех проданных гибридных автомобилей в разрезе отдельных стран и по всему миру с прогнозом развития до 2015 года представлена на рис. 1 [2].

Анализ рис. 1 показывает, что темпы роста численности мирового автопарка гибридных автомобилей в количественном выражении увеличиваются: каждые 5 лет примерно на 3 млн шт. С учетом существующих тен-

денций на 2015 год автопарк гибридных автомобилей может достичь более 7 млн шт. При этом ежегодные продажи гибридов будут составлять около 10 % от общего числа всех продаваемых в мире автомобилей [2].

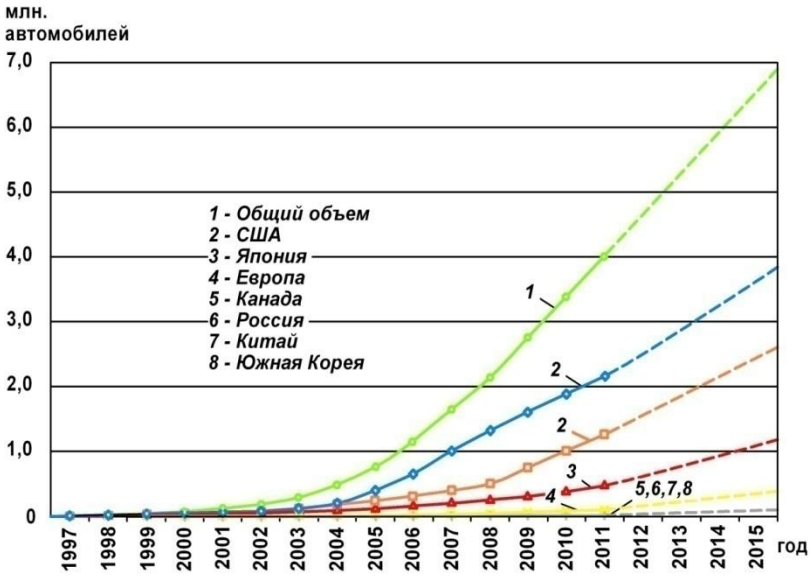


Рис. 1. Статистика продаж гибридных автомобилей
всего по странам и всему миру с прогнозом развития до 2015 года

На рынке коммерческого транспорта России более 34 % продаж автомобилей приходится на легкий коммерческий транспорт рис. 2.

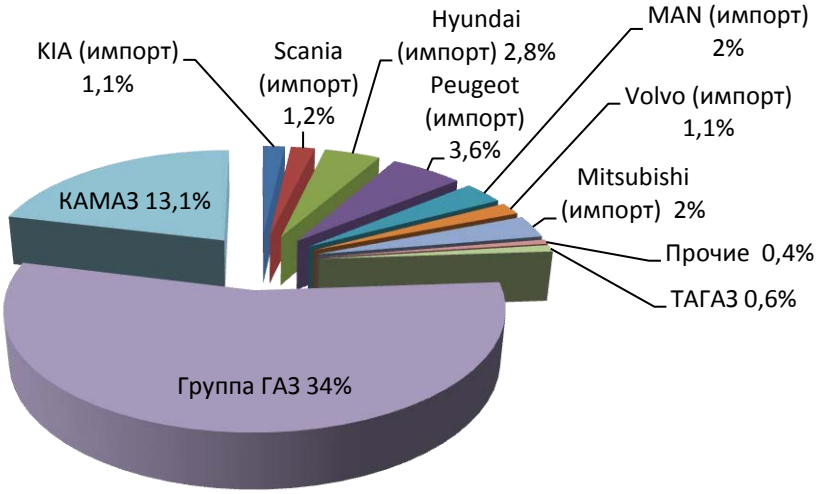


Рис. 2. Рынок коммерческого транспорта в России [3]

Из диаграммы рис. 2 видно, что на лидирующую позицию по продажам занимает группа ГАЗ, на втором месте – КАМАЗ. Учитывая данные обстоятельства, возникает необходимость наряду с классическими автомобилями разрабатывать и гибридные автомобили на базе «ГАЗель» и КАМАЗ.

Работы над проектом отечественного гибридного автомобиля ведутся на АвтоВАЗе с перспективными моделями автомобиля ВАЗ с ГСУ.

Долгое время грузовые автомобили оставались в стороне от гибридных технологий, дальше тестовых моделей дело не доходило. В настоящее время грузовые автомобили с гибридной силовой установкой (гибриды) приобретают все большую популярность. Рассмотрим гибридные грузовые модели зарубежных автопроизводителей.

Компания DAF

В 2010 году были разработаны прототипы DAF LF45.160 hybrid в тесном сотрудничестве с Paccar, голландским центром технических исследований TNO, компанией Leyland Truck Ltd., и компанией Eaton. Данная гибридная схема сокращает потребление топлива и снижает выбросы газов от 10 до 20 %. На рис. 3 показан гибридный грузовик компании DAF[4].

Рис. 3. Гибридный грузовикDAF LF45-160 Hybrid

В табл. 1 предоставлены основные технические параметры данного автомобиля.

Таблица 1

Технические параметры автомобиля DAF LF45-160 Hybrid [4]

№ п/п	Наименование параметров	Значение
1	Колесная формула	4x2
2	Полная масса, т	12
3	Дизельный двигатель	Paccar FR118
4	Число цилиндров	4
5	Рабочий объем, л	4,5
6	Мощность, л.с.	160
7	Крутящий момент, Нм	600
8	Электродвигатель: мощность, кВт	44
9	Крутящий момент, Нм	420
10	Вес гибридного привода, кг	300

Компания VolvoTrucks

VolvoTrucks выпустила первую опытную партию из 50 гибридных грузовиков Volvo FE Hybrid, которые были поставлены клиентам из разных стран Европы. Половина этого парка была изготовлена в комплектации коммунального автомобиля-мусоровоза.В гибридном решении данного автомобиля дизельный двигатель сочетается с электродвигателем, используемым при трогании и разгоне до 20 км/ч. На более высоких скоростях начинает работать дизельный двигатель. По расчетам, расход топлива сократился на 30 %, и на столько же снизились выбросы углекислого газа. Также одним из преимуществ является снижение уровня шума, что важно для мусоровозов, которые часто работают в городе ранним утром. На рис. 4 предоставлен гибридный мусоровоз компании Volvo.

Рис. 4. Гибридный мусоровоз Volvo FE Hybrid

Гибридная технология Volvo FE Hybrid под названием I-SAM включает следующие основные технические параметры, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2

Основные технические характеристики грузовика Volvo FE Hybrid [4]

№ п/п	Наименование параметров, ед.изм.	Значение
1	Колесная формула	6x2
2	Полная масса, т	26
3	Дизельный двигатель	D7F300 (Deutz)
4	Число цилиндров	6
5	Рабочий объем, л	7,2
6	Мощность, л.с.	300
7	Крутящий момент, Нм	1160
8	Электродвигатель: мощность, кВт	70 (макс.120)
9	Крутящий момент, Нм	800
10	Вес гибридного привода, кг	578

Компьютерное моделирование электромеханической трансмиссии в программе AVLCruise автомобиля КАМАЗ

В настоящее время при проектировании автомобильного транспорта широко используется компьютерное моделирование, которое позволяет «заглянуть» в будущее возможных результатов проектируемых механизмов и машин.

Рынок современных программных продуктов для ЭВМ содержит большой ассортимент компьютерных программ, позволяющих моделировать процессы работы механизмов и машин. Согласно литературным источникам [5] для компьютерного моделирования электромеханической трансмиссии автомобилей, наиболее подходящей является программа AVLCruise.

Для моделирования в данной программе был выбран мусоровоз на базе шасси КАМАЗ 43255 – 1010А3с боковой загрузкой МКМ – 44108**.** На рис. 5 показан мусоровоз с боковой загрузкой МКМ – 44108**.**

Рис. 5. Мусоровоз с боковой загрузкой МКМ – 44108

В программе AVLCruise была собранна электромеханическая трансмиссия мусоровоза на базе шасси КАМАЗ 43255 – 1010А3 на различных видах топлива. На рисунке 6 представленна данная схема.

В табл.3 предоставлены исходные данные шасси КАМАЗ – 43255 используемые в программе AVLCruise, а так же расход топлива полученный в результате моделирования.

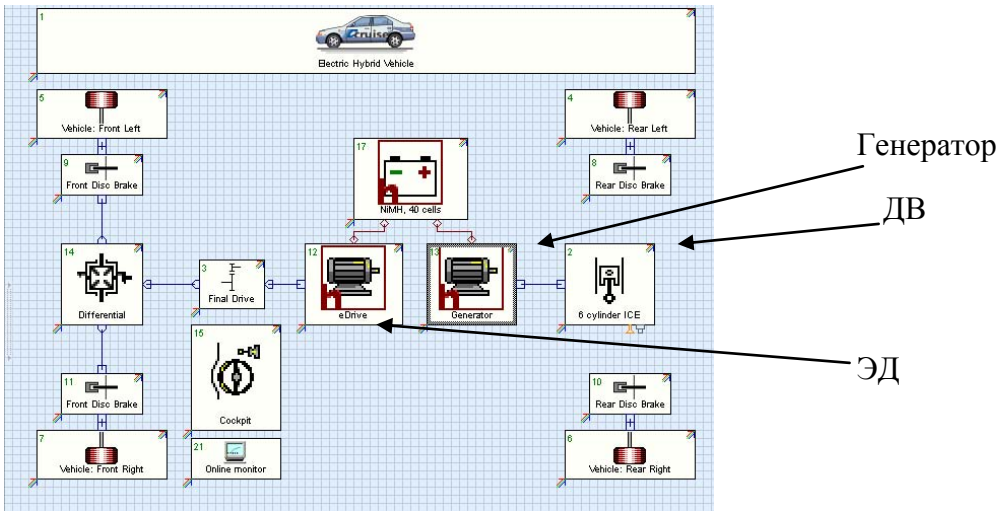


Рис. 6. Схема шасси КАМАЗ – 43255 собранная в программе AVLCruise

Таблица 3

Технические параметры автомобиля КАМАЗ 43255 [6]

№ п/п	Наименование параметров, ед.изм.	Значения, используемые в программе AVLCruise		Исходные значения шасси Камаз 43255
1	Колесная формула	4x2	4x2	4x2
2	Снаряженная масса, т	8,15	8,15	7,15
3	Полная масса, т	14,3	14,3	14,3
4	Двигатель	CUMMINS 6 ISBe 210 (Евро-3)	CUMMINS 6 ISBe 210 (Евро-3)	CUMMINS 6 ISBe 210 (Евро-3)
5	Тип топлива	Дизель	Газ	Дизель
6	Тип электродвигателя	ОРИОН - 18-1-12	ОРИОН - 18-1-12	----------
7	Мощность, кВт	157,5	157,5	----------
8	Пусковой момент, Нм	2100	2100	
9	Номинальный момент, Нм	525	525	----------
10	Тип генератора	ОРИОН -18-1-13	ОРИОН -18-1-13	----------
11	Мощность, кВт	187,5	187,5	
12	Пусковой момент, Нм	2500	2500	
13	Номинальный момент, Нм	750	750	----------
14	Аккумуляторы: емкость, кВт·ч	2	2	----------
15	Напряжение, В	400	400	----------
16	Расход топлива: Загород, л/100 км Город + загород, л/100 км	 15 17,4	 14,8 15,6	 ---------- 22

В результате моделирования при различных циклах движения автомобиля на базе шасси КАМАЗ 43255 с электромеханической трансмиссии расход топлива снизился в среднем на 25 % по сравнению с классической (ДВС) схемой автомобиля Камаз 43255. Это связано с тем, что благодаря движению транспортного средства наэлектрической тяги до 30 % от пройденного пути, двигатель внутреннего сгорания не используется, что приводит к уменьшению выбросов загрязняющих веществ (CO; CH; NO) в 2 и более раза, а так же снижается расход топлива.

Комбинирование газодизельной топливо - воздушной смесью позволяет дополнительно увеличить эффективность ДВС по экологическим параметрам (до 50 %).

Библиографический список

1. Щетина, В.А. Электромобиль: Техника и экономика / В.А. Щетина, Ю.А. Морговский, Б.И. Центнер, В.А. Богомазов; Под общ. ред. В.А. Щетины. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1987. – 253 с.

2. Раков, В.А. Развитие мирового автопарка гибридных автомобилей / В.А. Раков //Научно-практический журнал «Современная техника и технология». – URL: http://technology.snauka.ru/2013/07/2136.

3. Блохин, А.Н. Результаты исследования электромобиля на шасси «ГАЗель» / А.Н. Блохин, А.М. Грошев, Т.А. Козлова, А.Д. Яржемский, М.С. Серопян. – М.: Издатель ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана». – Эл. № ФС 77 – 48211. – URL: http://technomag.edu.ru/doc/499839.html.

4. URL: www.supervariator.com/zachem-nuzhen-supervariator-ili-statya-avtore-vyu-dizbat/.

5. Илимбетов, Р.Ю. Компьютерное моделирование процессов движения легкового автомобиля с последовательной комбинированной энергетической установкой / Р.Ю. Илимбетов, В.В. Попов, А.В. Баканов, И.В. Кирпичников // Вестник ЧГАА. – 2014. – Т. 70. – 71 с.

6. URL: www.avtokrat.com/katalog-produkcii/avtomobili-kamaz/samosvaly/kamaz-43255/

К содержанию

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

УДК 711.4.021.23+347.214.2+332.1

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ И ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ НЕДВИЖИМОСТИ МЕГАПОЛИСА

В.М. Аксенов, Л.К. Костина, Е.В. Пахомова

В работе рассмотрено состояние рекреационных объектов недвижимости мегаполиса. Представлены экономический механизм и основы оценки обеспеченности природно-рекреационными ресурсами на территории мегаполиса.

Ключевые слова: экономический механизм, оценка, рекреационный потенциал, рекреационная недвижимость.

1. Характеристика рекреационных ресурсов. Общая площадь города Челябинска в административных границах составляет 501,57 кв.км (Прага около 500 кв.км., Сингапур – 697 кв.км, Гонконг – 1104 кв.км). Территория застройки 207,61 кв.км, открытых природных пространств 293,96 кв.км. По производственному и человеческому капиталу – это полнокровный мегаполис, один из ведущих регионов Российской Федерации.

Зеленые насаждения занимают площадь 57,98 кв.м или 52,1 кв.м на жителя. В «Стратегии развития Челябинской области до 2020 года» поставлена задача удвоения этого показателя до 100 кв.м на 1 чел.

По показателю плотности зеленых насаждений территория города характеризуется очень низкими параметрами (5–10 %). Эти территории в среднем занимают 42 % всей селитебной зоны города. Особенно они развиты в Тракторозаводском, Ленинском, Советском районах. Максимально низкая плотность зеленых насаждений (5 %) в Курчатовском, Ленинском, Тракторозаводском, Калининском районах – 20–28 %. Средняя по Челябинску плотность составляет 15 %. Площади с максимальной плотностью зеленых насаждений 16–20 % представляют собой кварталы старой застройки. В Металлургическом районе площадь территории с плотностью зеленых насаждений более 20 % составляет 36 % жилой зоны.

Водная среда включает поверхностные и подземные воды. В Челябинске водный бассейн представлен р. Миасс, протяженностью 36 км, озерами Первое, Смолино, Синеглазово. Общая площадь водоемов 103,54 кв.км.

Ландшафтно-рекреационная территория мегаполиса включает городские леса, лесопарки, лесозащитные зоны, водоемы, земли сельскохозяйственного использования и другие угодья, которые совместно с парками, садами, скверами и бульварами, размещаемыми на селитебной территории, формируют систему открытых пространств для организованного массового отдыха населения, восстановления физических, интеллектуальных и ду-

ховных сил. В городской среде это комфортно обустроенные парки, скверы, с наличием рекреационных объектов недвижимости: пляжи, велодорожки, спортивные площадки и т.п.

Особое место по важности занимают зеленые насаждения. Они в процессе фотосинтеза поглощают из воздуха углерода диоксид и выделяют кислород. В среднем 1 га насаждений поглощает за 1 час 8 кг углерода диоксида, т.е. столько, сколько выдыхают за это же время 200 человек. Упомянутые свойства зеленых насаждений используют для оздоровления воздуха городов, прогноза возможного санирующего действия разных по площади и составу пород насаждений.

Влияния зеленых насаждений на формирование микроклимата объясняется изменением скорости и направления ветра, повышением влажности и снижением напряжения солнечной радиации среди древесных и кустарниковых насаждений. Смягчению радиационно-теплового режима способствуют также вертикальное озеленение стен зданий и других сооружений, широкое применение газонов. Наиболее эффективно снижают температуру воздуха деревья с крупными листьями. Листья деревьев и кустарников, а также трава газонов во время нагревания испаряют в воздух воду, повышая его влажность.

В городах на 1 жителя должно быть 100–150 кв.м зеленых насаждений. Кроме того, необходим значительный резерв зелени для компенсации очистительных процессов на предприятиях от вредных газов и аэрозолей, выбрасываемых ими. Одним гектаром городских зеленых насаждений выделяется в день до 200 кг кислорода.

Расчеты фактического удельного показателя площади озелененной территории (1 кв.м на чел.) проведены в Центральном районе квартале, ограниченном улицами Лесопарковая – Сони Кривой– Свердловский проспект – Коммуны (см. рис. 1).

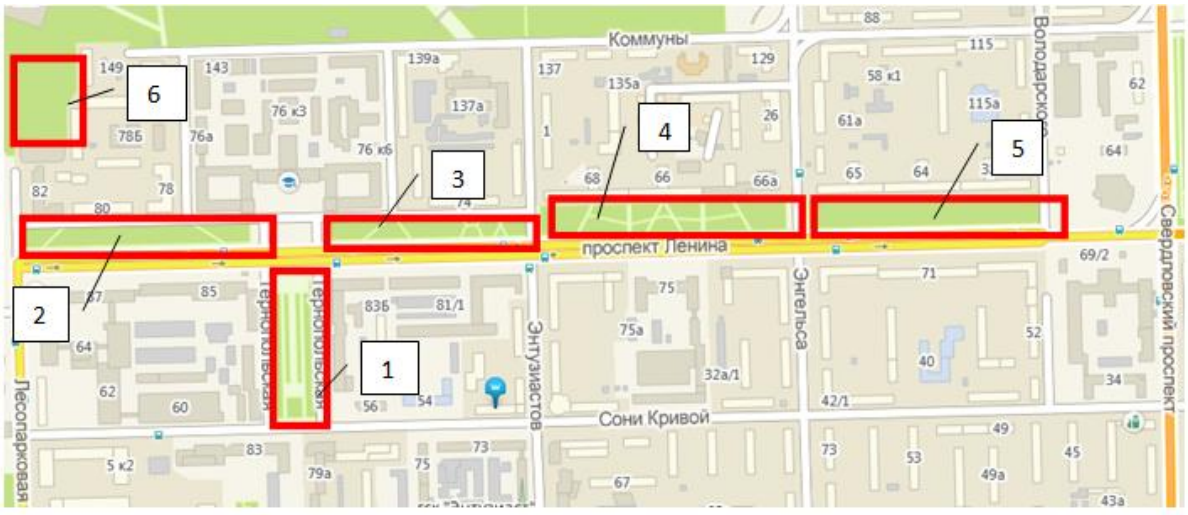


Рис. 1. Схема озеленения территории в исследуемом квартале

Удельный показатель площади озеленения квартала[1] составил 4,19 кв.м на чел, при норме озеленения общегородских территорий для крупных городов (мегаполиса) 10 кв.м на чел., что существенно не соответствует нормам планировки городских поселений [1].

В настоящее время площадь зеленых насаждений в крупнейших городах России находится в очень широких пределах: от 51 % общей площади в границах городской черты в Уфе до 2 % – в Мурманске. Оптимальное соотношение по экологическим показателям площади крупнейших городов к площади лесопаркового защитного пояса должно быть не менее 1:5, тогда как в Лондоне, Париже и Вашингтоне это соотношение составляет 1:10 и выше (в Москве 1:1,5).

В Челябинске насчитывается 5 городских и районных парков, 3 сада, 128 скверов, 19 бульваров общей площадью 422,6 га. Преобладающая часть парков, садов, скверов (до 30 %) расположена в Центральном районе.

Городу не хватает обустроенных скверов и парков. К 2020-му году будут построены четыре новых парка в Курчатовском, Калининском, Тракторозаводском и Ленинском в районах. Тогда зеленые зоны отдыха окажутся в шаговой доступности жителей всех районов города. Будет приведена в порядок пойма реки Миасс, обустроены набережные, благоустроены пешеходные прогулочные зоны и велодорожки по обе стороны реки.

2. В качестве экономического механизма для развития рекреационной недвижимости предлагаются следующие его основы: провести инвентаризацию (включая составления дефектной ведомости) всех рекреационных объектов с оформлением соответствующих паспортов на каждый объект, квартал, зону, район и город (мегаполис); определить соответствие планируемого уровня рекреационных объектов действующим нормативам, а также аналогичным показателям лучших, наиболее комфортных городов РФ; разработать целевую программу озеленения города на три года и до 2020 года; исходя из анализа выполнения бюджета по развитию рекреационных объектов недвижимости, определить дефицит бюджетных и внебюджетных средств; использовать компенсационный экономический механизм пополнения бюджета развития рекреационной недвижимости.

Пока в период кризиса трудно изыскать дополнительные источники рационального пополнения бюджета для рекреационных объектов, не ущемляя другие направления его использования. Анализ использования земельных участков близ крупного рекреационного объекта городского бора Челябинска показал, что не всегда вскрывается и моделируется экономический потенциал застройщиков при передаче под строительство уникальных по месту расположения участков. Так анализ нового строительства высотных домов на бывшей территории ОАО «Полет» по улицам С. Кривой и Лесопарковой показал, что жилые квартиры в этих «высотках» продаются в диапазоне от 50 до 80 тыс.руб. за 1 кв.м, а коммерческие объекты

[1] Площадь озеленения – 75707 кв.м, численность населения – 18075 чел.

до 100 тыс.руб. за 1 кв.м. Для такого престижного и экологически-уникального местоположения земельного участка, на наш взгляд, достаточно не дорого. Этот земельный участок расположен в «полушаговой» доступности до соснового бора, ЮУрГУ, пляжей Шершневского водохранилища и др. Что здесь можно было бы дополнительно исследовать при инвестиционном проектирование?

Во-первых, необходимо было более тщательно провести экспертизу экономических расчетов при выборе наиболее эффективного использования земельного участка на каждой стадии инвестиционного проектирования. Во-вторых, в дополнение к стоимости арендной платы за период строительства «высоток» можно было предложить использование механизма «компенсационных платежей» для предъявления этих платежей застройщику земельного участка. Цель таких «компенсаций» – получение дополнительного финансирования на развитие близ расположенных рекреационных и др. инфраструктурных объектов, например, восстановление городского бора, дополнительного озеленения, дорог и др. Дело в том, при эксплуатации вновь построенных объектов возникают дополнительные эксплуатационные нагрузки на существующие рекреационные и инфраструктурные объекты, например, в виде новых посетителей бора. Следовательно, именно эти жители и собственники нежилых помещений на первых этажах «высоток» через застройщика должны деньгами компенсировать возникающую дополнительную нагрузку на существующие рекреационные и инфраструктурные объекты. Конечно, надо разработать детальные экономические нормативы. Кроме того, возникает много вопросов о законности таких платежей по приобретению «входного билета» в действующие инфраструктуры: рекреации, дорожной и транспортной сетей, а также и др. жизнеобеспечивающих элементов инфраструктуры. В законодательство о местном самоуправлении следует вносить соответствующие поправки, открывая новые источники финансирования дорогостоящих и экологических привлекательных земельных участков города. Тем более, что такой опыт есть в экономически развитых странах, например, США.

Второй пример по «полуподземному» торговому комплексу близ ЮУрГУ у памятника И.В.Курчатову в границах улицы Лесопарковой, южной границы Легкоатлетического комплекса им. Елесиной, восточной границы парка им. Гагарина, а также южной границы УралНИИСтромпроекта (Ленина, 89) в Челябинске. Площадь перед памятником – излюбленная рекреационная зона жителей мегаполиса. Эта одна из немногих перспективных земельных территорий была «отдана» для строительства торгово-развлекательного комплекса. По обоснованности строительства этого комплекса уже не один год идут судебные споры. В частности, ставятся вопросы о правомерности передачи этого земельного участка без достоверной его экспертизы как «охранной» зоны памятника И.В. Курчатову, так и по близкому расположению к городскому бору и к высшему учебному за-

ведению. Не исследовано достоверное его влияние на городской бор. И здесь можно было бы использовать механизм компенсационных платежей за «вход», а фактически за «вторжение» в уникальную рекреационную зону бора и памятника. По многим др. объектам «уплотненной» застройки мегаполиса можно применить подобный экономический механизм.

3. Оценка обеспеченности мегаполиса природно-рекреационными ресурсами. Рассмотрение отдельных рекреационных объектов недвижимости приводит к логичному рассмотрению их совокупности. Природно-рекреационный потенциал (ПРП) можно определить [4] как совокупность природных рекреационных ресурсов, условий и состояния природной среды территории, которые оказывают влияние, используются или могут быть использованы для мегаполиса. Пока остается мало изученным вопрос о влиянии состояния окружающей среды на развитие рекреационной недвижимости в пределах определенной территории. Экологические условия могут выступать как дестабилизирующие, проявляющиеся в количественном и качественном снижении ПРП в виде изъятия природных ресурсов – увеличение площадей нарушенных земель, делающих невозможным их включение в сферу рекреаций. Увеличение воздействия антропогенных загрязнений на условия и ресурсы среды – несоответствие санитарным нормативам водного объекта делает невозможным его использование для организации пляжного отдыха, рыболовства и др.

Предлагаются основы для оценки обеспеченности мегаполиса природно-рекреационными ресурсами ($P_М$):

$$P_M = \sum_{t=1}^{T} \sum_{i=1}^{I} \gamma_i^t K_i^t, \quad (1)$$

где K_i^t – коэффициент обеспеченности мегаполиса i-м ресурсом в периоде t, γ_i^t – весовой коэффициент показателя в t-ом периоде.

В свою очередь, коэффициент обеспеченности ресурсами в t-ом периоде:

$$K_i^t = \frac{M_i^t}{S_M}, \quad (2)$$

где M_i^t – показатель использования i-го вида ресурса t-ом периоде, например, площадь, S_M – нормированный для оценки показатель, например, селитебная или общая площадь мегаполиса.

Дестабилизирующий показатель оценки экологической ситуации (объем выбросов в атмосферу от промпредприятий, автотранспорта, сжигания мусора, площади нарушенных земель, качество воды в водоемах и системах централизованного водоснабжения):

$$Д_M = \sum_{t=1}^{T} \sum_{i=1}^{I} \gamma_i^t \frac{\varphi_i^t}{S_м}, \quad (3)$$

где φ_i^t – нормированный показатель загрязнения i-го ресурса t-ом периоде.

Соотношение $Р_М$ и $Д_М$ в каждом t-ом периоде и в целом за планируемый или ретроспективный горизонт времени позволяет оценить истинный справедливый показатель ПРП мегаполиса.

Экспертные предварительные оценки показывают, что «доминантной» дестабилизирующего воздействия в нашем мегаполисе являются загрязнение воды, атмосферного воздуха. Здесь отмечается устойчивая тенденция по увеличению дней так называемых «периоды неблагоприятных метеорологических условий (далее именуются – НМУ)», способствующих увеличению загрязнения атмосферного воздуха. Так, в 2012 году их количество достигало 60–70 в год, в 2013-м – 144, а в 2014 – уже 167, из которых 119 пришлось на Челябинск [2]. Сама же концепция ПДК (предельно-допустимая концентрация) была разработана более 50 лет назад и требует обновления с учетом достижений современной науки.

Образно говоря, если соблюдается некоторое нормативное значение ПДК, то требования к количеству и качеству рекреационных объектов недвижимости, в частности, многолетним зеленым насаждениям, должны быть в пределах соответствующих технических и экономических нормативов. Важно подчеркнуть, что зависимость не линейная – увеличение в отдельные периоды выбросов вредных загрязненных веществ, нельзя компенсировать соответствующим увеличением потенциала этих рекреационных объектов. С экономической точки зрения, это две стороны одной «монеты», когда она стоит в равновесии «на ребре» в многомерном социально-экономическом пространстве. Отсюда вывод – должны быть, безусловно, решены приоритетные проблемы по долговременной сбалансированности интересов граждан, бизнеса и власти – по загрязнению атмосферного воздуха от промышленных предприятий, автотранспорта, свалок и мусора. Пока же оперативные, в основном информационные, меры по преодолению последствий выброса вредных загрязненных веществ в атмосферу в силу экономических и технических причин ограничиваются, например, планами мероприятий по регулированию выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух в периоды лишь неблагоприятных метеорологических условий на территории муниципального образования города [3]. Этого начала, однако, недостаточно. Должно быть начало развития, а не волотильного конца.

4. Перспективы развития. Однако главная надежда на перспективы развития мегаполиса, видимо, в экономической и социальной дальновидности отцов города, депутатов – должны быть зарезервирована на уникальные территории для будущих поколений граждан города.

Нужны новые идеи в реальной постановке и решении задач с реальным участием гражданского общества. Так, в Челябинске именно заинтересованное и квалифицированное участие граждан смогло приостановить

строительство коммерческих объектов на территории сквера «Алое поле», в березовой роще по ул. Захаренко, в Никольской роще и др. Общественная Палата Челябинской области, эксперты подготовили предложения по новому месту свалки и очистке, оздоровлению старого ее места, оздоровлению рекреаций Шершневского водохранилища, оз. Смолино и др. Ими проведена серия встреч общественности и власти города с ведущими экспертами г. Питсбурга (США) и Сингапура по изучению «привязки» мирового опыта к условиям нашего промышленного мегаполиса. Изучается опыт Москвы по возрождению парка им. Горького, строительства парка мирового уровня Зарядье на месте бывшей гостиницы России. Этот опыт ценен тем, что концепция малых, на первый взгляд, дел в стратегии развития мегаполиса до 2020 г. важна – озеленение, чистота, экологическая паспортизация рекреационных объектов, так же как и для транспортной сети, включая парковки, велосипедные дорожки и, главное, устранение загазованности атмосферного воздуха автотранспортом, промышленными предприятиями.

Важно отметить, что проблема озеленения города, а также сохранение и развитие существующих природно-рекреационных ресурсов отражена и в Генеральном плане г. Челябинска: сохранение территорий, не предназначенных для хозяйственного использования в соответствии с планировочной организацией города от необоснованного использования в техногенных и коммерческих целях; обеспечение целостности и непрерывности воспроизводства природных элементов на территории города во взаимосвязи с пригородом, что создает предпосылки самовосстановления природы; сохранение рельефа, ландшафта и реабилитация утраченных долин, ручьев, родников, питающих основную водную артерию – р. Миасс, другие водоемы города и снижает вероятность развития подтопления города; сохранение от застройки территорий прилегающих к лесным массивам города и водоемам, как буферные зоны; воспроизводство, сохранение и увеличение площадей занятых зелеными насаждениями, открытыми для проветривания долинами с выходами в пригородное пространство. С градообразующей точки зрения рекреационный комплекс объектов недвижимости – это основа формирования мегаполиса, функционального зонирования территории и планировочной структуры города. Рациональное сочетание действующего природно-рекреационного комплекса и строительство новых рекреационных объектов недвижимости является не решенной пока проблемой в развитии мегаполиса. Это в свою очередь требует новых инновационных подходов к вызовам XXI века в градостроительстве [5].

Библиографический список

1. СП 42.13330.2011 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* (Приказ Минрегиона России от 28.12. 2010 г. N 820). – М., 2011. – 114 с.

2. Данные материалов заседания комитета по экологии ЗСО, 25.02.2015. – URL: http://mega-u.ru/node/37885.

3. «План мероприятий по регулированию выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух в периоды неблагоприятных метеорологических условий на территории муниципального образования «город Челябинск», утвержден постановлением Администрации города от 14.04.2015 № 67-п.

4. Зализняк, Е.А. Оценка природно-рекреационного потенциала муниципальных районов Волгоградской области / Е.А. Зализняк. – URL: http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-prirodno-rekreatsionnogo-potentsiala-munitsipalnyh-rayonov-volgogradskoy-oblasti.pdf.

5. Территориальные ресурсы города: градостроительство и управление городскими территориями: монография / Ю.В. Игнатьев, А.М. Костин, С.А. Белов и др. – Челябинск: Издательский центр; ЮУрГУ, 2013. – 147 с.

К содержанию

УДК 338.45:69 + 336.221 + 332.64:69

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ КАДАСТРОВОЙ СТОИМОСТИ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ПЛАНИРОВАНИЯ НАЛОГООБЛОЖЕНИЯ НЕДВИЖИМОСТИ

В.М. Аксенов, К.С. Муртазина

Изучена достоверность кадастровой оценки объектов капитального строительства на примере 28 квартир и нежилых коммерческих помещений в трех жилых домах, расположенных у центре Челябинска. Для недостоверных результатов кадастровой оценки введены соответствующие поправки на основе рыночной стоимости соответствующих объектов недвижимости. Выполнены экспериментальные плановые расчеты по налогообложению в зависимости от инвентаризационной, кадастровой стоимости. Предложены рекомендации по совершенствованию налогообложения недвижимости на всех.

Ключевые слова: Стоимость, кадастровая, рыночная, инвентаризационная, достоверность, оценка, планирование, объекты капитального строительства, недвижимость.

Объект капитального строительства (ОКС) – это здание, строение, сооружение, объекты, строительство которых не завершено, за исключением временных построек, киосков, навесов и других подобных построек [1]. При кадастровой оценке под объектом капитального строительства понимают объекты недвижимости, учтенные в Государственном кадастре недвижимости, такие как жилой дом, квартира, комната в квартире, объект незавершенного строительства и т.д.

В случае, если регион перешел на новую систему определения налоговой базы, то у него должна быть выполнена кадастровая оценка КС и утверждены ее результаты. Работы по государственной кадастровой оценки были проведены в первой половине 2012 года, результаты оценки утверждены приказом Министерства промышленности и природных ресурсов Челябинской области от 24.09.2012 № 133-п.

Всего 28 регионов приняли решении о переходе на исчисление налога с кадастровой стоимости: Бурятия, Татарстан, Ингушетия и др.

На первом этапе были выбрано 140 зданий и 770 помещений в них. Сведения об этих помещениях мы взяли с сайта Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии.

Далее для наглядности представлен расчет трех зданий в центре города, пр. Ленина, 49 – 56 помещений, ул. Цвиллинга, 44 – 200, пр-кт Ленина, 53 – 100, из них были выбраны 28 помещений-представителей жилых и нежилых объектов (см. табл. 1). На сайте Росреестра (https://rosreestr.ru/site) в разделе «Справочная информация по объектам недвижимости в режиме online» по адресам всех домов были выбраны сведения из ГКН (Государственный кадастр недвижимости): кадастровый номер; статус земельного участка; дата постановки на кадастровый учет; площадь объекта; единица измерения (код); кадастровая стоимость; дата внесения стоимости; адрес (местоположение); (ОСК) тип; (ОКС) исполнитель; дата обновления информации; раздел; инвентарный номер.

На втором этапе была рассчитана рыночная стоимость помещений. В трех зданиях по адресам пр. Ленина, 49 и пр. Ленина, 53 находятся рядом, построены в 50-е годы XX века. Их рыночная стоимость была округлена: на первом этаже – 100 тыс. руб., на втором, третьем, четвертом и пятом – 60 тыс. руб.; а по адресу ул. Цвиллинга, 44: на первом этаже 100 тыс. руб., на втором – 60 тыс. руб., на третьем и четвертом – 50 тыс. руб., на пятом – 40 тыс. руб.

Далее на третьем этапе были выявлены в статистической исходной информации ряд недостатков. Так, что одно помещение в здании по адресу пр. Ленина, 53 «выбивается» – кадастровая стоимость 1 кв.м. равна всего 925,4 руб. Полученное число в 60 раз меньше, чем кадастровая стоимость других соседних 15 помещений на первом этаже. Таким образом, при проведении массовой оценки были допущены некоторые ошибки, или информация на сайте Росреестра не всегда достоверна. Другая категория ошибок – неполные сведения. При поиске сведений о здании по ул. Цвиллинга, 44 сайт Росреестра в режиме online предоставил информацию только о пяти квартирам и помещениям на первом этаже, что составляет лишь 2,5 % от общего количества помещений в этом здании.

Таблица 1

Статистическая «выжимка № данных из Росреестра по 28 жилым и нежилым помещениям в четырех зданиях в центре г. Челябинска

Номер помещения	Кадастровая стоимость помещения, руб.	Площадь, кв.м.	Кадастровая стоимость за 1 кв.м., руб.	Средняя кадастровая стоимость за 1 кв.м., руб.
Пр. Ленина 49, жилые помещения				
42	2110449,64	59,8	35291,8	35291,8
41	2001045,06	56,7	35291,8	
40	1944578,18	55,1	35291,8	
7	2541009,6	72	35291,8	
6	2216325,04	62,8	35291,8	
3	1813998,52	51,4	35291,8	
Пр. Ленина 49, нежилые помещения				
53	18558591,34	406,7	45632,1	51414,0
54	14144558,44	247,3	57196,0	
ул. Цвиллинга, 44, жилые помещения				
1	2845228,9	73,1	38922,4	34330,19
105	2161776,1	61,7	35036,9	
2	1489108,7	59,4	25069,2	
99	1104288,9	106	10417,8	
ул. Цвиллинга, 44, нежилые помещения				
3	3694955,0	59,4	62204,6	62204,6
Пр. Ленина 53, жилые помещения				
48	2697302,62	68,8	39205,0	38533,2
47	3720595,12	100,7	36947,3	
46	3173840,01	83,5	38010,1	
45	2692670,74	68,6	39251,8	
44	2680895,21	68,3	39251,8	
53	2573373,7	69,6	36973,8	38064,4
49	2664472,2	67,8	39299,0	
50	3234729,11	85,4	37877,4	
51	3764712,88	102,1	36872,8	
52	2716971,83	69,4	39299,0	
пр-кт Ленина 53, нежилые помещения				
12	12559299,52	219,6	57191,7	57191,7
3	22842368,97	399,4	57191,7	
9	6113793,8	106,9	57191,7	
15	106416,4	115	925,4	
8	16522685,02	288,9	57191,7	

Поэтому были сделаны исследования и введены корректировки на кадастровую стоимость в соответствии с рыночной. Примем, что кадастровая стоимость должна быть ниже рыночной на 30 %:

1 этаж: 100 000 – 100 000*0,3 = 70 000 руб. /кв.м.;

2 этаж: 60 000 – 60 000*0,3 = 42 000 руб. /кв.м.;
3 этаж: 50 000 – 50 000*0,3 = 35 000 руб. /кв.м.;
4 этаж: 50 000 – 50 000*0,3 = 35 000 руб. /кв.м.;
5 этаж: 40 000 – 40 000*0,3 = 28 000 руб./кв.м.

Средняя кадастровая стоимость 1 кв.м. составила 42 000 руб./кв.м по зданию ул. Цвиллинга, 44. Третья ошибка, влияющая на достоверность – кадастровая стоимость 1 кв.м. на первом этаже и остальных различаются, что показывают расчеты первого и второго зданий.

На четвертом этапе – расчет налоговой нагрузки на 1 кв.м. площади по схеме налогообложения, представленной в Налоговом Кодексе, глава 32 «Налог на имущество физических лиц», с учетом налоговых вычетов (20 кв.м.) из общей площади помещений и понижающих коэффициентов перехода в течение пяти лет: 1 год – 0,2; 2 год – 0,4; 3 год – 0,6; 4 год – 0,8. Эти поправки введены законодателем для более комфортного, щадящего вхождения в новый порядок – базу налогоплательщиков на недвижимость по объектам капитального строительства.

Суммы налога за первые четыре налоговых периода с начала применения порядка определения налоговой базы исходя из кадастровой стоимости объекта налогообложения:

$$H_i^t = (H_{кi}^t - H_{иi}^t) \times K^t + H_{иi}, \quad (1)$$

где: H^t – сумма налога, подлежащая уплате, по i-му ОКС в t-ом периоде; $H_{кi}^t$ – сумма налога, исчисленная исходя из кадастровой стоимости по i-му ОКС в t-ом периоде; $H_{иi}^t$ – сумма налога, исчисленная исходя из соответствующей инвентаризационной стоимости; K^t – коэффициент перехода в t-ом периоде (t= 1,2,3,4).

Налоговый Кодекс РФ представляет возможность использовать следующие налоговые ставки: для жилых помещений от 0,1 %; для нежилых до 2 %. В г. Челябинске пока не определены налоговые ставки. Например, в Самарской области по Решение Думы городского округа Тольятти от 12.11.2014 N 510 «О налоге на имущество физических лиц на территории городского округа Тольятти» установлены следующие ставки: для жилых помещений – 0,3 %; для нежилых – 2 %.

В таблице 2 представлены результаты экспериментальных расчетов вариантов плана по налогообложению ОКСов в зависимости от скорректированной кадастровой и действующей инвентаризационной стоимости по всем объектам недвижимости, включенным в эксперимент.

Таким образом, выявлено в результате экспериментов, что подавляющее большинство ОКС в Челябинске требует проверки на достоверность. Варианты плановых расчетов налогообложения показали о существенных резервах в достоверности данных, величине и точности налогообложения недвижимости.

Таблица 2

Расчет кадастровой стоимости 1 кв.м. при ставках 0,1 % для жилых и 2 % для нежилых помещений, с учетом вычетов

Номер помещения	Площадь, кв.м.	Средняя кад. стоимость за 1 кв.м., руб.	Вычет, кв.м.	Налогооблаг. площадь, кв.м.	Ставка %	Сумма налога, руб.	Сумма налога с 1 кв.м., руб.	Инвентариз. Стоимость, руб.	Ставка, %	Сумма налога с инвент. стоимости, руб.	Сумма налога с 1 кв.м.	Итоговая величина налога с 1 кв.м., руб.	Итоговая величина налога с помещения, руб.
Пр. Ленина 49, жилые помещения													
42	59,8	35291,8	20,0	39,8	0,1 %	1405	23	3800	0,1 %	227	4	8	463
41	56,7	35291,8	20,0	36,7	0,1 %	1295	23	3800	0,1 %	215	4	8	431
40	55,1	35291,8	20,0	35,1	0,1 %	1239	22	3800	0,1 %	209	4	8	415
7	72,0	35291,8	20,0	52,0	0,1 %	1835	25	3800	0,1 %	274	4	8	586
6	62,8	35291,8	20,0	42,8	0,1 %	1510	24	3800	0,1 %	239	4	8	493
3	51,4	35291,8	20,0	31,4	0,1 %	1108	22	3800	0,1 %	195	4	7	378
Пр. Ленина 49, нежилые помещения													
53	406,7	51414,0	–	406,7	2,0 %	418202	1028	3800	2,0 %	30909	76	266	108368
54	247,3	51414,0	–	247,3	2,0 %	254294	1028	3800	2,0 %	18795	76	266	65895
ул. Цвиллинга, 44, жилые помещения													
1	73,1	34330,2	20,0	53,1	0,1 %	38922	532	3800	0,1 %	278	4	110	8007
105	61,7	34330,2	20,0	41,7	0,1 %	35037	568	3800	0,1 %	234	4	117	7195
2	59,4	34330,2	20,0	39,4	0,1 %	25069	422	3800	0,1 %	226	4	87	5194
99	106,0	34330,2	20,0	86,0	0,1 %	10418	98	3800	0,2 %	886	8	26	2792
ул. Цвиллинга, 44, нежилые помещения													
3	59,4	34330,2	20,0	39,4	2,0 %	62205	1047	3800	0,1 %	226	4	212	12622

Окончание табл. 2

Номер помещения	Площадь, кв.м.	Средняя кад. стоимость за 1 кв.м., руб.	Вычет, кв.м.	Налогооблаг. площадь, кв.м.	Ставка %	Сумма налога, руб.	Сумма налога с 1 кв.м., руб.	Инвентариз. Стоимость, руб.	Ставка, %	Сумма налога с инвент. стоимости, руб.	Сумма налога с 1 кв.м.	Итоговая величина налога с 1 кв.м., руб.	Итоговая величина налога с помещения, руб.
Пр. Ленина 53, жилые помещения													
48	68,8	39205,0	20,0	48,8	0,1 %	1913	28	3800	0,1 %	261	4	9	592
47	100,7	36947,3	20,0	80,7	0,1 %	2982	30	3800	0,22 %	842	8	13	1270
46	83,5	38010,1	20,0	63,5	0,1 %	2414	29	3800	0,1 %	317	4	9	737
45	68,6	39251,8	20,0	48,6	0,1 %	1908	28	3800	0,1 %	261	4	9	590
44	68,3	39251,8	20,0	48,3	0,1 %	1896	28	3800	0,1 %	260	4	9	587
53	69,6	36973,8	20,0	49,6	0,1 %	1834	26	3800	0,1 %	264	4	8	578
49	67,8	39299,0	20,0	47,8	0,1 %	1878	28	3800	0,1 %	258	4	9	582
50	85,4	37877,4	20,0	65,4	0,1 %	2477	29	3800	0,22 %	714	8	12	1067
51	102,1	36872,8	20,0	82,1	0,1 %	3027	30	3800	0,1 %	388	4	9	916
52	69,4	39299,0	20,0	49,4	0,1 %	1941	28	3800	0,1 %	264	4	9	599
Пр. Ленина 53, Нежилые помещения													
12	219,6	57191,7	–	219,6	2,0 %	251186	1144	3800	2,0 %	16690	76	290	63589
3	399,4	57191,7	–	399,4	2,0 %	456847	1144	3800	2,0 %	30354	76	290	115653
9	106,9	57191,7	–	106,9	2,0 %	122276	1144	3800	2,0 %	8124	76	290	30955
8	288,9	57191,7	–	288,9	2,0 %	330454	1144	3800	2,0 %	21956	76	290	83656
15	115	925,4	–	115	2,0 %	2128	19	3800	0,3 %	1311	11	13	1474

При проведении новой ГКО объектов капитального строительства следующие рекомендации по сопровождению всех процедур оценки группой независимых экспертов, представляющих интересы различных категорий гражданского общества и бизнеса в конкретном регионе: от проведения конкурса по качественному и надежному выбора оценщика (техническое задание и договор на оценку) до обсуждения промежуточных и окончательных результатов [2]. Важна новая процедура тотального доведения результатов оценки кадастровой стоимости ОКС, налоговых ставок и собственно размера налогового платежа до каждого и ее использование. На всех этапах важна прозрачность и публичность.

Библиографический список

1. Градостроительный Кодекс Российской Федерации от 29.12.2004г. № 190-ФЗ // СПС «Гарант».

2. Проблемы оценки кадастровой стоимости, налогообложения и аренды урбанизированных земель / В.М. Аксенов, В.П. Волчанов // Проблемы современной экономики. – 2007. – № 1(21). – URL: http://www.m-economy.ru/art.php?nArtId=1316.

К содержанию

УДК 332.6(470.55) + 339.13:332.6 + 69(470.55)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЫНКА КОММЕРЧЕСКОЙ НЕДВИЖИМОСТИ НА «ЗОЛОТОЙ МИЛЕ» ЧЕЛЯБИНСКА

В.М. Аксенов, Э.С. Мухаметдинова

Выполнено исследование основных показателей рынка коммерческой недвижимости в центре города на «Золотой миле» Челябинска за период с мая 2014 по март 2015 гг., также анализ особенностей аукционной продажи отдельных помещений в торговом комплексе (ТК) «Никитинский».

Ключевые слова: аренда, продажа, база данных, рыночная стоимость, ставка капитализации.

В исследовании поставлены и решены следующие основные задачи: создание информационной базы по объектам недвижимости «Золотой мили» г. Челябинска; статистическая обработка полученных данных и формирование относительно однородных ценовых зон; расчет и оценка тенденций ставок капитализации; построение тенденций ключевых показателей о рыночной стоимости и арендных ставках; их соотношение с изменениями стоимости рубля к евро, доллару США и 1 баррелю нефти марки Brent; исследование возможностей краткосрочного прогнозирования.

Понятие «Золотая миля» было введено в профессиональный оборот в 1945 году в романе Хью Макленнана «Два одиночества», где писатель назвал элитный район в Монреале (Канада) Golden Square Mile. Так, с тех пор агенты недвижимости стали называть престижные районы крупных городов «Золотой Милей». В Челябинске «Золотой милей» является центральная часть города по проспекту Ленина с прилегающими улицами по четной и нечетной сторонам. Протяженность этот участка от памятника Курчатову до Бизнес Холла «Бовид» около 4 км. В состав «Золотой мили» вошла пешеходная часть ул. Кирова («Кировка»).

В исследовании использовалась методика мониторинга рынка недвижимости. [1] Сначала была сформирована информационная база объектов недвижимости и их основных экономических и технических характеристик, которая может быть использована для выявления тенденций на рынке недвижимости. Так были использованы данные рынка (интернет и баннеры) о 180 зданиях, расположенных в 34 кварталах. Из них 98 зданий находятся на четной стороне пр. Ленина и 82 здания на нечетной стороне. Всего исследованы характеристики по 777 помещениям. Все кварталы «Золотой мили» были объединены в 8 ценовых зон. Показано, что в каждой ценовой зоне рыночная стоимость и арендная плата объектов статистически однородна.

В состав 1 зоны входит участок от памятника Курчатову до ул. Тернопольской, во второй – участок до ул. Володарского, в третьей – участок до ул. Красная, в 4 зоне находится участок по ул. Васенко. В 5 зоне находятся участок от ул. Елькина до ул. Кирова, включая «Кировку» и пл. Революции и другие 3 зоны до Бизнес-холдинг «Бовид».

Так в марте 2015 всего представлено 250 предложений по аренде и из них 138 предложений по торговой недвижимости и 122 по офисной. По продаже было представлено 125 предложений, из них 84 по офисной и 41 предложение по торговой недвижимости. По всем шести ретроспективным периодам результаты исследования см. в табл. 1 и 2, где количество в шт., цена предложения по продажам в руб./кв.м. и арендная ставка руб./кв.м в месяц.

Всего было сделано 6 временных «срезов» с периодичностью 2 месяца. На рис. 1 и 2 показано изменение количества предложений по продаже и аренде на рынке недвижимости.

Видно, что рыночная стоимость торговой недвижимости в основном снижается. В основном это связано со сложной экономической ситуацией, падением покупательной способности на 20–25 %. Самая высокая рыночная стоимость была зафиксирована в сентябре 2014 г. С того времени рыночная стоимость упала на 20,48 %. (с 107 614 руб./кв.м до 85 580 руб./кв.м), а в последние 2 месяца стоимость объектов торговой недвижимости снизилась лишь на 1 %.

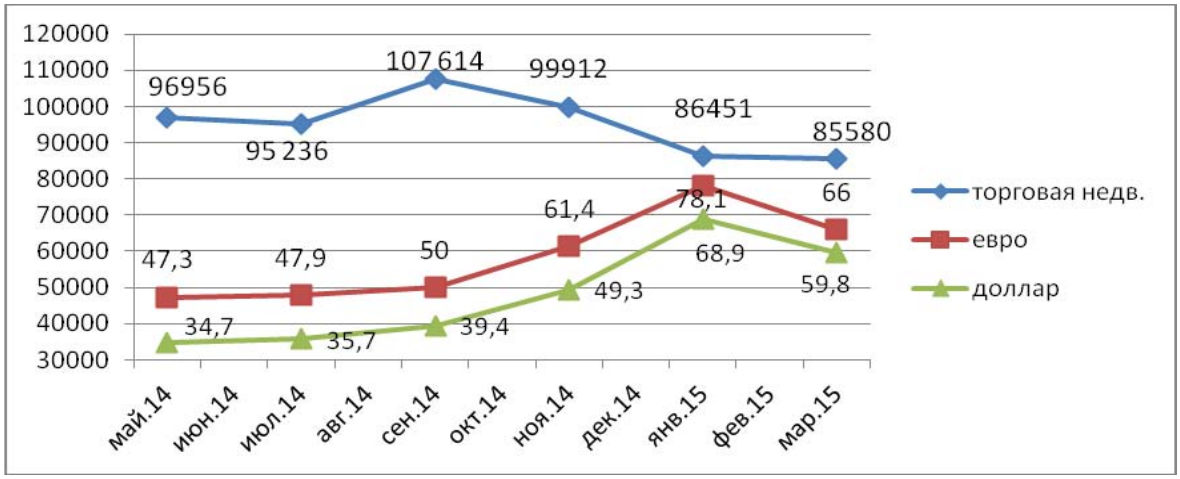


Рис. 1. Динамика средней рыночной стоимости в руб./кв.м торговой недвижимости, курс евро/руб., долл./руб.

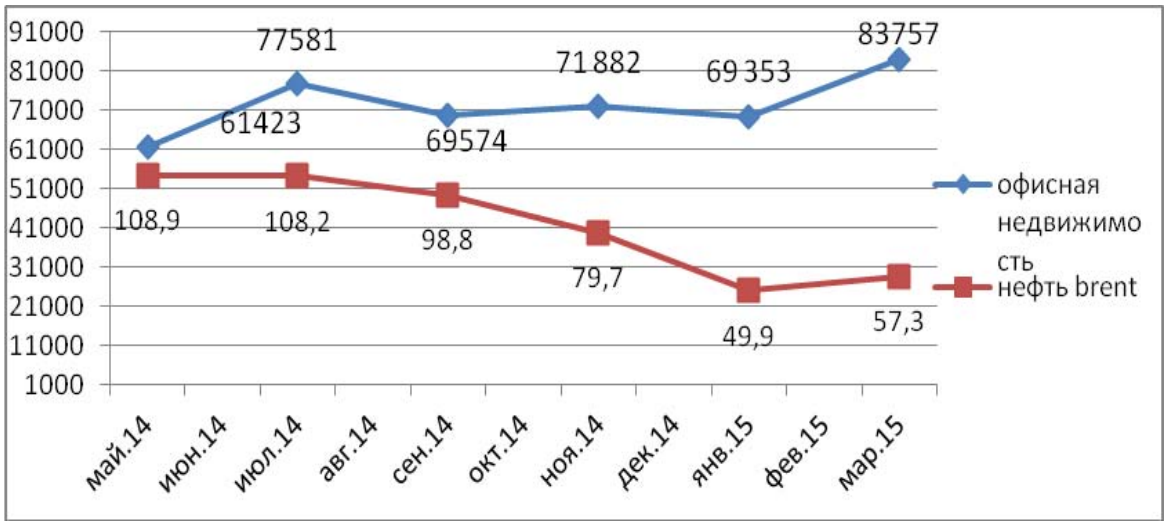


Рис. 2. Динамика средней рыночная стоимости 1 кв.м офисной недвижимости, стоимость нефти марки Brent

В отношении стоимости офисной недвижимости четкой тенденции не наблюдается. Однако в марте 2015 г. средняя величина стоимости объектов офисной недвижимости увеличилась на 21 %. Дальнейшие исследования покажут, надолго ли будет этот возврат в прошлое состояние.

Таблица 1

Результаты ценового зонирования по торговой недвижимости (фрагмент для 5 зон)

Ценовые зоны	Показатели	Май 2014 г	Июль 2014 г	Сентябрь 2014 г	Ноябрь 2014 г	Январь 2015 г	Март 2015 г
1	Цена продажи	92500	120000	100377	114138	95687	73740
	Кол-во объявлений	–	–	6	10	6	4
	Аренда	1162	769	1015	1060	1104	1136
	Кол-во объявлений	–	8	28	36	33	28
2	Цена продажи	85000	0	172578	152505	122064	109473
	Кол-во объявлений	–	–	4	5	5	7
	Аренда	1250	1443	1263	1257	1184	1360
	Кол-во объявлений	–	10	19	19	13	22
3	Цена продажи	70000	93023	80000	83929	70000	70000
	Кол-во объявлений	–	1	1	2	1	1
	Аренда	1500	1010	758	1056	1297	634
	Кол-во объявлений	–	8	6	8	15	6
4	Цена продажи	101000	132644	115785	91926	90851	171222
	Кол-во объявлений	–	7	5	5	3	4
	Аренда	1265	1548	2068	2099	1929	1454
	Кол-во объявлений	–	14	24	26	20	20
5	Цена продажи	117153	81842	116977	93439	77545	73324
	Кол-во объявлений	–	2	8	6	9	8
	Аренда	1100	1179	931	973	1001	1131
	Кол-во объявлений	–	13	15	15	19	19

Прямой зависимости цен предложения на недвижимость от курса цен на нефть не выявлено. Анализ курсов валют евро/рубль и доллар/рубль показал, что при повышении курса доллара и евро стоимость недвижимости в основном понижается. Конъюнктура нефтяного рынка является фундаментальным фактором для российской экономики. Сфера недвижимости как составная часть общей экономической системы лишь в некоторой степени находится под ее воздействием через платежеспособный спрос и стоимость недвижимости посредством нескольких факторов [1]: условия и объем жилищного кредитования покупателей, в т.ч. ипотечного; количество и доля ипотечных сделок; макрофинансовые факторы (денежная база); макрофинансовые факторы (изменение курсов валют – девальвация и ревальвация); макроэкономические факторы (темпы роста ВВП, промпроизводства, уровень занятости); инфляция и дефляция и др.

Анализ данных показал, что пик кризиса в сфере недвижимости пройден или по крайней мере достиг «дна». Если, прогнозируя состояние рынка, брать во внимание стоимость нефти за 1 баррель, то прогноз также будет позитивным, так как цены на нефть будут, по-нашему мнению, в среднесрочной перспективе повышаться.

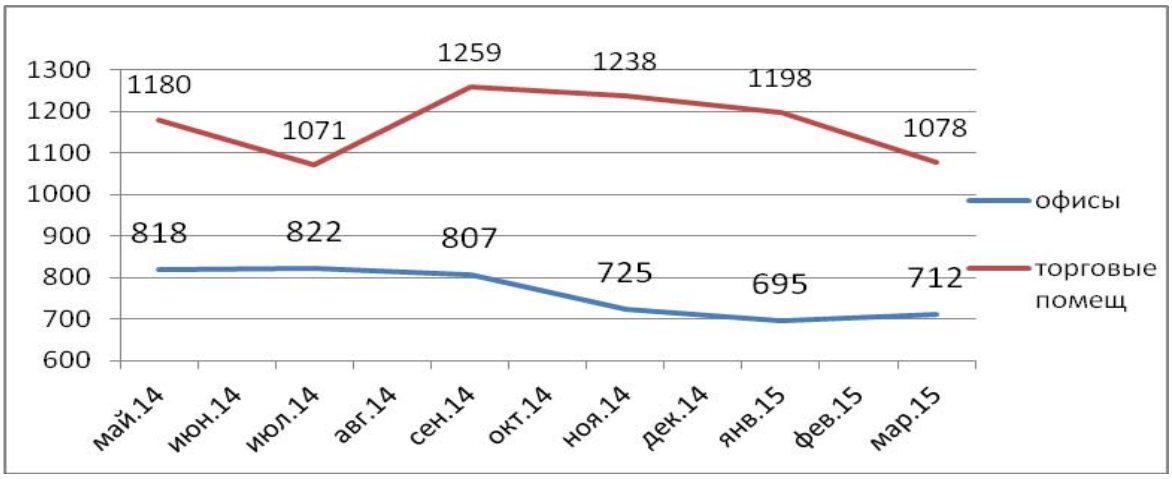


Рис. 3. Динамика средней арендной ставки 1 кв.м торговой и офисной недвижимости

По арендным ставкам можно сделать вывод, что для объектов торговой недвижимости идет временный спад, (уменьшение на 14,4 %). В будущем стоимость аренды, скорее всего, останется на прежнем уровне и снижаться пока не будет.

Коэффициент капитализации, как известно, является ключевым показателем рынка недвижимости коммерческих объектов. Он отражает соотношение ожидаемого годового дохода (ЧОД) и стоимости недвижимости. Эта величина тесно связана со сроком окупаемости и инвестиционными вложениями в недвижимость.

На рис. 3 видно, что ставка капитализации офисной недвижимости постоянно шла на спад и в марте составляла 10,2 %. Это значит, что срок окупаемости увеличился и составляет 9,8 лет. Год назад, когда срок окупаемости составлял 6,3 лет.

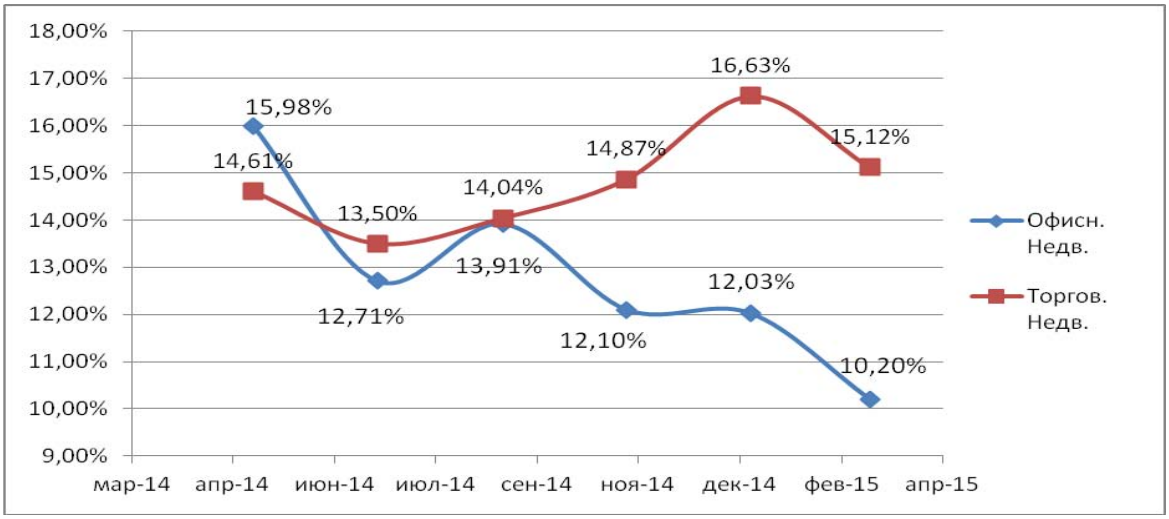


Рис. 4. Динамика ставок капитализации офисной и торговой недвижимости

В декабре 2014 – январе 2015, ставка капитализации торговой недвижимости максимальная и равна 16,63 %. Это объясняется ажиотажным спросом в начале кризиса и резкого ослабления рубля, когда часть населения и бизнеса хотели сохранить свои деньги в недвижимости, а также покупали ценные бумаги, акции и бытовую технику. У торговой недвижимости ставка в целом больше, чем у офисной недвижимости, а это значит, что объекты торговой недвижимости более ликвидны и срок окупаемости у них меньше.

Таблица 2

Средние показатели предложений продажи по рыночной стоимости и ставок аренды по ретроспективным горизонтам на «Кировке» в руб./кв.м

Месяц	Аренда		Продажа	
	Торговая недвижимость	Офисная недвижимость	Торговая недвижимость	Офисная недвижимость
май 2014	1530	816	112000	70000
июль 2014	1548	854	116143	92889
сентябрь 2014	1537	827	114899	75229
ноябрь 2014	1633	717	99922	72904
январь 2015	1383	800	118182	78526
март 2015	1454	964	100000	81316

ТК «Никитинский» находится на пл. Революции в подземном пространстве Челябинска. 3 июля 2014 года состоялись торги по продаже помещений этого ТК из-за банкротства владельца. Стоимость 1 кв.м составляла по каждому из 40 помещений около 150 000 руб./кв.м. На дату торгов ставка капитализации по объектам торговой недвижимости составляла 13,5 %. Учитывая базовую арендную ставку в этом торговом комплексе, которая составляет в среднем 2500 руб./кв.м можно сказать, что ставка капитализации составляет 20 % и значительно отличается от ставки по «Золотой миле» и в целом по городу. Стоимость 1 кв.м. в ТК «Никитинский», рассчитанная методом капитализации, составляет 222 222 руб./кв.м. Поэтому можно предположить, что цена помещений в ТК при аукционных торгах существенно отличается от рыночной стоимости.

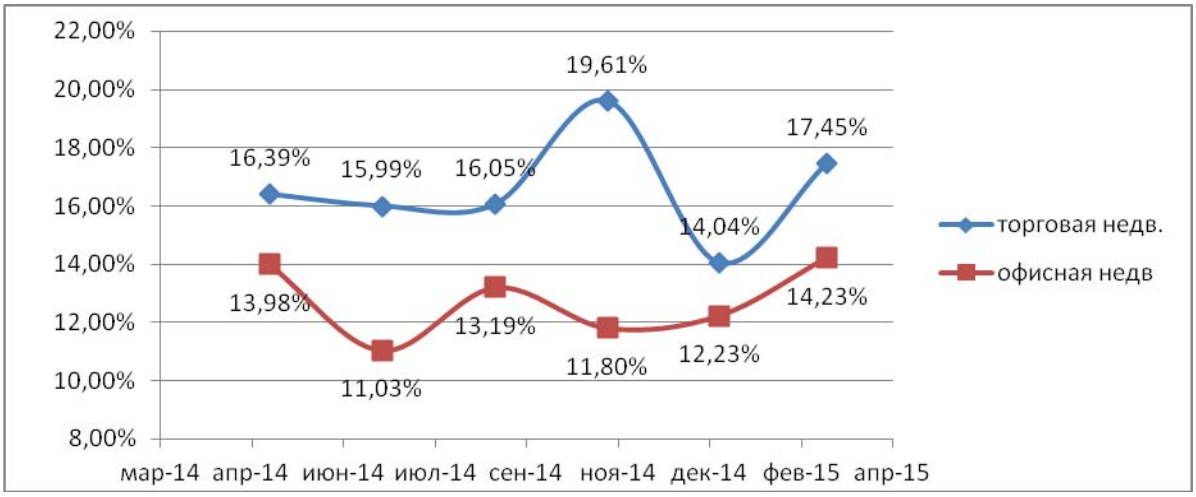


Рис. 5. Ставки капитализации по торговой недвижимости
и офисной недвижимости на «Кировке»

В заключение можно сделать основные выводы:

Информационная база позволяет проводить регулярные компьютерные расчеты основных показателей рынка по престижным объектам г. Челябинска и определить возможность краткосрочного прогнозирования.

1. Цены по городу находятся в диапазоне от 41 000 руб./кв.м (ЧМЗ) до 81 000 руб./кв.м (Центральный район). Среднее значение по городу составляет 70 500 руб./кв.м, в то время как на «Золотой миле» стоимость 1 кв.м. составляет 90 тыс. руб.

2. Центр города менее подвержен значительным колебаниям рыночной стоимости и арендных ставок, так как помещения в центре более востребованы, нежели помещения за пределами «Золотой мили».

3. Рынок сохранит свои позиции в связи с укреплением рубля и подорожанием нефти, но рыночная стоимость не увеличится из-за продолжающегося экономического кризиса.

Библиографический список

1. Стерник, Г.М. Технология анализа рынка недвижимости / Г.М. Стерник. – М.: АКСВЕЛЛ, 2005. – 204 с.
2. Портал «Недвижимость в Челябинске». – URL: http://domchel.ru/.
3. Портал «Челторги». – URL: http://cheltorgi.ru/.
4. Портал «Деловой квартал в Челябинске». – URL: http://chel.dk.ru/.
5. Портал «РБК» – URL: http://www.rbc.ru/.
6. Мухаметдинова, Э.С. Исследование рынка недвижимости на «Золотой миле» города Челябинска: дипломная работа / Э.С. Мухаметдинова. – Челябинск, ЮУрГУ, 2015. –120 с.

К содержанию

УДК 692 + 728.1:620.9

МУЛЬТИКОМФОРТНЫЕ ДОМА

С.В. Амелькович, О.К. Брыткова, М.В. Губаева

Статья посвящена исследованию состояния вопроса по проектированию мультикомфортного дома ISOVER для возведения в составе жилого комплекса на территории выставки «Астана-ЭКСПО-2017».Рассматриваются перспективы развития энергоэффективных и зеленых зданий. А так же стратегии, программы и технологии, направленные на устойчивое развитие, повышение безопасности и эффективное энергопотребление, стимулирование использования возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: мультикомфортный дом ISOVER, рациональный архитектурный проект жилого квартала, климатические условия Астаны, с ветряными потоками, в программе Multi Comfort Designer, использование альтернативных источников получения энергии, фасад.

В рамках Киотского протокола более чем 140 промышленно развитых стран взяли на себя обязательство существенно сократить выбросы CO2 и решили, что использование энергосберегающих технологий является приоритетной задачей для того, чтобы сохранить наши природные ресурсы.

Поскольку мир становится все более урбанизированным, а города все более крупными и густонаселенными, увеличивается потребление энергии, а также выбросы CO2. Реагируя на эту ситуацию, все больше и больше местных органов власти по всему миру требуют от проектов своих новых строящихся объектов, чтобы они отвечали самым высоким требованиям с точки зрения энергоэффективности, обеспечивая при этом высочайший уровень комфорта, который только возможен, для их жителей. Не исключение и органы власти города Астаны (Казахстан), решившие глубже ис-

следовать перспективы развития энергоэффективных и зеленых зданий. В связи с этим администрация Астаны в 2017 году проводит международную выставку Астана Экспо-2017 «Энергия будущего».

Задание 11 Международного студенческого конкурса «Проектирование Мультикомфортного дома ISOVER», подготовленного компанией ISOVER при поддержке Департамента архитектуры и дизайна АО «Национальная компания «Астана ЭКСПО-2017», заключается в разработке проекта жилого здания в Астане (Казахстан) для возведения в составе жилого комплекса, который будет построен на территории выставки «Астана ЭКСПО-2017» после ее окончания [из содержания конкурса «Студенческий конкурс “Проектирование Мультикомфортного дома ISOVER-2015: Жилой квартал для холодного климата – Астана, Казахстан”»].

На рисунке 1 приводится географическое положение Астаны.

Рис. 1. Географическое положение Астаны

В соответствии с темой выставки «Энергия будущего» необходимо было разработать экологически рациональный архитектурный проект жилого квартала с подробной детализацией одного жилого дома в составе этого квартала, интегрированный в новое городское пространство, с учетом требований компании по концепции Мультикомфортного дома, а также резко континентальных климатических условий Астаны и региональных особенностей. Строительство запланировано на территории выставки «Астана ЭКСПО-2017» после ее окончания.

Для разработки квартальной застройки был выделен участок, размером 3,1 га. По конкурсному заданию необходимо было запроектировать 10–12 жилых домов этажности 6–8 этажей. Данный земельный участок было решено поделить на 3 квартала: северный, выходящий к выставке, включает в себя пять восьмиэтажных зданий; два южных, состоящих из трех шестиэтажных зданий каждый.

Астана, с ее резко континентальным климатом, занимает второе место в списке самых холодных столиц мира.

- абсолютный минимум температуры: - 52 °С
- абсолютный максимум температуры: + 42 °С
- расчетная температура наиболее холодных 5 суток: - 36 °С
- средняя температура во время отопительного сезона составляет -8,4 °С; расчетная длительность отопительного сезона – 216–229 дней
- зимний период характеризуется наиболее сильными ветрами. Количество ветреных дней в год – порядка 280–300.

Наиболее сильные и частые ветры имеют Юго-Западное направление, справиться с ветряными потоками возможно, запроектировав здание под углом к направлению наиболее часто повторяющихся ветров.

Предполагается, что во всех домах, на проектируемой территории, на первом этаже будет расположена плаза жилого комплекса: магазины, кафе, пункты проката велосипедов и прочее, а также три детских сада – по одному в каждом квартале.

На рисунке 2 представлена схема генплана. Школьный участок расположен на соседнем участке с Западной стороны от проектируемой зоны. Школа трехэтажная средняя общеобразовательная на 1200 учеников. Рекреационные дворовые пространства включают в себя площадки для детских и спортивных игр, а так же зоны для более пассивного отдыха. Предполагается возведение искусственно созданного рельефа – призванного обогатить ландшафт местности, а также предотвратить самовольное устройство паркинга на газоне. В благоустройстве двора внутри кварталов предусмотрено использование газонной решетки, при помощи которой грунт не размывается, а газон не вытаптывается. В работе [8] приведены основные направления такого благоустройства. Земельный участок, отданный под проектирование, огибает дорога, ведущая к въездам в квартальную застройку, далее поток автотранспорта распределяется по жилым группам кварталов. Придомовая территория оборудована противопожарным проездом. В квартале предполагается расположение оборудованных велодорожек, которые проходят сквозь квартальную застройку и связаны с велодорожками вдоль проезжей части. Часть каждого из зданий вынесена на 3,6 метра, что позволило провести пешеходные потоки под этими вынесенными участками, выходящими на внешнюю сторону квартала. Это также способствует ветро- и солнцезащите пешеходов. В проекте имеется пункт сбора мусора, расположенного в зоне доступности для всего жилого квартала. Также присутствуют гостевые парковки и подземная двухэтажная парковка, рассчитанная на 345 м.мест. Разрабатываемое здание расположено в Юго-Западном квартале, с внешней стороны застройки.

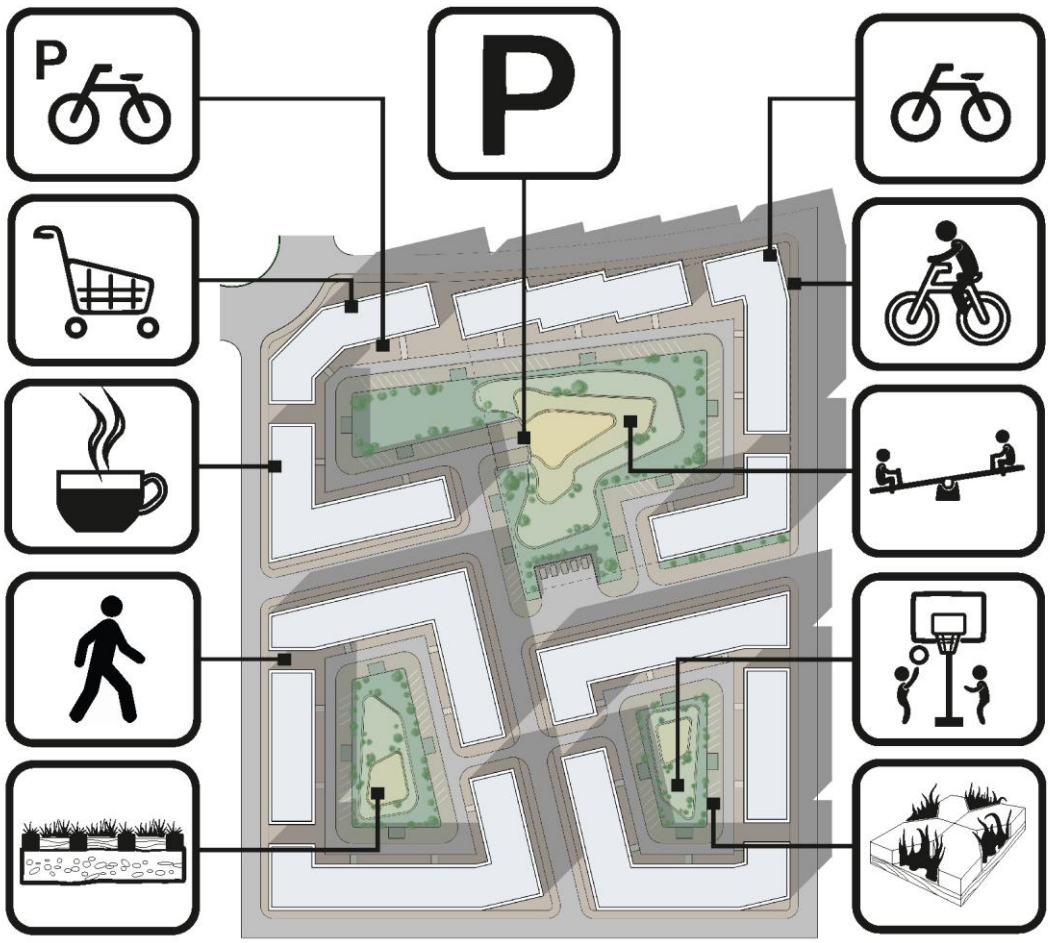


Рис. 2. Генплан

Выбранная форма является наилучшим вариантом для создания мультикомфортного дома, т.к. уменьшает теплопотери, за счет малого количества мостиков холода. При условии расположения объекта в резко континентальном климате, учет теплопотерь имеет большое значение. По конкурсному заданию необходимо было посчитать в программе Multi Comfort Designer значения по годовому потреблению тепловой энергии. Удельный годовой спрос на потребность в тепле не должен превышать 15 кВт*ч/м^2. Сделав все необходимые расчеты было получено значение 8.17 кВт*ч/м^2, что соответствует заявленным требованиям и отражено на рисунке 3.

В целях обеспечения оптимальной среды предлагаемое целевое значение температурного режима летом предусматривает частоту перегрева выше 25 °С. Поэтому, чтобы предотвратить перегрев помещений, было принято решение применить в проекте как пассивные (фасадные жалюзи), так и активные меры контроля температуры воздуха внутри помещений (вентиляционная система с рекуперацией с возвратом тепла на летний период) [7].

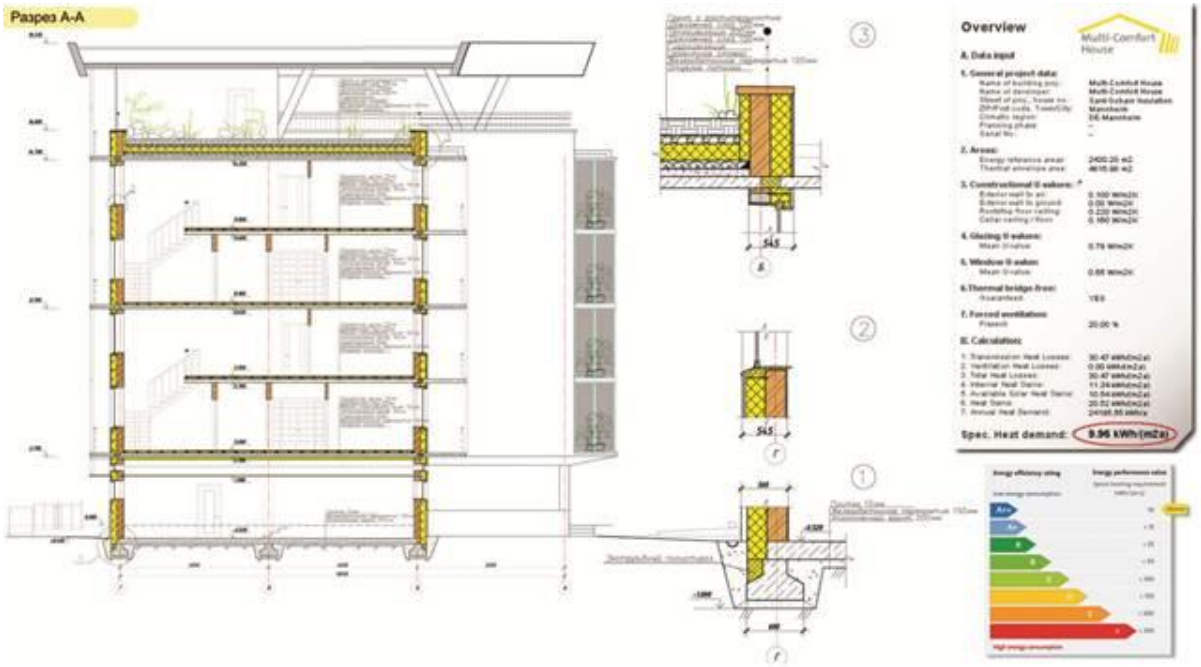


Рис. 3. Расчет жилого дома в программе Multi Comfort Designer

В проекте предложено использование альтернативных источников получения энергии:

- тепловые насосы с вертикальными теплообменниками, энергия которых может использоваться для обогрева воды квартир, а также для теплых полов;
- солнечные батареи, установленные на крыше, обеспечивающие энергией лестнично-лифтовые узлы.

В лестнично-лифтовых узлах предлагается установить энергосберегающую систему освещения с датчиком движения. В доме предлагается установить систему сбора дождевой воды, которая будет обеспечивать сливные бачки унитазов санитарных узлов водой, прошедшей систему отчистки. Резервуары для накопления воды расположены в подвале. Так как Астана – город с резко континентальным климатом, то предлагается обеспечить обогрев крыши здания для защиты от промерзания системы накопления дождевой воды.

Фасад жилого дома облицован панелями с покрытием, созданным компанией Millenium Chemicals. Основу этого покрытия составляет диоксид титана – фотокатализатор, разлагающий ядовитые оксиды азота и летучие органические соединения в присутствии солнечного ультрафиолета и атмосферной влаги. Вредные соединения с таких панелей просто смываются дождевой водой, в результате чего, панели остаются чистыми и белыми без химической обработки [6].

Библиографический список

1. Граник, Ю.Г. Конструкции наружных ограждений и инженерные системы в новых типах энергоэффективных жилых зданий / Ю.Г. Граник, А.А. Магай, В.С. Беляев // Энергосбережение. – 2003. – № 5. – С. 73–75.

2. Рей, Д Тепловые насосы / Д. Рей, Д. Макмайл; пер. с анг. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.

3. Табунщиков, Ю.А. Энергетически пассивный многоэтажный жилой дом / Ю.А. Табунщиков // АВОК. – 2013. – № 1. – С. 14–23.

4. Шилкин, Н.В. Пассивные здания: возможности современного строительства / Н.В. Шилкин // Энергосбережение. – 2011. – № 4. – С. 34–41.

5. Мультикомфортный дом ISOVER. Комфорт и безопасность для окружающей среды: Брошюра компании SAINT. – GOBAIN ISOVER, 2012. – 11 с.

6. URL: http://www.saveplanet.su/articles_442.html, http://www.computerra.ru/780-45/tsement-ochishhayushhiy-gorodskoy-vozduh-ot-zagryazneniy/, http://www.membrana.ru/particle/10721.

7. URL: http://ventys.ru/articles/rekuperatsiya-tepla.

К содержанию

УДК 696.4 + 697.1/.7

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ ЗДАНИЙ

Е.Ю. Анисимова

Рассмотрена задача энергоэффективного управления тепловым режимом здания на основе разработанного оптимального режима прерывистого отопления. Представлен анализ экономии энергии при использовании прерывистого отопления.

Ключевые слова: энергосбережение в системах отопления, оптимальный режим прерывистого отопления, экономия тепловых ресурсов, экономичные режимы отопления, управление тепловым режимом здания, оптимизация теплового режима здания.

В России удельный показатель потребления тепловой энергии на системы теплоснабжения зданий (отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха, горячее водоснабжение), в расчете на 1 м^2 отапливаемой площади здания за отопительный период превышает в 2,9–4,3 раза аналогичный показатель в странах со схожим климатом, например, в Швеции и Финляндии. Это показывает, что эффективность потребления энергоресурсов на климатизацию здания является низкой и требуется снижать потребляемый расход топливно-энергетических ресурсов на эти нужды. Решение данной задачи возможно путем разработки и внедрения мероприятий, направленных на повышение эффективности использования энергоресурсов, а имен-

но разработку и внедрение энергосберегающих мероприятий, технологий и оборудования. Одним из вариантов разрешения этой проблемы, является отказ от систем централизованного теплоснабжения и переход к децентрализованным системам. Децентрализованное теплоснабжение эффективно в отдаленных городских районах, там, где прокладка тепловых сетей невыгодна, а также при реконструкции старого жилфонда, где развитие тепловых мощностей невозможно из-за стесненности территории и нехватки мощностей центральных тепловых источников. Вместе с тем, децентрализованные системы теплоснабжения имеют больший потенциал в области энергосбережения и качественного поддержания параметров микроклимата зданий, по сравнению с центральными теплоснабжающими системами.

В случае применения децентрализованного теплоснабжения с автономными источниками теплоты существенную экономию энергоресурсов обеспечивает реализация оптимального режима прерывистого отопления здания в нерабочий период. Согласно СП 60.13330.2012 в жилых, общественных, административно-бытовых и производственных зданиях в нерабочее время температуру внутреннего воздуха можно поддерживать на более низком уровне, чем в остальные промежутки времени, что дает возможность снизить расход энергии на отопление. При этом возникает задача, каким должен быть алгоритм управления тепловой мощностью системы отопления здания в нерабочий период, чтобы к моменту начала использования помещения температура внутреннего воздуха была равна требуемому значению и расход теплоты при этом был бы минимален.

Для решения задачи оптимального управления тепловым режимом здания было разработано программное обеспечение [2], позволяющее для любого объекта и различных условий смоделировать разнообразные алгоритмы управления мощностью системы отопления в нерабочий период с целью их качественного и количественного анализа и применения. Для каждого режима рассчитываются: график тепловой мощности системы отопления, температуры на внутренней и наружной поверхности наружных ограждений, затраты теплоты в рассматриваемых режимах, минимальная температура внутреннего воздуха в режиме охлаждения, продолжительности времени охлаждения и разогрева. Например, алгоритм изменения тепловой мощности системы отопления при ее оптимальном режиме прерывистого управления, а также характеры изменения температур внутреннего воздуха в здании и температуры на внутренней стороне наружного ограждения, рассчитанные данной программой, представлены на рис. 1 и рис. 2. Кроме того, на рис. 1 указан расход теплоты в этом режиме управления.

Очевидно, что в первый период нерабочего времени, когда мощность системы отопления равна нулю, происходит снижение температуры внутреннего воздуха, а во второй, когда тепловая мощность равна максимальному значению, происходит рост внутренней температуры до требуемого значения. В начальный и конечный моменты нерабочего периода темпера-

туры внутреннего воздуха здания равна одному и тому же требуемому значению 21 °С. Расход тепловой энергии составляет 31159,2 Вт·ч.

С помощью разработанной программы, сравнивались наиболее распространенные в настоящее время режимы управления мощностью системы отопления: здание подключено к центральным тепловым сетям; управление отоплением стабилизирующим регулятором температуры внутреннего воздуха и оптимальный режим прерывистого отопления здания в нерабочее время (рис. 1 и рис. 2).

Рис. 1. Изменение тепловой мощности
при оптимальном режиме прерывистого отопления

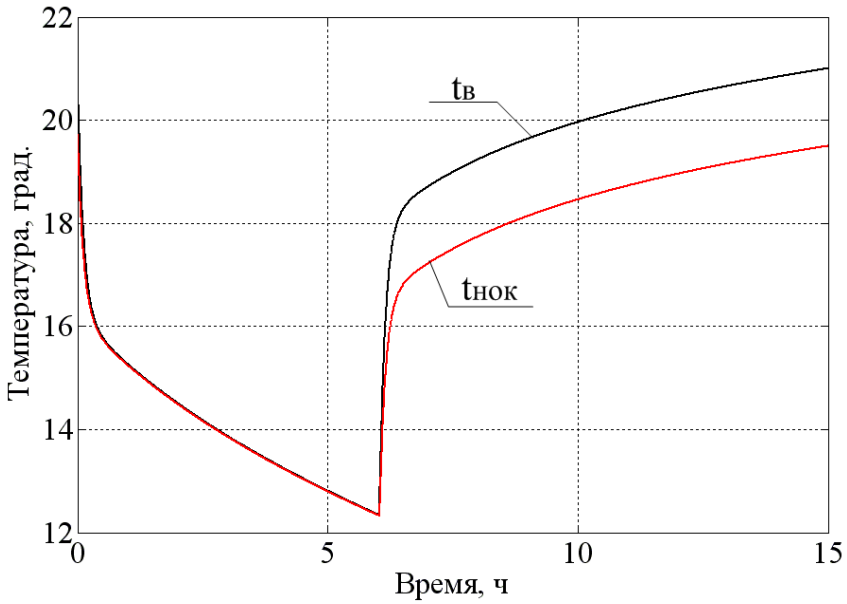


Рис. 2. Изменение температуры внутреннего воздуха $t_в$
и температуры внутренней поверхности наружного ограждения $t_{нок}$
при оптимальном режиме прерывистого отопления

В результате выяснилось, что самым неэкономичным является режим подключения здания к центральным тепловым сетям, по сравнению с ним экономия теплоты при управлении системой отопления стабилизирующим регулятором температуры внутреннего воздуха составляет 3–5 %, а экономия энергии в режиме оптимального прерывистого отопления здания в нерабочее время составляет 30–50 %.

Кроме того, было установлено [1], что целесообразно применение режима прерывистого отопления в зданиях с автономным источником теплоты и нерационально при подключении их к центральным тепловым сетям. Это объясняется следующим: когда здание подключено к тепловым сетям и производится центральное регулирование отпуска теплоты на источнике, тепловая мощность, необходимая для разогрева здания, является функцией температуры наружного воздуха. Поступившая из центральных тепловых сетей энергия тратится на компенсацию текущих теплопотерь здания, а сам разогрев здания, то есть подъем температуры внутреннего воздуха в нем, не происходит из-за отсутствия запаса теплоты.

Немаловажно отметить, что минимальная температура внутреннего воздуха в режиме охлаждения для жилых, общественных, административно-бытовых и большинства других зданий составляет 12 °С, что объясняется условием не выпадения конденсата на внутренних поверхностях наружных ограждений. Вообще, вопрос о том выйдет ли система на ограничение по внутренней температуре зависит от длительности режима прерывистого отопления, а также от установленной мощности системы отопления.

Данный факт является немаловажным, так как нередко в предложениях по энергосбережению некомпетентных энергоаудиторов можно увидеть неверное применение режима прерывистого отопления при подключении объекта к центральным тепловым сетям, что может приводить к аварийным ситуациям, разморозке систем отопления и т.д.

Хотелось бы отметить, что в технической литературе существуют методики расчета количества теплоты при реализации режима прерывистого отопления, которыми не рекомендуется пользоваться. Данные методики являются очень поверхностными и не учитывают теплотехнические (в том числе теплоинерционные) особенности зданий, специфику его микроклимата, принцип действия систем отопления: инерционность, максимальную установленную тепловую мощность, возможную комбинацию систем отопления (водяной и воздушной); не ведется расчет продолжительностей периодов охлаждения и разогрева помещений, нет ограничения по минимальной допустимой температуре внутреннего воздуха в режиме отопления и т.д.

В результате решения поставленной задачи был установлен оптимальный режим прерывистого отопления в нерабочее время, который заключается в интенсивном разогреве помещения на конечном промежутке нерабочего времени; доказана эффективность разработанного режима и обоснована рекомендация его реализации в зданиях имеющих автономный источник теплоты.

Библиографический список

1. Анисимова, Е.Ю. Программное обеспечение для расчета оптимального режима прерывистого отопления зданий / Е.Ю. Анисимова // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах: междунар. сб. науч. трудов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – № 1 (4). – С. 66–71.

2. Панферов, В.И. Повышение эффективности управления тепловым режимом здания на основе численного моделирования / В.И. Панферов, Е.Ю. Анисимова // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах: междунар. сб. науч. трудов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – Ч. I. – С. 25–30.

3. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки зарегистрированное в Отраслевом фонде алгоритмов и программ (ОФАП). Программа для расчета оптимальных режимов прерывистого отопления зданий / Е.Ю. Анисимова. – № 50200800068 от 18.01.2008 г.

К содержанию

УДК 678.067.5:621.774

СБОРНЫЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ЕМКОСТИ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

В.М. Асташкин, Д.А. Маликов

Достоинством сборных емкостей по сравнению с изготавливаемыми на месте в полевых условиях является лучшее качество стеклопластика, быстрота возведения и отсутствие потребности в мобильном сложном специальном оборудовании. Стенка сборных вертикальных цилиндрических емкостей выполняется из отдельных сегментов, соединяемых на монтаже между собой продольными швами. Анализ работы обычно применяемого фланцевого соединения сегментов и причин имеющихся случаев разрушения таких емкостей выявил ряд недостатков фланцевых соединений, которые могут быть устранены лишь частично. Кардинально улучшить конструкцию емкостей, создав более благоприятное напряженное состояние в зоне стыка сегментов, можно применив их соединение на накладках или внахлестку. Это устраняет изгибающие моменты в зоне стыка и позволяет повысить прочность стеклопластика за счет изготовления сегментов намоткой.

Ключевые слова: вертикальные емкости цилиндрические, сборные, стеклопластик.

Стеклопластик оправдал себя в условиях применения для изготовления емкостей под различные жидкости, в том числе агрессивные [1].

Исходя из условий транспортировки, оболочку стенки вертикальных стеклопластиковых емкостей диаметром более 3,6 м обычно изготавливают на месте в полевых условиях намоткой на неподвижную оправку [1]. Может быть применен и метод изготовления оболочек вертикальной мокрой намоткой стеклоткани на короткую вращающуюся оправку с циклической сдвижкой оболочки вверх и ее подращиванием снизу до получения ее необходимой длины. При этом последовательность операций следующая: наматывается и отверждается первая секция оболочки, она сдвигается по оправке вверх, далее без отрезки ткани продолжается намотка следующей секции, при этом образуется монолитный стык между наращиваемой и подращиваемой секциями [2, 3].

Альтернативой изготавливаемых на месте емкостей является выполнение их сборными. Достоинством сборных емкостей является лучшее качество стеклопластика, быстрота возведения и отсутствие потребности в мобильном сложном специальном оборудовании. Недостатком является наличие стыков элементов.

Стенка сборных вертикальных цилиндрических емкостей выполняется из отдельных сегментов (веролей), соединяемых на монтаже между собой продольными швами. Крышки емкостей – выпуклые, днище – плоское, на песчаной подушке около 25 мм. Сборные элементы крышки и днища соединяют бандажированием стыков.

Отдельные сегменты изготавливаются, как правило, контактным формованием ручной выкладкой стекловолокнистого материала по форме с его пропиткой полимерным связующим, либо напылением. Традиционное соединение сегментов 1 между собой – вертикальным фланцем 2 по их отбортовке (рис. 1а) с соединением болтами 3 с гайками 4 и герметизацией шва внутренним бандажом 6.

От действия гидростатического давления в стенке емкости в окружном направлении возникают большие растягивающие усилия, которые должен воспринять вертикальный стык сегментов. Считалось, что распределение усилий между бандажом и стягивающими фланец болтами идет поровну. При этом не учитывалась разная податливость бандажа и болтового соединения, последняя обусловлена изгибом фланца 2 и смятием стеклопластика под шайбами 5. Анализ причин имеющихся случаев разрушения таких емкостей показал, что податливость бандажа значительно ниже, чем болтового соединения, поэтому именно бандаж берет на себя большую часть усилия и возможно его разрушение от разрыва или скалывания по шву приформовки. А после этого все усилие передается на фланцевое соединение и происходит его разрушение от изгиба, вызванного несовпадением оси болта и осевой линии стенки. Эти исследования были проведены нами после разрушения в 2001 году емкости под электролит диаметром 4,5 м и объемом 125 м^3. После этого весь парк таких емкостей был усилен стяжными

кольцами. Исследования напряженного состояния стеклопластиковых емкостей диаметром 7,8 м и объемом 250 м^3, изготовленных итальянской фирмой BETA SERBATOI S.R.L. (г. Парма), также с сопряжением сегментов стенки на продольных фланцах, показало, что они тоже нуждаются в усилении. Для этого выполнялись прорези в фланцах и этой зоне наформовывались кольцевые стеклопластиковые бандажи.

Уменьшить величину изгибающего фланец момента можно за счет выполнения внутренней поверхности сегментов в зоне кромок с выгибом внутрь оболочки [4], что уменьшает величину эксцентриситета *e* (рис. 1б). Подобный эффект достигается также за счет ниш 7 под болты 3 (рис. 1в).

Для усиления стенки и разгрузки стыков сегментов используют также следующий прием [1]. Отбортованные кромки сегментов стыкуют, изнутри накладывается бандаж. После сборки корпуса емкости в кромках делают прорези и на наружную поверхность в эти прорези наматывают по спирали непрерывный стальной трос.

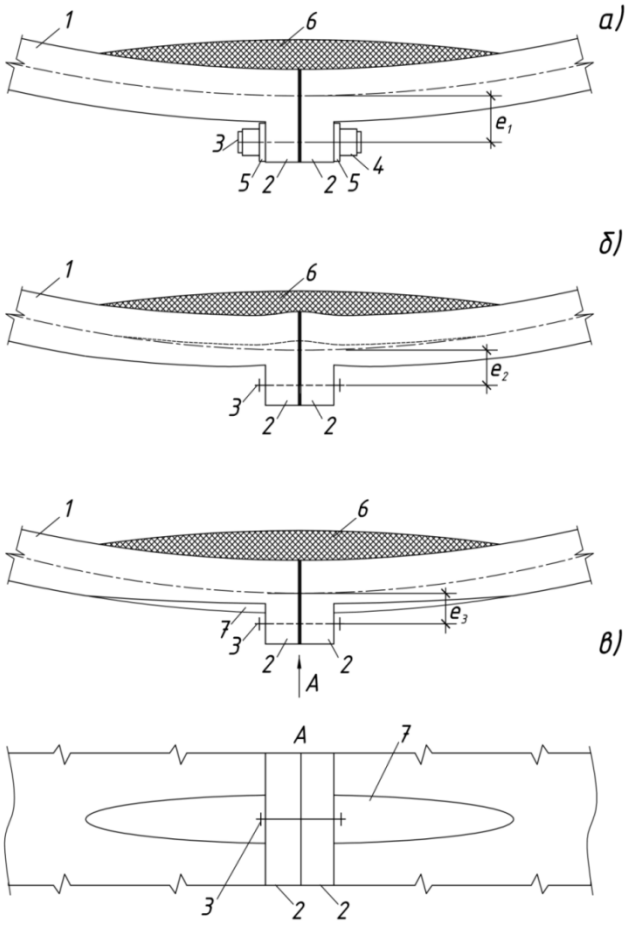


Рис. 1. Варианты фланцевого сопряжения сегментов стенки сборной вертикальной емкости

Кардинально улучшить конструкцию емкостей, создав более благоприятное напряженное состояние в зоне стыка сегментов, можно исключив фланцевые соединения сегментов на накладках [5, 6].

В этом случае (рис. 2) сборная цилиндрическая оболочка состоит из сегментов 1, выполненных из стеклопластика и образованных разрезкой оболочки по образующей. Продольные кромки 2 сегментов 1 выполнены гладкими, без выступов, и сопряжены между собой с образованием продольного стыка 3. На стыке 3 установлены накладки 4, соединенные с кромками 2 сегментов 1 радиально установленными дискретными связями 5, например болтами или винтами с потайной головкой 9. Между накладкой 4 и кромкой 2 сегментов 1 нанесен клеевой состав 6. Для повышения прочности и герметизации на стык 3 изнутри оболочки наложен бандаж 7 из стеклопластика.

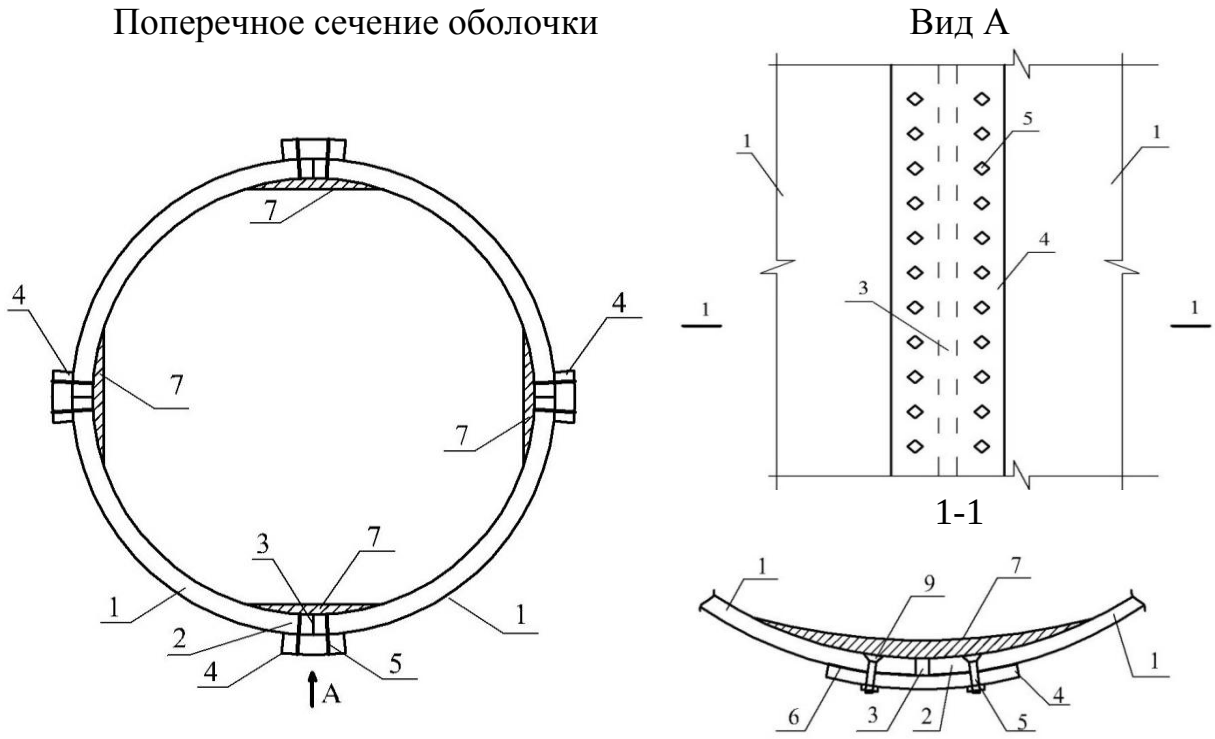


Рис. 2. Сопряжения сегментов стенки
сборной вертикальной емкости на накладках

Отсутствие у сегментов 1 фланцев упрощает конструкцию оболочки и снижает ее материалоемкость, а радиально установленные связи 5 обеспечивают прижим кромок сегментов к накладке 4, что исправляет их деформации. При этом устраняется уступ в стыке, в результате внутренний бандаж получается ровный. Податливость клеевого соединения накладки 4 с сегментом 1 практически совпадает с податливостью бандажа 7, в результате усилия между ними распределяются поровну и в месте стыка не воз-

никает изгибающего момента. Отсутствие фланцев позволяет изготавливать сегменты методом намотки (рис. 3), установка для этого [7] включает в себя опорное основание 1, на котором закреплены стойки 2 с приводом вращения. На стойках 2 установлена составная оправка 3, образованная выпуклыми формообразующими элементами 4 и 5. Раскладчик 6 стеклоткани 7 перемещается вдоль оправки. Стеклоткань 7 пропускается через пропиточную ванну 8 и наматывается на составную оправку 3. После намотки и разрезки по стыку элементов 4 и 5 получаются гладкие сегменты стенки вертикальной емкости. Все это упрощает технологический процесс, повышает производительность и улучшает физико-механические характеристики материала, которые при изготовлении намоткой по сравнению с ручной выкладкой стеклоткани выше на 20 %, [8], а по сравнению с напылением – выше в 2 раза [9]. Это позволяет снизить материалоемкость оболочки за счет уменьшения ее толщины.

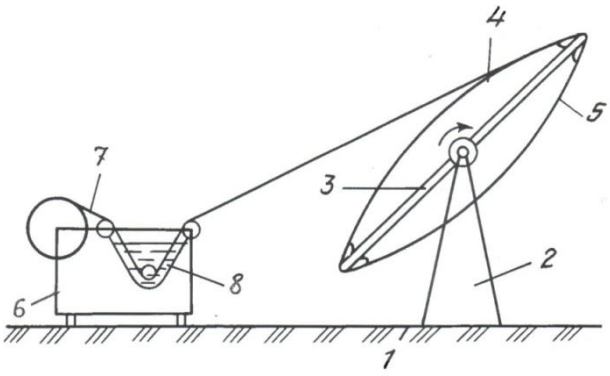


Рис. 3. Схема изготовления намоткой сегментов стенки
сборной вертикальной емкости

Еще один вариант сборной емкости с соединением сегментов на накладках показан на рис. 4 [6].

В случае соединения сегментов на накладках на стыке сегментов 1 снаружи оболочки установлены с разрывами между собой короткие накладки 2. Разрывы накладок 2 по всем стыкам выполнены на одних уровнях и в разрывах установлены круговые бандажи 5. Длины накладок 2 и их разрывы, как правило, выполнены с переменным шагом согласно эпюре окружных усилий в оболочке.

Цилиндрические оболочки, собранные из сегментов 1, устанавливаются на днище 6, имеющее наружный уступ, и герметизируются наружной зачеканкой 7 и внутренним бандажом 8. Для установки крышки на верхней части сегментов сформирован раструб 9.

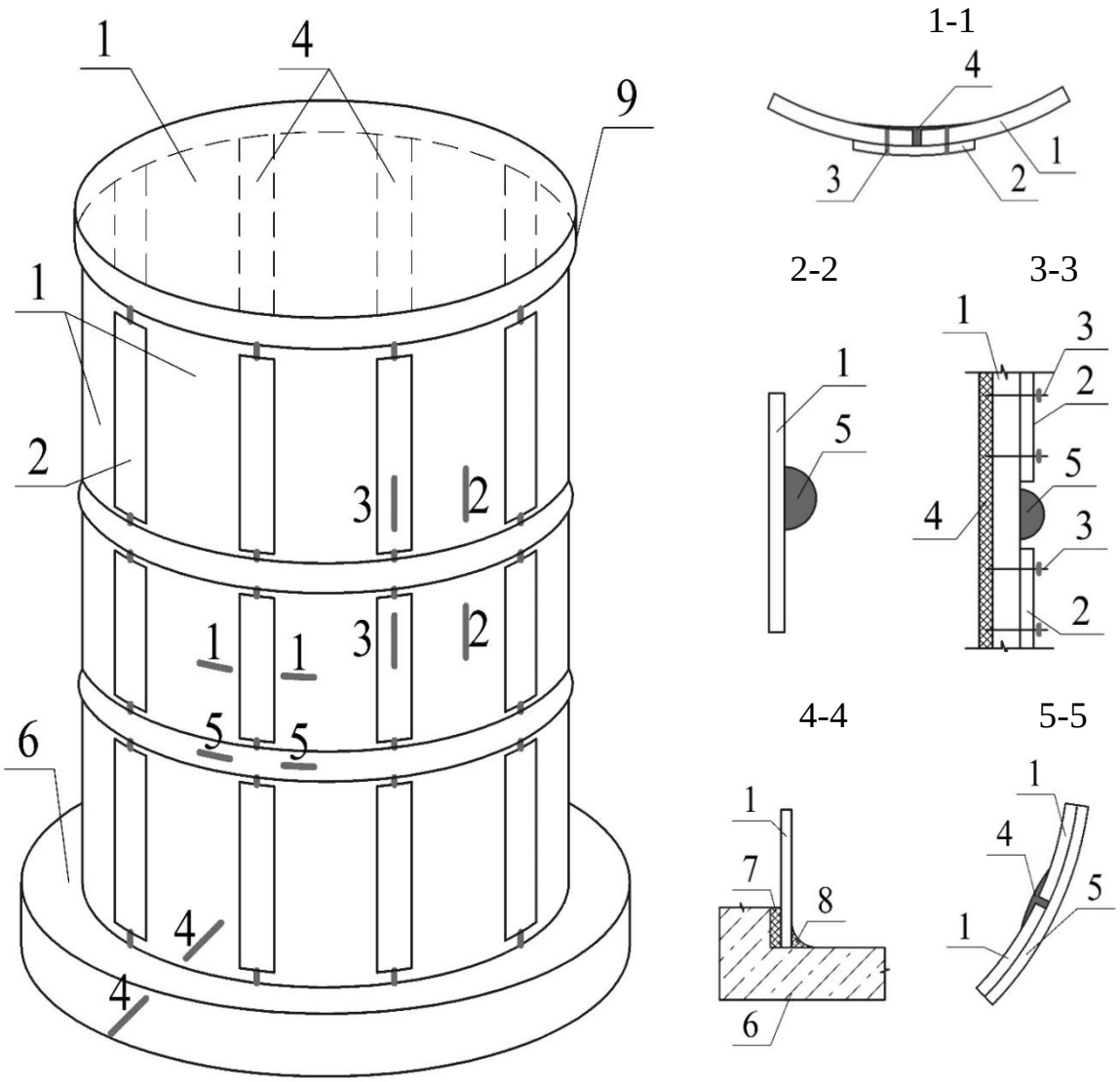


Рис. 4. Сборная вертикальная емкость

При работе оболочки под внутренним давлением окружные усилия воспринимаются совместно клеевым соединением накладки 2 с кромками сегментов 1, внутренним бандажом 4 и круговыми бандажами 5, за счет чего такая оболочка имеет повышенную прочность.

Вместо соединения сегментов с накладками можно применить их соединение внахлестку [10].

Из анализа изложенного следует, что для сборных вертикальных емкостей наиболее целесообразным является стык сегментов с применением накладок или внахлестку.

Библиографический список

1. Маллинсон, Дж. Применение изделий из стеклопластиков в химических производствах / Дж. Маллинсон; пер. с англ.; под ред. В.И. Альперина, С.М. Перлина. – М.: Химия, 1973. – 240 с.

2. Асташкин, В.М. Методы реконструкции и ремонта дымовых труб / В.М. Асташкин Д.А. Маликов, М.В. Мишнев // Вестник ЮУрГУ. Серия: «Строительство и архитектура». – 2012. – № 38 (297). – Вып. 15. – С. 14–18.

3. Мишнев, М.В. Основные принципы технологии изготовления и возведения дымовых труб из полимерных композиционных материалов способом вертикальной намотки с подращиванием / М.В. Мишнев, В.М. Асташкин, Д.А. Маликов, А.С. Королев, Ф.А. Зырянов // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 3. – URL: http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1837.

4. Патент на ПМ 30912 РФ, МПК F16 L 9/22, E 04 H 7/02. Сборная цилиндрическая оболочка из композиционного материала / В.М. Асташкин, В.А. Пазущан, Д.А. Громов. – Заявлено 31.01.2003; опубл. 10.07.2003, Бюл. № 19. – 5 с.

5. Патент на ПМ 115033 РФ, МПК F16L 9/00. Сборная стеклопластиковая цилиндрическая оболочка / К.А. Горелый, Е.В. Малютин, А.З. Хананнов и др. – Заявл. 23.11.2011; опубл. 20.04.2012, Бюл. № 11. – 6 с.

6. Патент на ПМ 147985 РФ, МПК F16L/9/00. Сборная стеклопластиковая цилиндрическая оболочка / С.Б. Шматков, В.М. Асташкин, С.Ю. Ветохин и др. – Заявл. 22.07.2014; опубл. 20.11.2014, Бюл. № 32. – 7 с.

7. Патент 2051037 РФ, МПК В 29 С 43/20. Способ изготовления выпуклых изделий из стеклопластика и устройство для его осуществления / В.М. Асташкин, В.А. Пазущан, М.В. Асташкин. – Заявлено 04.12.91; опубл. 27.12.95, Бюл. № 36. – 6 с.

8. Дымовые трубы и элементы газоотводящих трактов из полимерных композиционных материалов: монография / В.М. Асташкин, В.С. Жолудов, А.З. Корсунский и др.; под ред. Б.В. Гусева и К.А. Горелого. – Челябинск: «Аб-рис-принт», 2011. – 155 с.

9. Руководство по проектированию, расчету и методам контроля газоходов и ванн из бипластмасс / В.М. Асташкин, С.Г. Иванов, Н.С. Кувшинов, В.В. Продайко; под ред. В.М. Асташкина. – М.: ЦБНТИ ММСС СССР, 1979. – 122 с.

10. Сборные стеклопластиковые резервуары производства ЗАО «Traidenis». – URL: www.traidenis.com.

К содержанию

УДК 624.04 + 69.056.52/.53 + 693.9

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА МОНТАЖА 26-ЭТАЖНОГО КРУПНОПАНЕЛЬНОГО ДОМА ИЗ ИЗДЕЛИЙ ЗАВОДА «БЕТОТЕК»

А.Х. Байбурин, Е.В. Румянцев, М.А. Беляк, Я.К. Разумова

Приведены данные о результатах контроля качества монтажа высотного крупнопанельного дома. Определены уровни дефектности по некоторым параметрам качества. Исследовано влияние дефектов на прочность платформенных стыков крупнопанельных зданий. Установлено, что наблюдаемые дефекты могут приводить к значительному снижению несущей способности конструкций.

Ключевые слова: дефекты, качество, крупнопанельное здание, платформенный стык, несущая способность.

В нашей стране на протяжении многих лет проводились исследования качества возведения крупнопанельных зданий. Результаты исследований в совокупности составляют достаточно большой массив данных. В работе [1] было показано, что случайные неточности монтажа, выражаемые в смещениях осей смежных по высоте стеновых панелей, не превышают 3 см. При этом физические эксцентриситеты в стенах зданий высотой 10–16 этажей меньше нормируемых значений и не превышают 1 см. Толщина горизонтальных растворных швов значительно отличается от проектных размеров и варьируется в пределах от 5 до 30–40 мм. Полные деформации сжатия растворных швов при эксплуатации могут в два раза превзойти значения деформаций при монтаже. Деформации сдвига в вертикальных стыках могут достигать 2–3 мм, что приводит к значительному раскрытию трещин в швах.

Исследования панельных зданий в процессе их возведения и эксплуатации, проведенные В.А. Беккером [2], показали, что в платформенных стыках наблюдается следующее распределение дефектов: 47 % – некачественное заполнение вертикальных швов между плитами перекрытий; 36 % – дефекты горизонтальных швов (пониженная прочность раствора, увеличенная толщина и некачественное заполнение швов); 10 % – недостаточная глубина опирания плит перекрытий. Трещины шириной раскрытия более 0,4 мм были обнаружены в 74 % наружных и 26 % внутренних стеновых панелях. Дефекты платформенных стыков приводят к обмятию слабейших элементов шва, появлению трещин в элементах и швах в результате неблагоприятного перераспределения усилий в несущей системе здания.

В результате контроля качества возведения 10-ти и 16-ти этажных крупнопанельных зданий серий 121 и 97 с шагом поперечных стен от 3 до 4,5 м обнаружены следующие дефекты [3]:

1) утолщение растворных швов в среднем на 9 мм, максимально до 40 мм (частота дефекта 37 %, что совпадает с данными В.А. Беккера);

2) снижение прочности раствора в швах в среднем на 10 % (частота дефекта 2 %);

3) снижение глубины опирания плит перекрытий в платформенных стыках в среднем на 6 мм, максимально до 25 мм (частота дефекта 32 %);

4) снижение прочности бетона замоноличивания стыков (с класса В15 до В12,5) или необоснованная замена бетона на раствор М150;

5) неполное замоноличивание шпоночных бетонных соединений, приводящие к исключению из работы до 30–50 % шпонок;

6) дефекты устройства стальных связей в виде неполномерных сварных швов, неплотного их замоноличивания, эквивалентные уменьшению диаметра связи на 10 %.

Для исследования влияния обнаруженных дефектов были составлены конечно-элементные расчетные схемы [3], в которых платформенный стык моделировался прямоугольными и треугольными пластинчатыми элементами. В результате расчетов было установлено, что при дефектах устройства стыка главные напряжения в растворных швах увеличиваются на 10–18 %. Напряжения в бетоне нижней стеновой панели возрастают на 15 %, а на концевых участках панелей перекрытий – на 3 %.

Натурные исследования дефектов были продолжены в 2015 году при возведении в г. Челябинске двух 26-этажных панельных зданий из изделий завода «Бетотек». Наружные стены в направлении цифровых осей несущие толщиной 410 мм в подвале и на 1-м этаже, толщиной 380 мм на 2–14 этажах и 350 мм выше 14-го этажа. Наружные стены в направлении буквенных осей самонесущие толщиной 350 мм по всей высоте здания. Внутренние стены с шагом 3,2 и 3,6 м толщиной 200 мм в подвале и 1–9 этажах, толщиной 180 мм на 10–14 этажах и 160 мм выше 14-го этажа. Плиты перекрытий с опиранием на три стороны толщиной 160 мм. Вертикальные стыки образованы с помощью тросовых петель фирмы PEIKKO с заполнением безусадочным бетоном В30. Марка раствора швов 200.

По результатам строительного контроля параметров качества монтажа 13-ти этажей получены статистические данные (табл. 1). Из данных табл. 1 видно, что наблюдаются значительные отклонения толщины растворной постели и глубины опирания плит перекрытий. Уровень дефектности по этим параметрам равен 0,728 и 0,621 соответственно. Вместе с тем, другие отклонения фактического планово-высотного положения сборных элементов находятся в пределах допуска.

Качественно схожие данные были получены при строительном контроле 18-этажного панельного жилого дома 97-й серии, возводимого в микрорайоне «Академ-Сити» в г. Челябинске.

По данным измерительного контроля были построены гистограммы и определены законы распределения случайных величин параметров (рис. 1). Интегрированием функций распределения, ограниченных пределами допусков, были получены уровни дефектности (частота дефекта).

Таблица 1

Статистические данные строительного контроля

Параметр качества	Среднее, мм	Стандарт, мм	Min...max, мм	Допуск, мм	Частота дефекта
Отклонение панелей стен от осей	1,37	1,17	0...8	8	0
Отклонение панелей стен от вертикали	0,74	0,86	0...11	10	0,001
Толщина растворной постели панелей стен	22,2	3,68	15...35	10–30	0,034
Глубина опирания плит перекрытий	90,3	9,50	58...120	90±5	0,621
Толщина растворной постели перекрытий	22,9	4,79	8...40	10–20	0,728
Отклонение отметок плит перекрытий	–2,94	2,49	–12...10	±10	0,001

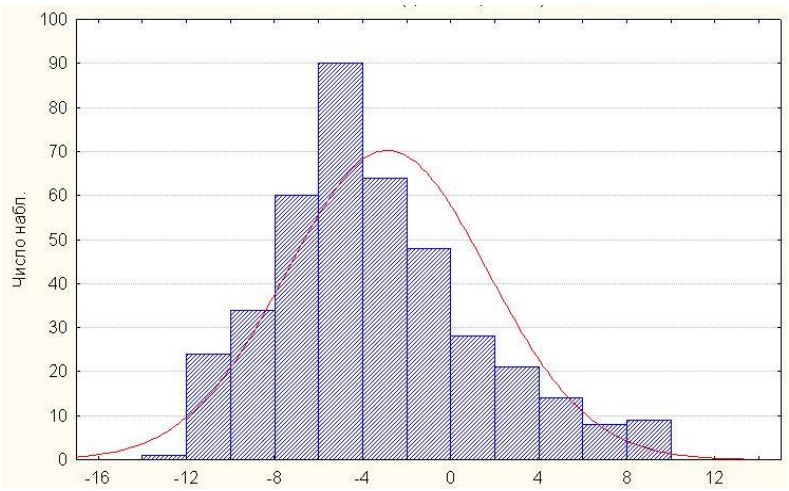


Рис. 1. Гистограмма отклонений высотных отметок плит перекрытий

Построенные по полученным данным контрольные карты Шухарта (рис. 2) позволили сделать выводы от точности процессов монтажа по двум критериям: стабильности среднего значения параметра и величинам разброса. По карте рис. 2 установлено, что отклонение отметок плит перекрытий находится в пределах допуска, однако величина разброса этого параметра в пяти случаях превысила контрольные границы.

Для определения снижения прочности платформенного стыка с учетом дефектов монтажа используем выражение, рекомендуемое нормами [4]:

$$R_c = R_{bw}\left(1-\frac{(2-t_m/b_m)t_m/b_m}{1+2R_m/B_w}\right)\cdot\left(\frac{b_{pl}-\delta_{pl}}{t}\right)\gamma_{pl}\eta_{pl}, \qquad (1)$$

где R_{bw} – прочность бетона стены при сжатии; t – толщина стены; t_m – толщина растворного шва; R_m – прочность раствора; B_w – класс по прочности на сжатие бетона стены; b_m – ширина растворного шва; b_{pl} – суммарная ширина платформенных площадок; δ_{pl} – суммарное смещение в платформенном стыке плит перекрытий; γ_{pl} – коэффициент, учитывающий неравномерность загружения платформенных площадок; η_{pl} – коэффициент, учитывающий соотношения прочностей бетона стены и опорных участков плит перекрытий.

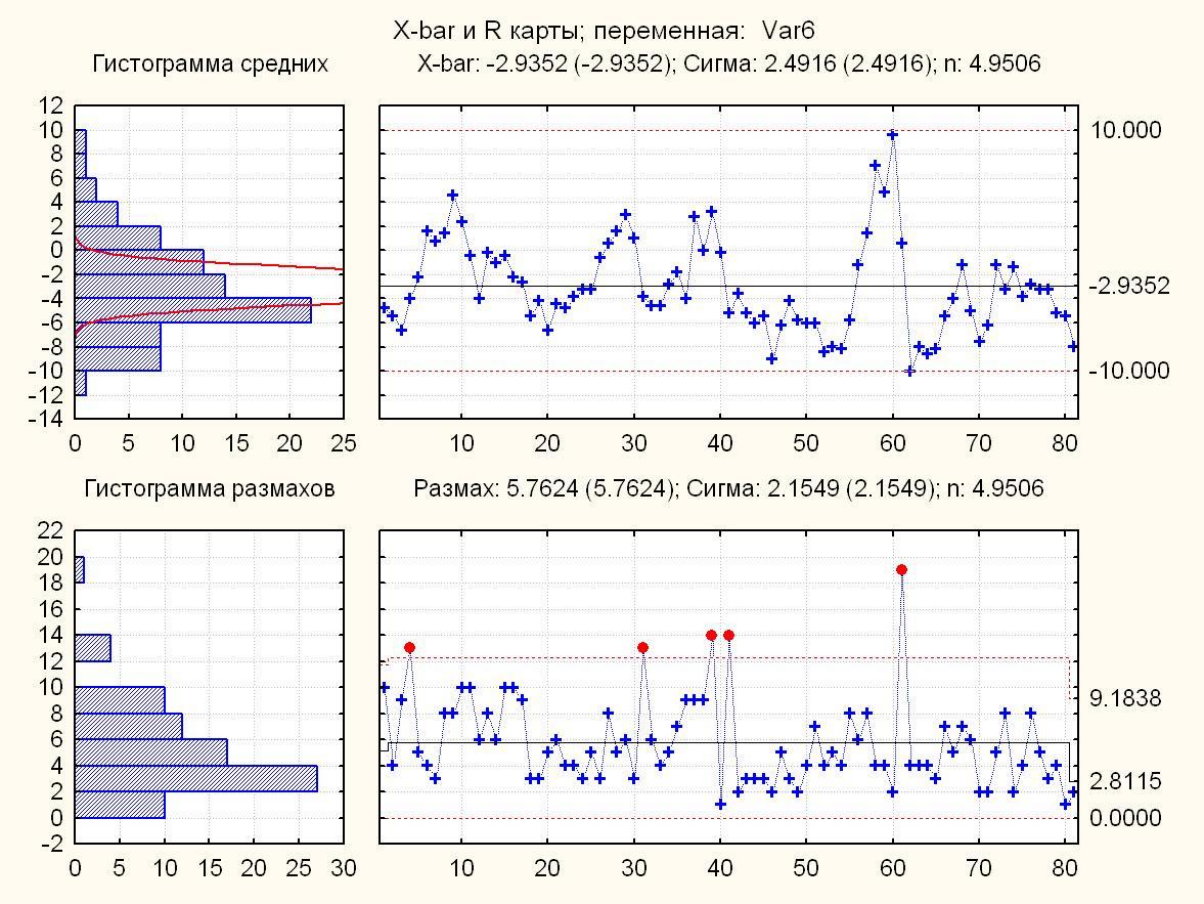


Рис. 2. Контрольная карта Шухарта по отметкам плит перекрытий

Второй сложный множитель формулы (1) представляет собой коэффициент, учитывающий влияние горизонтальных растворных швов. Третий сложный множитель учитывает конструктивный тип стыка, неравномерность распределения сжимающей нагрузки между опорными площадками и эксцентриситет продольной силы.

Результаты расчетов по формуле (1) стыков с различными дефектами приведены в табл. 2. Категория значимости дефектов, указанная в табл. 2, классифицировалась по ГОСТ 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения» в рамках установленных границ понятий.

Таблица 2

Снижение прочности платформенного стыка при дефектах

Вид дефекта	Величина дефекта, %	Снижение прочности стыка		Значимость дефекта
		ВС	НС	
Снижение прочности бетона стеновой панели	10	0,930	0,908	значительный
	20	0,844	0,802	критический
	30	0,736	0,695	критический
Снижение прочности бетона плит перекрытий	10	0,953	0,978	малозначительный
	20	0,892	0,923	значительный
	30	0,819	0,858	критический
Снижение прочности раствора горизонтальных швов	20	0,980	0,955	малозначительный
	50	0,937	0,859	значительный
	100	0,789	0,492	критический
Увеличение толщины горизонтальных швов	20	0,972	0,955	малозначительный
	50	0,932	0,899	значительный
	100	0,872	0,836	критический
Увеличение смещения сборных элементов в стыке	50	0,942	0,868	значительный
	100	0,884	0,736	критический
	200	0,769	0,472	критический

Данные табл. 2 в отличие от классификатора дефектов [5], применяемого в системе Госстройнадзора, позволяют дифференцировать дефекты по степени значимости не только по виду, но и по значению отклонения.

Заключение. По результатам строительного контроля параметров качества монтажа 26-этажного дома установлены значительные отклонения толщины растворной постели и глубины опирания плит перекрытий. Уровень дефектности по этим параметрам равен 0,728 и 0,621 соответственно. Другие измеренные отклонения фактического планово-высотного положения сборных элементов находятся в пределах допуска. Построенные по результатам измерений гистограммы и контрольные карты позволили всесторонне изучить изменчивость параметров качества.

Влияние обнаруженных дефектов определялось подстановкой соответствующих значений параметров в формулу прочности платформенного стыка, рекомендуемую строительными нормами.

Установлено, что хотя снижение прочности раствора не оказывает существенного влияния на прочность стыков, при быстрых темпах возведения (этаж за 6 дней) этот параметр может оказаться критическим.

Среди наблюдаемых дефектов наиболее опасными являются утолщение растворных швов и увеличение смещения сборных элементов в стыке. При увеличении толщины швов в два раза прочность стыка снижается на 13–16 %. При взаимном неблагоприятном смещении сборных элементов в стыке с увеличением нормативных допусков на 50 % прочность стыка снижается на 6–13 %. Полученные данные позволили уточнить классификатор дефектов монтажа, применяемый в системе Госстройнадзора.

Библиографический список

1. Шапиро, Г.А. Оценка качества изделий и монтажа крупнопанельных зданий по результатам прочностных натурных испытаний / Г.А. Шапиро, Б.В. Сендеров, М.Я. Фрайнт. – М.: Стройиздат, 1976. – 97 с.

2. Беккер, В.А. Разновидности и повторяемость дефектов и повреждений панельных зданий на основе результатов натурных исследований / В.А. Беккер, А.Н. Нарушевич // Известия вузов. Строительство. – 2005. – № 8. – С. 97–99.

3. Байбурин, А.Х. Обеспечение качества и безопасности возводимых гражданских зданий: научное издание / А.Х. Байбурин. – М.: Изд-во АСВ, 2015. – 336 с.

4. Пособие по проектированию жилых зданий. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). – М.: Стройиздат, 1989. – 304 с.

5. Классификатор основных видов дефектов в строительстве и промышленности строительных материалов / Госстрой России. – М.: Изд-во «Архграсс», 1993. – 48 с.

К содержанию

УДК 378.146.018+37.02

ВОЗМОЖНОСТИ СДО MOODLE В ПОДГОТОВКЕ И ПРОВЕДЕНИИ ИТОГОВОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АТТЕСТАЦИИ СТУДЕНТОВ ПРОФИЛЯ «ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ»

М.Ю. Белканова

Подготовлен учебный курс для подготовки и проведения государственного экзамена в форме on-line тестирования на базе учебной платформы с открытым кодом СДО Moodle. Статистическая обработка результатов тестирования выявила надежность, гомогенность теста. Подготовка и проведение государственного экзамена в системе дистанционного образования позволяет повысить качество подготовки студента, сократить затраты времени студента и преподавателей для подготовки и проведения государственного экзамена, улучшить мотивационно-эмоциональную сторону обучения.

Ключевые слова: on-line тестирование, статистическая проверка, дистанционное обучение, система дистанционного обучения Moodle.

Основная образовательная программа бакалавров направления «Строительство» предполагает наличие итоговой государственной аттестации студентов, которая включает государственный экзамен и защиту выпускной квалификационной работы. Государственный экзамен состоит из двух этапов: тестирование и решение творческой задачи. Тестирование включа-

ет вопросы по основным профильным дисциплинам учебного плана. Была поставлена задача подготовить и реализовать on-line тестирование для проведения государственного экзамена.

Разработка компьютерных средств обучения позволяет: повысить индивидуальность подготовки, например, индивидуальный темп обучения; обеспечить оперативный контроль различного уровня (пошаговый, поэтапный, итоговый) с предоставлением информации о результатах студенту и преподавателю в разной степени детализации; использовать широкие функциональные возможности системы дистанционного обучения [1].

В 2014–2015 учебном году кафедрой «Водоснабжение и водоотведение» подготовлен курс «Государственный экзамен» на учебной платформе с открытым кодом СДО Moodle. Курс состоит из трех разделов. Первый раздел содержит описание курса, перечень дисциплин, подлежащих контролю, критерии оценивания результатов теста и вопросы для самоподготовки. Во втором разделе имеется пробный тест из 20 вопросов, который позволяет познакомиться с тестовой оболочкой, изучить навигацию теста и самостоятельно оценить уровень своей подготовки. Результаты прохождения пробного теста доступны студентам и не учитываются при формировании итоговой отметки за государственный экзамен. Третий раздел содержит экзаменационный тест из 70 вопросов и становится доступным для прохождения в день экзамена (устанавливается преподавателем курса). Доступ студентов к материалам курса авторизованный через сеть Интернет.

Банк заданий в тестовой форме подготовлен с учетом требований тестологии [1, 2] по профессиональным дисциплинам «Водозаборные сооружения с основами гидрологии и гидрометрии», «Водопроводные сети», «Очистка природных вод», «Сети водоотведения», «Очистка сточных вод», «Основы промышленного водоснабжения и водоотведения», «Формирование и очистка поверхностного стока», «Санитарно-техническое оборудование зданий».

Выполнена статистическая обработка результатов тестирования. Построена упорядоченная матрица ответов студентов, сдававших экзамен в форме тестирования. В исходных данных реализовано политомическое оценивание задания, которое было преобразовано в дихотомическое (0 – если задание выполнено неверно, 1 – если верно).

Определены первичные баллы участников и первичные баллы заданий. Для определения качества теста в целом построена гистограмма первичных баллов участника (рис. 1).

По первичным баллам студентов вычислены следующие показатели: средняя (41), дисперсия (115,6), стандартное отклонение (10,75), асимметрия (-0,647). Асимметрия распределения первичных баллов студентов близка к нулю и имеет отрицательное значение. Это означает, что тест сбалансирован по трудности заданий с некоторым смещением в сторону более легких заданий.

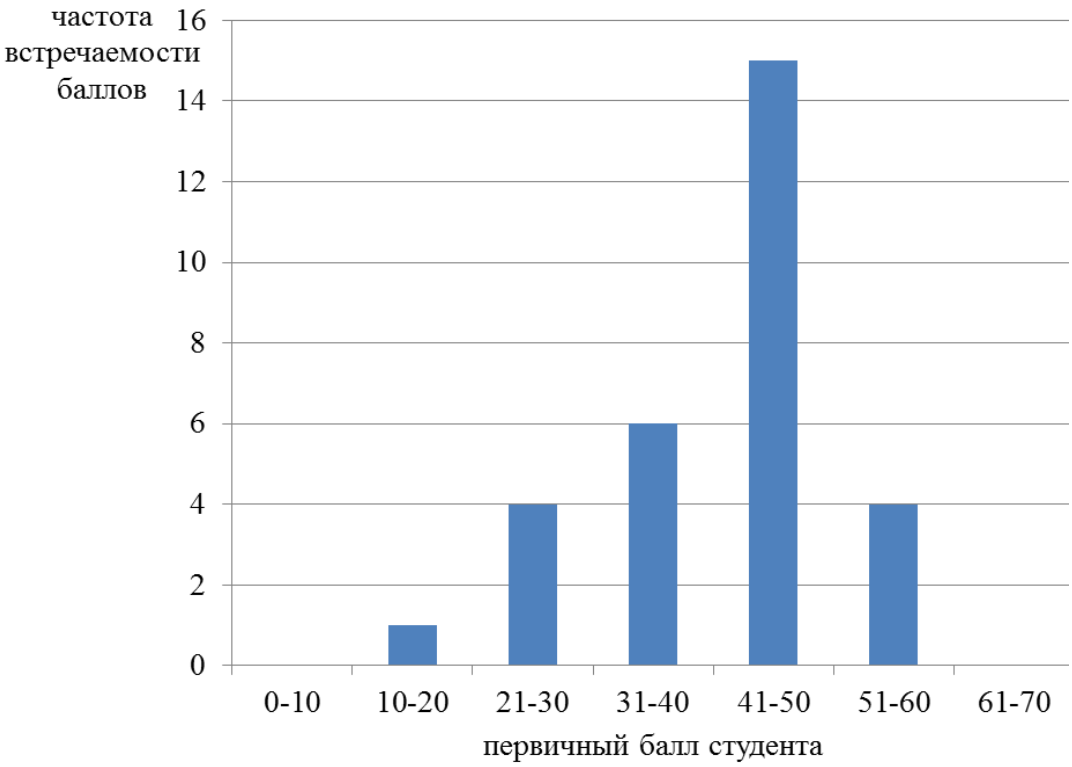


Рис. 1. Гистограмма первичных баллов участников

Для нормативно-ориентированных тестов необходимо, чтобы распределение первичных баллов было максимально близким к нормальному. Для проверки гипотезы о нормальном распределении используем приближенное соотношение 3Sx≈средняя. В нашем случае 3Sx=32,36. Средняя составляет 41,00, значит, распределение близко к нормальному.

Для оценки надежности теста рассчитан коэффициент надежности, который определяется как корреляция между строго параллельными тестами. Поскольку тест предъявлялся однократно, то для оценки использовали метод расщепления пополам: тестовые задания ранжированы по трудности, затем разделены на четные и нечетные. Таким образом, исходный тест разбит на два теста, A и B, с одинаковым содержанием по трудности и количеству заданий.

Рассчитан коэффициент корреляции между частями A и B и скорректирован по формуле Спирмена-Брауна:

$$r_{XX'} = 1 - \frac{2 \cdot r_{AB}}{1 + r_{AB}},$$

где $r_{XX'}$ – коэффициент надежности, r_{AB} – коэффициент корреляции между частями A и B, рассчитывается как критерий Пирсона между двумя наборами результатов тестирования.

Рассчитан коэффициент надежности по формуле Рюлона:

$$r_{XX'} = 1 - \frac{S_D^2}{S_X^2},$$

где S_D^2 – дисперсия заданий; S_X^2 – дисперсия первичных баллов.

Вычислен коэффициент альфа Кронбаха:

$$\alpha = \frac{k}{k-1}\left(1 - \frac{S_i^2}{S_X^2}\right),$$

где k – число заданий в тесте; S_X^2 – дисперсия задания; S_X^2 – дисперсия по баллам.

Результаты расчета и выводы по ним представлены в таблице. Различные варианты расчета показали, что тест является гомогенным, внутренне согласованным, надежность теста не ниже 89, 72 %.

Трудность задания оценивалась как доля студентов, правильно ответивших на задание. Для нормативно-ориентированных тестов оптимальная трудность задания равна 0,5. Такая трудность позволяет максимизировать дисперсию тестовых оценок. Исключению из теста подлежат слишком трудные и слишком легкие задания (трудность 0 и 1 соответственно). Такие задания отсутствуют.

Таблица

Результаты расчета и выводы

Вариант расчета	Результат расчета	Референтные значения	Вывод
Коэффициент корреляции по формуле Спирмена-Брауна ($r_{XX'}$)	0,9195	0,8…0,9	Тест внутренне согласован, однороден
Метод Рюлона	0,9193		Тест внутренне согласован, однороден
Альфа Кронбаха (коэффициент надежности теста)	0,8972	$\alpha \leq r_{XX'}$	Надежность теста не ниже 89,72 %

Анализ гистограммы распределения заданий по трудности (рис. 2) показывает, что в тесте присутствуют задания различной трудности, однако, преобладают легкие: 30 заданий из 70 (43 %) имеют трудность не менее 0,8. Заданий с трудностью 0,2 и менее оказалось 15 %.

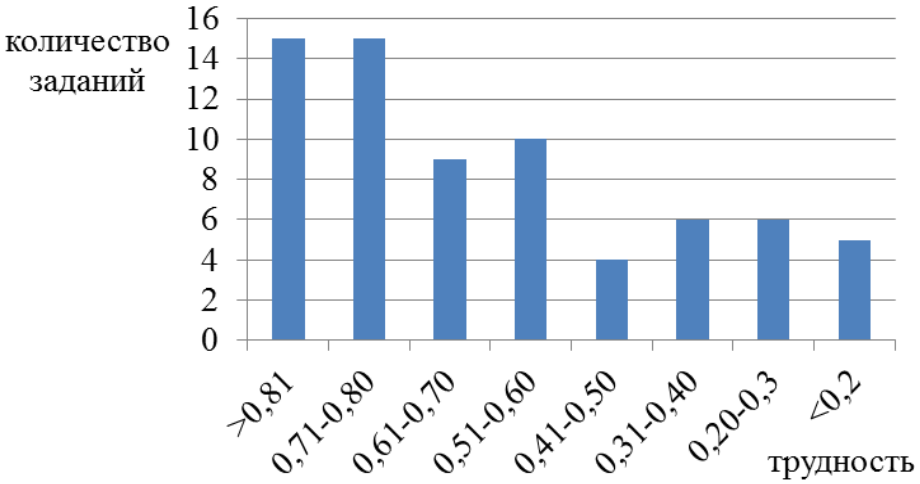


Рис. 2. Гистограмма распределения заданий по трудности

Подготовка и проведение итоговой государственной аттестации в системе дистанционного образования Moodle позволяет повысить качество подготовки студента, сократить затраты времени студента и преподавателей для подготовки и проведения государственного экзамена, улучшить мотивационно-эмоциональную сторону обучения. Статистическая обработка результатов тестирования показала надежность, однородность теста.

Библиографический список

1. Красильникова, В.А. Теория и технологии компьютерного обучения и тестирования / В.А. Красильникова. – М.: Дом педагогики, ИПК ГОУ ОГУ, 2009. – 339 с.

2. Аванесов, В.С. Форма тестовых заданий / В.С. Аванесов. – М.: Центр тестирования, 2005. – 156 с.

К содержанию

УДК 711.5(470.55) + 712(470.55) +711.4(470.55)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА В ГОРОДЕ ЧЕЛЯБИНСКЕ И ЕГО ОКРЕСТНОСТИ

С.А. Белов

В работе рассмотрены основные элементы ландшафтно-экологического каркаса Челябинской городской агломерации, его состояние. На разном пространственном уровне предложены рекомендации по перспективному развитию каркаса относительно малоизмененных человеком территорий в г. Челябинске и его окрестностях и их влиянии на современную планировку и застройку территории.

Ключевые слова: ландшафтно-экологический каркас, рекреация, антропогенная трансформация, агломерация, ландшафтная экология.

В настоящее время все больше уделяется внимание экологии городской среды и развитию экологически ориентированного строительства в контексте устойчивого развития. Под устойчивым развитием понимается единая концепция развития социума на основе гармоничного сосуществования с естественной средой.

Большинство крупных городских агломераций чаще всего не являются зонами с гармоничным развитием, так как представлены очень изменчивой и многоукладной искусственной средой, где население живет в условиях весьма большой плотности на ограниченных территориальных ресурсах. Развивая материально-техническую инфраструктуру, общество все в большей степени создает для себя оптимальные условия: поддержание санитарно-гигиенических и технических удобств и многое другое.

Таким образом, формируется специфическая социокультурная среда обитания. Однако поддержание довольно комфортных ее условий требует внесения в урбоэкосистему дополнительных потоков вещества и энергии, что порождает нарушение природных круговоротов вещества в природе и в частности в неспособности компонентов геосистем в полной мере перерабатывать формируемые городом загрязнения.

Следовательно, происходит постоянное накопление вредных веществ в городской среде, что начинает сказываться на здоровье населения. К тому же современная архитектура весьма отличается от сглаженных не агрессивных цветов, тонов и контуров естественных территории, что вызывает психологический дискомфорт и эффект «каменных» джунглей.

Нейтрализовать или уменьшить вредное воздействие загрязнений и улучшить психологический климат в городе могут сохранившиеся в той или иной степени природные и природно-антропогенные объекты с отно-

сительно хорошим экологическим состоянием: лесные массивы, лесопарки, городские парки и скверы, реки и озера, водохранилища, лесопосадки.

Сохранив участки природных территорий и, организовав дополнительные культурные ландшафты, особенно в спальных районах и у промпредприятий, можно организовать основу ландшафтно-экологического каркаса Челябинской агломерации, состоящий из сети территорий, играющих средообразующую роль, то есть способных улучшать прилегающие к ним районы города.

Таким образом, цель исследования – организация ландшафтно-экологического каркаса города, для оптимизации градостроительной деятельности.

Возникает вопрос в грамотной трактовке экологического и, в частности, ландшафтно-экологического каркаса. Он может характеризоваться как природно-антропогенная система, состоящая из относительно мало измененных территорий, окруженных санитарными буферными зонами и транспортных, как правило, линейных коридоров, соединяющих их между собой в единый «скелет» территории.

В основе экологического каркаса любой территории лежит ряд критериев-принципов, сопряженных между собой, в основе которых опирается на незыблемые законы и закономерности экологии [1].

В территориальном плане ландшафтно-экологический каркас во многом повторяет контуры ландшафтов как единиц физико-географического районирования и их морфологических элементов, что может говорить о его иерархичности. Современные ученые выделяют несколько пространственных уровней ландшафтно-экологического каркаса. Например: общероссийский, региональный, районный и местный.

В пределах крупных городов можно выделить именно местный уровень организации ландшафтно-экологического каркаса, который также как и малые морфологические элементы ландшафта, очень динамичен, изменчив и легко раним.

Следовательно, говорить об ландшафтно-экологическом каркасе как о природной составляющей города в полной мере не приходится, так как на практике выходит, что в лучшем случае ядра и транспортные коридоры являются природно-антропогенными и весьма легко изменяемыми территориями с относительно малыми размерами. А недостаток отдельных ядер или транспортных коридоров очень часто ставит под сомнение вообще выделение целого скелета относительно мало измененной территории в пределах крупных городских агломераций.

Соответственно, что для функционирования ландшафтно-экологического каркаса необходимо выделить не только имеющиеся относительно экологически чистые районы, но и обосновать необходимость создания дополнительных элементов каркаса.

В пределах города Челябинска выделяется ряд территорий, которые играют роль элементов зеленного «скелета» Это, в первую очередь, Городской и Каштакский лесопарки, лесной массив на северо-западе, сеть парков, скверов, набережных и отдельных небольших рощиц [1]. Помимо этого ядрами каркаса являются озера Смолино, Первое, Второе, Синеглазово, Шершневское водохранилище.

Намного острее ситуация с транспортными коридорами, которые имеют очень плохую сформированность из-за малых размеров объектов и плохой экологии, если не считать реку Миасс, да ее почти полностью деградированные притоки с долинами и отдельными лесополосами.

Для формирования единой сети транспортных коридоров необходимо предусмотреть организацию не менее 15–20 новых транспортных коридоров, соединяющих водные объекты и лесные массивы (рис. 1).

Вокруг ядер каркаса должны быть организованы буферные территории (в связи с мелким масштабом карты Челябинской агломерации не показаны).

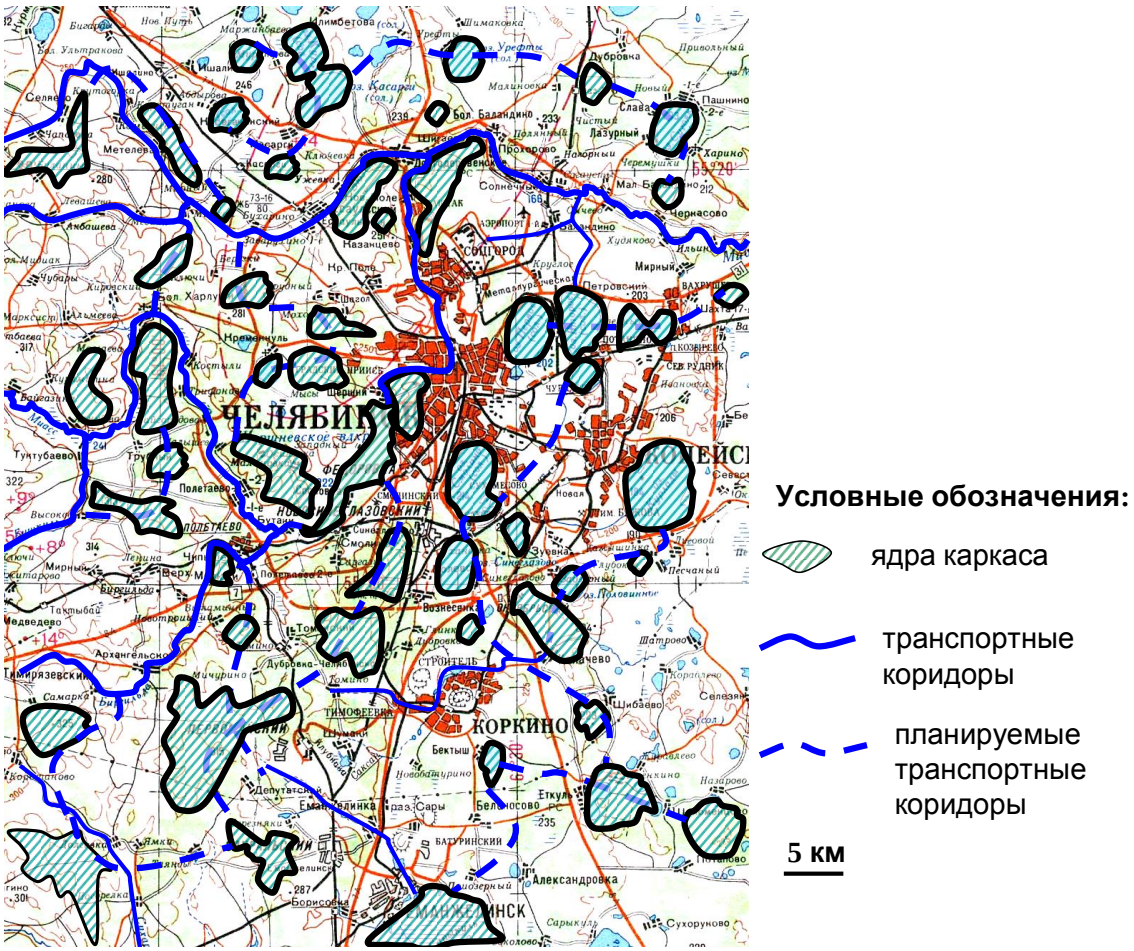


Рис. 1. Карта-схема организации и развития ландшафтно-экологического каркаса Челябинской городской агломерации

Между ядрами – в цепи транспортных коридоров – микроядра, но на практике, таких либо нет, либо они фрагментарны или находятся в очень плохом экологическом состоянии, что плохо отражается на выборе территорий под новую планировку и застройку, в первую очередь, загородных жилых комплексов.

В связи с тем, что многие элементы каркаса не только являются местами концентрации живого мира, но и несут в себе большую рекреационную роль, должны находиться вблизи мест проживания, учебы или работы основной части населения. Рекомендуемое расстояние, которое необходимо преодолеть от дома любого многоэтажного жилого микрорайона до озелененной территории или водоема не должно превышать 1 км, а в реальности местами составляет 2–4 км, что отражается на рисунке ландшафтно-экологического каркаса города Челябинска (рис. 2).

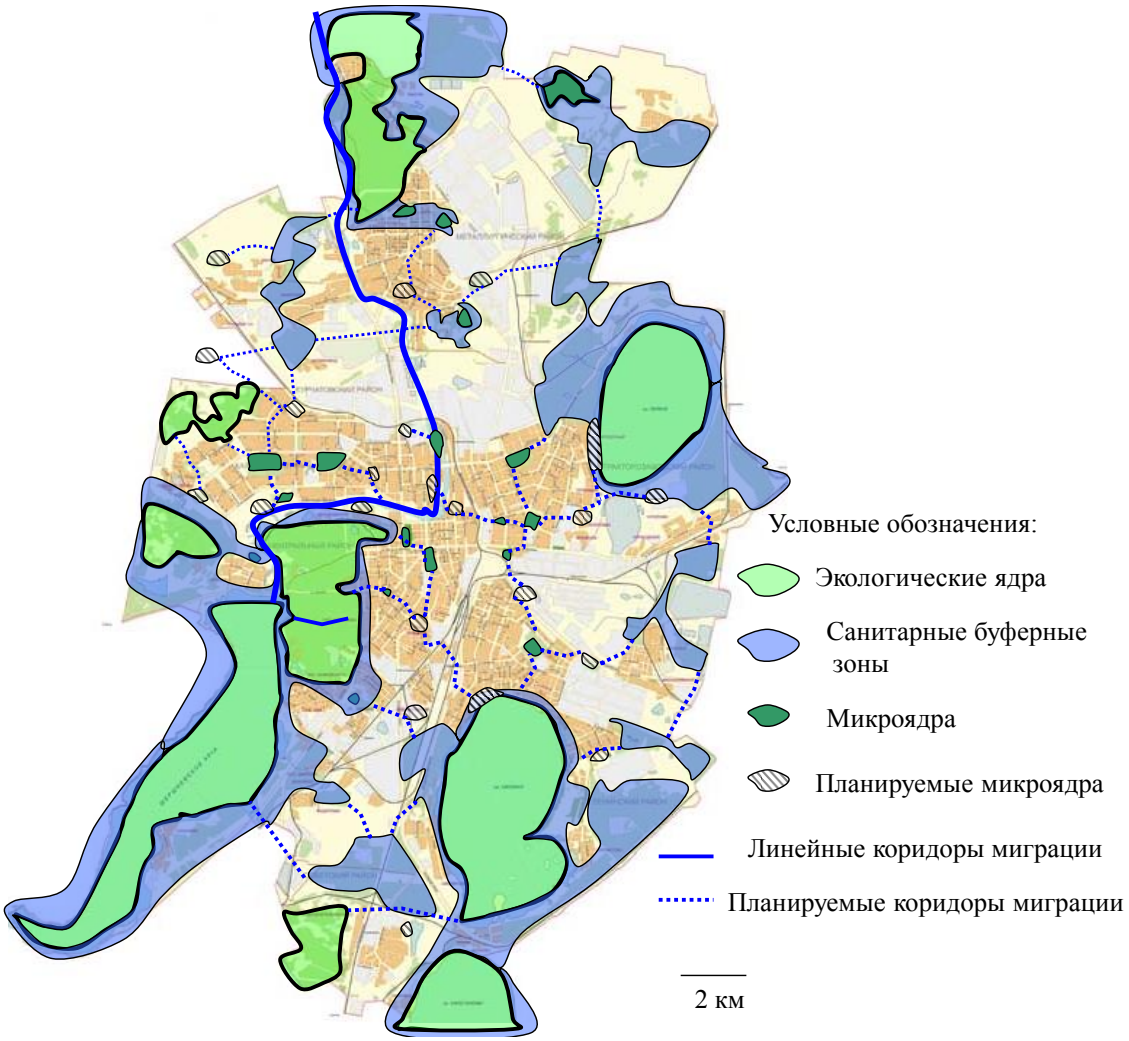


Рис. 2. Карта-схема организации и перспективного развития ландшафтно-экологического каркаса г. Челябинска

Используя полевые ландшафтно-экологические и картографические методы, в пределах границ города тоже, как и на примере окрестностей города, выделены существующие элементы каркаса.

Как видно по рисунку 2, основные его элементы весьма не равномерно рассредоточены по территории городской среды. Выделяется обилие озелененных и водных территорий в Центральном, отчасти Металлургическом районах, где ядрами каркаса служат лесопарки, и заметен острый дефицит элементов каркаса в Ленинском, Советском и Калининском районах. В Ленинском и Советском районе это связано с весьма плохим экологическим состоянием озелененных территорий, организованных в период 30–50-х годов XX века (частично стали восстанавливаться и благоустраиваться). А в Калининском районе отсутствие большого количества парков и скверов связано с очень плотной жилой застройкой территории, особенно в пределах Северо-западного жилого массива.

На основе учета физико-географической специфики и рекреационного анализа челябинской агломерации, предложены варианты размещения новых составляющих «скелета» природной территории (рис. 2.).

Стоит отметить, что не во всех случаях возможно проведение экологических коридоров, микроядер и буферных зон. В частности, не решен вопрос об их проведении через автомагистрали и очень крупные жилые комплексы с многоэтажной застройкой. Транспортных коридоров в пределах только города планируется около 35, а в его окрестностях – не менее 20. Планируемые микроядра, представленные в основном парками, скверами, садами, должны с учетом планировки микрорайонов и рекреации располагаться ближе, чем 2 км друг от друга (то есть учитывать пешую доступность). Новых микроядер и ядер планируется более 20 в городе и не менее 10 в пригороде, соответственно.

Большинство элементов каркаса характеризуются чрезмерно подверженными антропогенному воздействию и имеют 3–5 стадию рекреационной дигрессии.

Для гармоничного взаимодействия человека и природы в контексте устойчивого развития результат антропогенного влияния не должен приводить к необратимым процессам негативной трансформации среды. Это условие будет выполняться если элементы каркаса и, в первую очередь вновь проектируемые, будут характеризоваться 2-й, максимум 3-й стадией дигрессии, что реально при рекреационной нагрузке на озелененные территории не превышающей 15–30 чел/га. Данная рекреационная нагрузка отчасти соответствует лишь лесопарковым территориям.

По факту нагрузка от отдыхающих, особенно в парках и скверах в летнее время достигает 50–100 чел/га [2], что в несколько раз больше допустимых экологических нагрузок, а территория при этом характеризуется 4–5 стадией дигрессии и нуждается в постоянных санитарно-благоустроительных работах.

Помимо выделения ландшафтно-экологического каркаса окрестности и самого города, можно выделить районо-микрорайонный уровень организации сети природных и природно-антропогенных территорий. Ландшафтно-экологический каркас на указанном уровне представлен совокупностью лесных рекреаций, искусственных территорий, таких как садовые товарищества, парки, скверы, отдельные озелененные куртины. Это узлы местного ранга, представленные на примере Курчатовского района (рис. 3).

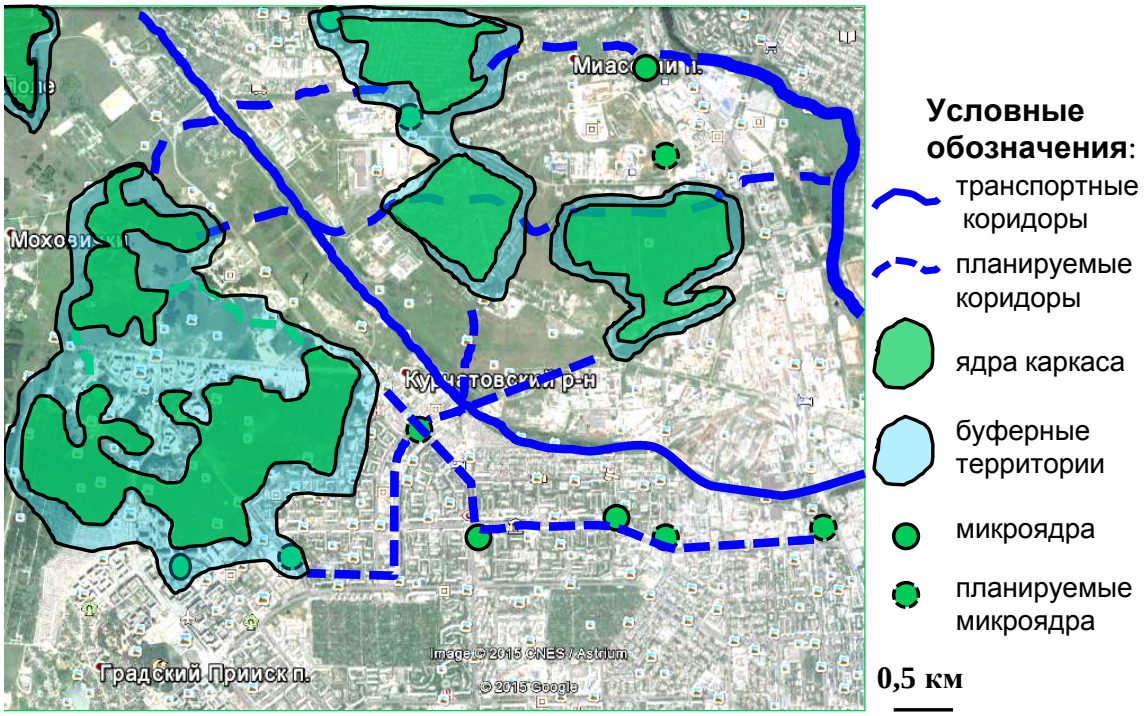


Рис. 3. Карта-схема организации и перспективного развития ландшафтно-экологического каркаса Курчатовского района

Транспортные коридоры на данном уровне представлены лесопосадками, аллеями, овражными системами и ложбинами. Буферные зоны, в основном, расположены вокруг лесных рекреационных зон. В жилом центре района находится северо-западный лесопарк и 2 сквера. По рисунку 3 видно, что с учетом территориальной рекреационной доступности лесопарка и скверов, представленных ядром и микроядрами, катастрофически не хватает, особенно в восточной и юго-восточной части района. В связи с этим, предложен вариант размещения новых микроядер и транспортных коридоров из расчета 10–15 минутной пешей доступности скверов и аллей от жилых домов (рис. 3). Соответственно при планировании элементов каркаса на районо-микрорайоном уровне, отдельные его звенья, в частности, микроядра и транспортные коридоры должны быть удалены друг от друга в жилой зоне на расстоянии не более 1 км. Планируется организация в Курчатовском районе не менее 5 новых микроядер, представленных скверами и не менее 7–8 новых транспортных коридоров.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что ландшафтно-экологический каркас городской агломерации не только имеет реальные границы и отдельные элементы, но и пространственную иерархическую дифференциацию, в основе которой лежит принцип ландшафтной структуры территории.

Однако на современном этапе экологического состояние каркаса желает координальных конструктивных изменений. Выделенные элементы каркаса являются своеобразным «остовом» природы города и должны влиять на выбор вариантов строительства жилой застройки с учетом пешей и транспортной доступности озелененных и обводненных территорий, а не встраиваться уже в сильно трансформированный техногенный ландшафт.

Библиографический список

1. Белов, С.А. Учет территориальной структуры экологического каркаса при планировке и застройке г. Челябинска / С.А. Белов // Наука ЮУрГУ: материалы 65-й научной конференции. Секции технических наук: в 2 т. – Челябинск: Издательский центр ЮУРГУ, 2013. – Т. 1. – С. 43–46.

2. СП 42.13330.2011. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* (утв. Приказом Минрегиона РФ от 28.12.2010 N 820) – М., 2011. – 114 с.

К содержанию

УДК 725.1 + 711.4

ГРАЖДАНСКИЕ ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Т.В. Беляева

Строительные чертежи являются сложной и своеобразной информационной моделью специалиста-строителя. На основе их чтения формируется образ возводимого строительного объекта. Чтение строительных чертежей служит важнейшим элементом профессионального труда строителей.

Ключевые слова: строительный чертеж, план этажа, масштаб, высотные отметки, координационные оси, здание, привязка.

Возведение зданий и сооружений производится по проектно-конструкторской документации, основу которой составляют строительные чертежи. Читать и выполнять строительный чертеж – дело сложное и одновременно интересное.

Прочесть чертеж – значит ясно представить формы сооружения и составляющих его элементов. При этом на строительных чертежах знакомятся с назначением здания, размерами сооружения, планами этажей, разрезами, конструкциями и материалами, надписями, поясняющими чертеж.

Строительные чертежи в отличие от машиностроительных чертежей из-за больших размеров изображаемых объектов, различных строительных материалов и конструкций отличаются разнообразием и специфическими особенностями графических обозначений. Это отражается на видах чертежей и применяемых на них типах линий, масштабах, условностях простановки размеров, специальных знаков и т.д.

При выполнении чертежей следует применять минимально допустимые масштабы изображений в зависимости от содержания и сложности чертежа, но при условии обеспечения удобства пользования чертежом и его копиями.

Согласно ГОСТ 21.501-80 строительные чертежи зданий рекомендуется выполнять в следующих масштабах (масштабом изображения называют отношение линейных размеров изображения предмета к его действительным размерам):

1. Планы этажей, разрезы, фасады –
1 : 50; 1 : 100; 1 : 200; 1 : 500
2. Фрагменты планов фасадов –
1 : 50; 1 : 100
3. Узлы –
1 : 5; 1 : 10; 1 : 20

Толщина контурных линий назначается в зависимости от вида и содержания чертежа. В разрезах, также как и на планах, видимые линии контуров, не попадающие в плоскость сечения, выполняются сплошной тонкой линией.

План этажа представляет собой горизонтальный разрез здания по линии оконных проемов. Чертеж плана дает представление о конфигурации здания, расположении всех помещений этажа, их связи между собой, размерах и форме, расположении лестниц, оконных и дверных проемов и т.п.

В различных отраслях промышленности, на плане этажа изображается размещение технологического оборудования, направление технологического потока и т.д.

План рекомендуется вычерчивать в такой последовательности: нанести сетку координационных (разбивочных) осей, затем вычертить наружные и несущие внутренние стены и перегородки в соответствии с правилами привязки их к координационным осям, показать оконные и дверные проемы, лестничные марши, санитарно-технические приборы, вентиляционные и дымовые каналы.

После этого нанести все необходимые наружные и внутренние размеры. Размеры на планах указываются в миллиметрах (рис. 1).

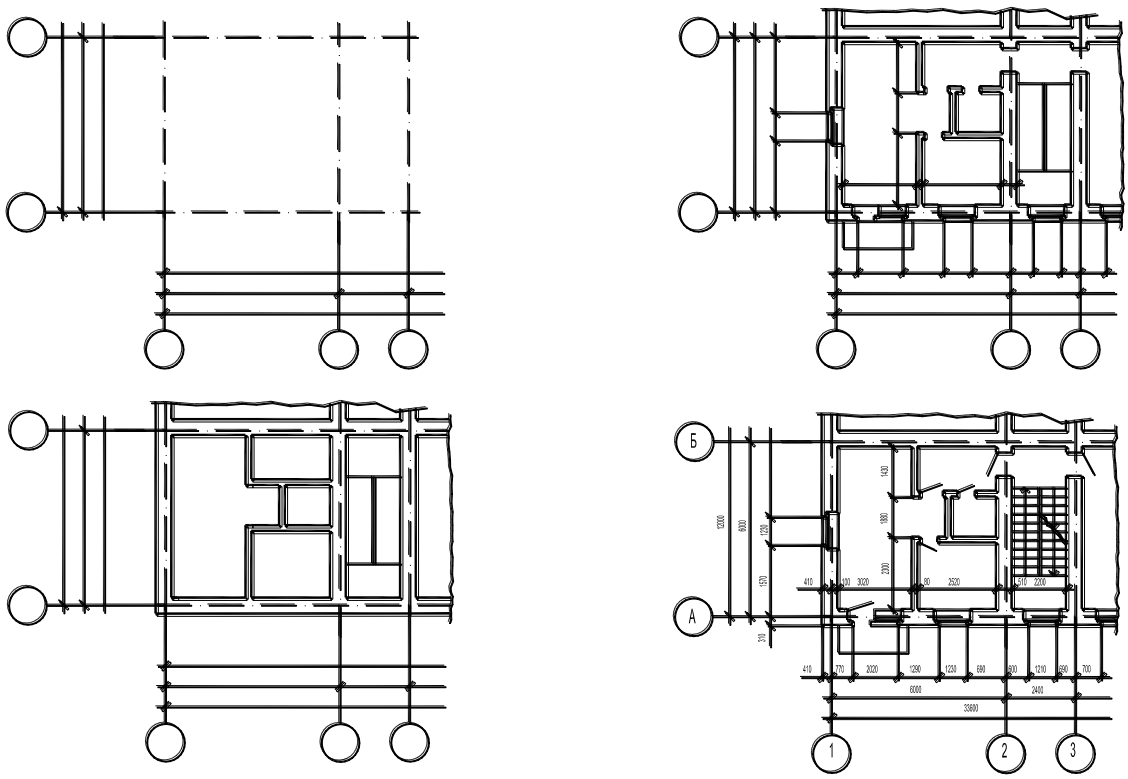


Рис. 1. План этажа

Внутри плана здания проставляют ширину, глубину каждого помещения, толщину стен и перегородок. На плане указывают название помещений и в правом нижнем углу проставляют их площадь (цифры подчеркиваются). Расстановка оборудования привязывается к внутреннему контуру стены.

Вне контура плана наносятся три линии (цепочки) размеров: на первой (считая от контура плана) – размеры проемов и простенков, с привязкой их к координационным осям; на второй – расстояния между осями; на третьей – расстояния между крайними координационными осями с привязкой их к наружной плоскости стены.

Координационным осям присваивают марку, которую помещают на конце оси в кружке. Вертикальные оси обозначают слева направо арабскими цифрами, горизонтальные оси снизу вверх – русскими заглавными буквами в алфавитном порядке.

Разрез здания выполняется вертикальной секущей плоскостью по линии сечения указанной на плане. Секущая плоскость разреза должна проходить между отдельными опорами, стенами, перегородками, но обязательно через проемы и лестничные клетки.

В разрезах кроме участков здания с различной этажностью и различными конструктивными решениями покрытий и перекрытий должны быть показаны лестничные клетки, проемы дверей, а также внутренние стены и перегородки. Разрезы зданий обозначают буквами или цифрами по типу

«2 – 2». Название изображения располагают над изображением, но не подчеркивают (рис. 2). Высотные размеры на разрезах указываются в метрах и называются высотными отметками.

На разрезах наряду с элементами, попадающими в секущую плоскость, должны быть показаны находящиеся непосредственно за ней колонны, несущие конструкции перекрытий и покрытий, окна, двери и т.д. На разрезах должны быть показаны координационные оси здания, размеры проемов и простенков между ними и высотные отметки уровня земли, полов этажей и лестничных площадок, низа и верха оконных проемов.

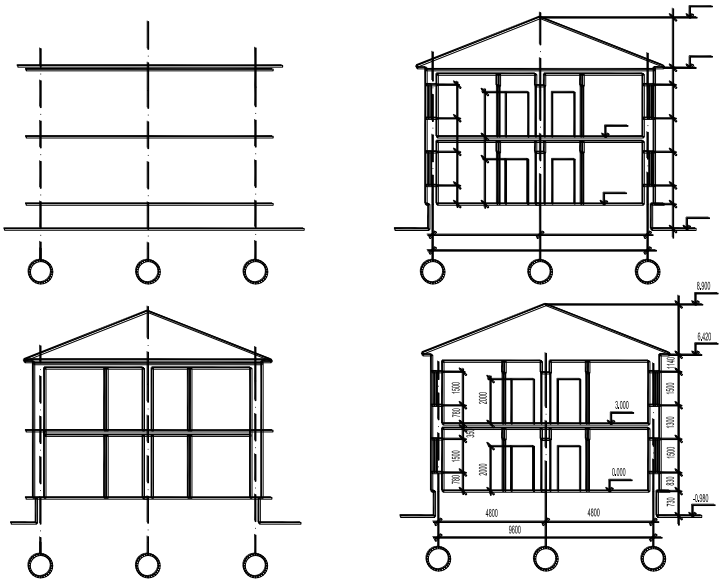


Рис. 2. Разрез здания

На разрезе наносят и указывают:

– координационные оси здания и расстояния между ними и крайними осями;
– отметки уровня земли, чистого пола этажей и площадок;
– отметки низа несущих конструкций покрытия одноэтажных зданий;
– отметку верха стен, карнизов, уступов стен;
– размеры и привязку (по высоте) проемов;
– толщину стен и их привязку к координационным осям здания;
– высоту технологического оборудования.

В разрезах видимые линии контуров, не попадающие в плоскость сечения, выполняются сплошной тонкой линией. Все конструктивные элементы в секущей плоскости сплошной толстой линией.

Вычерчивание разреза здания следует начинать с проведения осевых линий стен.

Затем изображают наружные и внутренние капитальные стены в соответствии с привязкой этих элементов к разбивочным осям. Намечают уро-

вень пола первого этажа, пола второго этажа, низа перекрытия кровли и подошвы фундамента. Сначала намечают общий габарит разреза, а затем выполняют все его детали.

Отметки уровней (высота и глубина) элементов конструкций от условной «нулевой» отметки указывают в метрах с тремя десятичными знаками. «Нулевую» отметку обозначают 0,000 на уровне пола первого этажа, отметки ниже условной «нулевой» обозначают со знаком минус (-2,650), отметки выше условной «нулевой» – без знака (2,650).

На чертежах фасадов зданий наносят и указывают:

– координационные оси: здания, проходящие в характерных местах фасадов (например: крайние);

– отметки уровня земли, входных площадок, верха стен, низа и верха проемов и расположенных на разных уровнях элементов (например: козырьков, выносных тамбуров).

Фасады именуются по крайним координационным осям.

Библиографический список

1. Королев, Ю.И. Строительное черчение и рисование: учебник для вузов инженерно-техн. специальностей / Ю.И. Королев. – 2-е изд. – СПб. и др.: Питер , 2009. – 256 с.

2. Чинь, Ф.Д.К. Архитектурная графика / Ф.Д.К. Чинь. – М.: АСТ: Астрель, 2007. – 215 с.

К содержанию

УДК 711.7 + 656.02

ДИНАМИКА ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ КРУПНЕЙШИХ ГОРОДОВ РОССИИ ГОРОДСКИМ ПАССАЖИРСКИМ ТРАНСПОРТОМ (ПЕРИОД С 1991 ПО 2015 гг.)

А.В. Бобылев

В статье приводятся общие особенности развития систем городского пассажирского транспорта в крупнейших городах России.

Массовый пассажирский транспорт, градостроительная деятельность провозная способность, геоинформационные методы обследования.

Качественное обслуживание населения городов массовым пассажирским транспортом является одной из основных задач градостроительной деятельности. Уровень транспортного обслуживания населения определяет комфортность условий проживания в городской среде и является одним из показателей, характеризующих деятельность местных органов власти.

К числу крупнейших городов, согласно СНиП 2.07.01 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений», относятся населенные пункты с численностью населения более 1 млн человек. По состоянию на 2015 год по данным Росстата в России насчитывается 15 таких городов, 2 из которых (Москва и Санкт-Петербург) можно отнести к категории наикрупнейших.

Транспортное обслуживание крупнейших городов является сложной в реализации задачей, требующей значительных ресурсов. В период с начала 1990-х по настоящее время системы массового пассажирского транспорта претерпели значительные изменения. С одной стороны, на развитие транспорта не может не сказываться общий технический прогресс, с другой стороны, состояние транспорта отражает состояние экономики государства и общественное развитие. В рассматриваемый период в транспортных системах крупнейших городов России произошли изменения, которые в целом можно охарактеризовать как уход от социалистической модели формирования транспортных систем. В большинстве указанных городов в настоящее время функционирует следующая видовая модель: трамвай – троллейбус – автобус – маршрутные такси. В данной модели виды транспорта расположены по убыванию провозной способности. В советский период обязательным считалось строительство метрополитена в крупнейших городах. В настоящее время метрополитены действуют в 7 из 15 крупнейших городов России, ведется строительство еще в 3 городах. Сведения о наличие функционирующих видов транспорта в крупнейших городах приведены в таблице 1.

Формирование и характер функционирования систем городского пассажирского транспорта определяется следующими основными факторами:

– общие особенности планировочной структуры населенного пункта;

– характер расположения и качества основных центров тяготения населения;

– особенности общественного развития, определяющие предпочтения населения.

Кризис и промышленный спад 1990-х, сменившиеся ростом 2000-х определили изменение типа транспортных систем. Если до 1990-х более выраженными были трудовые поездки (от мест проживания до мест массового приложения труда), совершаемые населением в часы «пик», то в 1990-е и позднее процент таких поездок заметно снижается. Прежде для организованной и планируемой доставки населения от мест проживания к местам массового приложения труда используется, в первую очередь, транспорт особо большой вместимости (именно в этих направлениях проектируются линии метрополитена, направляется наземный электротранспорт). В 1990-е ввиду все еще высокой доли занятости населения в сфере промышленного производства, низкой доли автомобилизации, а также появлению нового типа корреспонденций «к местам массовой торговли» в крупнейших городах сохраняются выраженные, значительные по величине пассажиропото-

ки, что делает необходимым использование транспорта особо большой вместимости, в первую очередь наземного электрического транспорта.

Таблица 1

Системы городского пассажирского транспорта
крупнейших городов России (по состоянию на 2015 г.)

Город	Население, млн. чел.	Наличие видов городского пассажирского транспорта					
		Метро	Трамвай	Троллейбус	Автобус	Марш. такси	Прочие виды транспорта
1	2	3	4	5	6	7	8
Москва	12,10	+	+	+	+	+	Монорельс
Санкт-Петербург	5,10	+	+	+	+	+	
Новосибирск	1,50	+	+	+	+	+	
Екатеринбург	1,40	+	+	+	+	+	
Нижний Новгород	1,25	+	+	+	+	+	
Казань	1,20	+	+	+	+		
Челябинск	1,18	Стр.	+	+	+	+	
Самара	1,17	+	+	+	+	+	
Омск	1,16	Стр.	+	+	+	+	
Ростов-на-Дону	1,10		+	+	+	+	
Уфа	1,10		+	+	+	+	
Волгоград	1,05		+	+	+	+	Скоростной трамвай
Пермь	1,04		+	+	+	+	
Красноярск	1,00	Стр.	+	+	+	+	
Воронеж	1,00			+	+	+	

С конца 1990-х со снижением числа занятых в промышленном секторе постепенно снижается доля массовых трудовых корреспонденций в направлении производственных территорий. Как следствие, снижается нагрузка на транспорт особо большой вместимости, снижается наполняемость указанного транспорта. Таким образом, объективные факторы, такие как:

– снижение доли массовых «пиковых» трудовых корреспонденций;

– необходимость обновления подвижного состава и инфраструктуры, проявившая себя неизбежно к концу 1990-х;

– повышение цен на электрическую энергию,

приводят к тому, что постепенно доля городского электрического транспорта начинает снижаться. Этому способствуют отдельные решения по сокращению сетей данного транспорта. В результате развитие и сохранение пассажиропотока и объема функционирования городской наземный электрический транспорт получает только в городах, где проводится направ-

ленная политика сохранение транспорта большой вместимости. В остальных же случаях закрытые направления электрического транспорта частично компенсируются муниципальным автобусным транспортом, однако, в большей степени – появляющимися маршрутными такси. Наступление 2000-х сопровождается началом массовой автомобилизации, что способствует ослаблению внимания к городскому электрическому транспорту. Так, лидером сокращения трамвайного движения выступает Санкт-Петербург, город с самой развитой по состоянию на 1980-е трамвайной сетью в мире. Значительному сокращению подвергаются маршруты электрического транспорта и в других городах. Сведения о состоянии сетей пассажирского электротранспорт приведены в таблицах 2, 3.

Таблица 2

Подвижной состав городского электрического транспорта

Город	Число единиц и обновление подвижного состава, %				
	Трамвай			Троллейбус	
	Число единиц подв. сост. на 1991	Обновление подв. сост., %	Число единиц подв. сост. на 2015	Число единиц подв. сост. на 1991	Число единиц подв. сост. на 2015
1	2	3	4	5	7
Москва	1300	70	900	1600	1600
Санкт-Петербург	2200	60	850	900	900
Новосибирск	350	5	180	300	300
Екатеринбург	450	15	450	300	300
Нижний Новгород	400	15	350	250	250
Казань	400	70	160	250	250
Челябинск	370	15	330	430	250
Самара	400	15	400	300	300
Омск	300	10	150	200	100
Ростов-на-Дону	330	20	100	150	100
Уфа	400	60	200	300	230
Волгоград	320	20	320	320	320
Пермь	300	80	200	150	150
Красноярск	200	15	100	200	150
Воронеж	300	–	Ликв.	250	150

По данным, приведенным в таблицах, можно заключить, что в части городов состояние систем электрического транспорта стабильно, имеются случаи развития сетей. Это указывает на проведение в данных городах целенаправленной политики отрасли и планирования в сфере перевозок муниципальным транспортом (Екатеринбург, Самара, Волгоград). В отдель-

ных случаях сокращение сетей не говорит о повсеместном ухудшении транспортного обслуживания: к числу таких городов относится Казань, где сокращение сети традиционного трамвая сопровождалось строительством сети ускоренного варианта данного вида транспорта с обновлением подвижного состава. В результате роста скорости сообщения качество транспортного обслуживания в целом остается стабильным, хотя при этом имеются участки, где предпочтительным было бы использование экологически чистого транспорта высокой провозной способности.

Таблица 3

Сети городского электрического транспорта

Город	Состояние маршрутной сети и сетевой инфраструктуры, %					
	Метрополитен		Трамвай		Троллейбус	
	Количество линий	Развитие в период 1990-2015, кол-во линий	Сохранение количества маршрутов с сравнении с 1990г., %	Сохранение протяженности сети в сравнении с 1990 г.,%	Сохранение количества маршрутов с сравнении с 1990г.,%	Сохранение протяженности сети в сравнении с 1990 г.,%
1	2	3	4	5	6	7
Москва	12	2	70 %	70 %	110 %	110 %
Санкт-Петербург	5	1	70 %	70 %	95 %	100 %
Новосибирск	2	1	60 %	80 %	100 %	100 %
Екатеринбург	1		100 %	100 %	100 %	105 %
Нижний Новгород	2	1	80 %	100 %	90 %	100 %
Казань		1	30 %	50 %	70 %	90 %
Челябинск	1 стр.	1 стр.	85 %	95 %	85 %	105 %
Самара			100 %	100 %	100 %	100 %
Омск	1 стр.	1 стр.	30 %	60 %	70 %	80 %
Ростов-на-Дону			50 %	80 %	90 %	90 %
Уфа			50 %	60 %	70 %	100 %
Волгоград			100 %	100 %	100 %	100 %
Пермь			90 %	80 %	100 %	100 %
Красноярск	1 стр.	1 стр.	40 %	60 %	80 %	80 %
Воронеж			Ликв.	Ликв.	50 %	60 %

Что касается развития электрического транспорта в столичных городах, то помимо усиления сетей метрополитена, в целом стабильным остается и состояние наземного электрического транспорта.

В Москве и Санкт-Петербурге восстановлен ряд трамвайных маршрутов, закрытых по разным причинам в 2000-х. Что касается электрического транспорта Челябинска, то, несмотря на показатели относительной стабильности маршрутов и сетевой инфраструктуры, положение в целом является тревожным в связи со снижением пассажиропотока. Снижение пассажиропотока характерно и для городов с высокими показателями стабильности (Екатеринбург, Самара). Так, в Екатеринбурге сильно сокращена, а Челябинске прекращена эксплуатация трамвайных вагонов по системе многих единиц (СМЕ).

Несмотря на существенное сокращение перевозок Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Омск и Уфа имеют планы по существенному расширению присутствия электрического транспорта, однако пока эти планы остаются нереализованными.

Ухудшение качество работы электрического транспорта, а также сокращение его сетей является негативным моментом развития транспортных систем в период 1990–2015 гг.

По состоянию на начало 1990-х в крупнейших городах России отсутствовали сети маршрутных такси (автобусный транспорт малой и особо малой вместимости), их появление связано с рассредоточением пассажиропотоков и постепенным снижением роли городского электрического, а также автобусного транспорта в пассажирских перевозках. При этом развитие сети автобусных перевозок транспортом малой вместимости могло бы идти по пути освоения «капиллярных» направлений с невысоким пассажиропотоком. При таком развитие у транспортных сетей появился бы еще один сегмент, что, в конечном счете, сдерживало бы рост автомобилизации. Негативным моментом, характерным для 2000-х является развитие сети частных маршрутных перевозок в транспортных коридорах муниципального транспорта большой и особо большой вместимости. В результате транспорт особо малой вместимости, обеспечивая незначительно большую скорость сообщения, вытеснял транспорт большой вместимости с магистральных направлений. Положительным же моментом развития сети частных маршрутных перевозок является появление альтернативного муниципальному виду транспорта. Отсутствие городского электрического транспорта в районах перспективной застройки существенно снижает его роль в общей доли перевозок.

Таким образом, развитие городского пассажирского транспорта в настоящее время нуждается в тщательном планировании и управлении: некорректное принятие решений в отношении той или иной подсистемы городского транспорта приведет к деградации данной составляющей транспортной системы, что неизбежно скажется на состоянии транспортного комплекса в целом.

К содержанию

УДК 624.073 + 728.2 + 69.056.52/.53

МЕТОД РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ НАРУЖНЫХ УЗЛОВ СОПРЯЖЕНИЯ ПАНЕЛЕЙ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ШВАХ

Ю.А. Ивашенко, А.В. Фердер

В статье рассмотрен метод расчета на прочность горизонтального стыка с односторонним опиранием перекрытий для панельной борной несущей системы зданий.

Ключевые слова: узел, стык, метод, метод расчета, прочность.

В пособии [1] для расчета прочности горизонтального стыка предлагается следующая формула:

$$N_j = R_c t d_j; \quad (1)$$

где $R_c = R_{\text{вш}} \eta_m \eta_j$ – приведенное сопротивление. При этом величину коэффициента η_j для платформенного стыка с односторонним опиранием рекомендуется определять путем проведения испытаний узлов.

В данной статье предлагается метод расчета, позволяющий теоретически вычислить этот коэффициент и, соответственно, величину прочности стыка.

Физико-механическая сущность этого коэффициента состоит в том, что вертикальное усилие передается на узел с некоторым эксцентриситетом. Эксцентриситет возникает по следующим причинам:

– смещение стеновых панелей относительно друг друга вследствие неточного монтажа;

– горизонтального смещения перекрытия и поворот его опорного сечения при действии нагрузок на перекрытие;

– поворот опорных сечений стеновых панелей вследствие деформации растворных швов, в которых напряжения распределяются неравномерно.

С течением времени указанный выше эксцентриситет будет увеличиваться за счет проявления ползучести бетона и раствора элементов узла. Наибольшая доля в увеличении эксцентриситета приходится на раствор, так как он нагружается постоянной нагрузкой в молодом возрасте. При этом скорость его нагружения является достаточно высокой в связи со скоростью монтажа здания.

В основе предлагаемого метода расчета используется принцип сложения узлов поворота, возникающих по выше указанным причинам (рис.):

$$\sum \varphi_j = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3,$$

где $\varphi_1 = \frac{M \cdot H}{4E_1 I_1}$ – поворот сечения в стыке от смещения стеновых панелей на величину $\delta_\omega = 15$ мм [1]; $M = \delta_\omega \cdot N$; $E_1 I_1$ – жесткость сечения стеновых панелей;

$\varphi_2 = \frac{q \cdot L^3}{24 E_2 I_2}$ – поворот сечения в стыке от действия нагрузки на панель перекрытия; $E_2 I_2$ – жесткость сечения перекрытия; L – пролет перекрытия;

$\varphi_3 = \frac{N \cdot e_{cp}}{E_3 I_3} \cdot \sum t_{\text{ш}}$ – поворот от деформации растворных швов под действием усилия в стеновых панелях; $E_3 I_3$ – жесткость растворных швов;

e_{cp} – среднее значение условного эксцентриситета, учитывающего неравномерность распределения напряжений.

Геометрические параметры узла определяются по рис. 1 с учетом отклонений, установленных в пособии [1]: $h_1 = h - a - \delta_p$, $h_2 = h_1 - \delta_\omega - \delta_p$, где $\delta_\omega = 15$ мм, $\delta_p = 10$ мм – соответственно смещение стеновых панелей и перекрытия.

При определении величины φ_3 условный эксцентриситет вычислен в предположении линейного распределения напряжений сжатия швов σ_b и σ:

$$e_{cp} = \left(h - h_1 + 0{,}5\delta_\omega - \delta_p\right)0{,}5.$$

Используя зависимость $M = \sum(\varphi_j \frac{EI}{l})$ и отношения $n_1 = \frac{E_1 I_1}{E_2 I_2}$, $n_2 = \frac{E_1 I_1}{E_3 I_3}$, вычисляется приведенный эксцентриситет $e_{ned} = \frac{M}{N} = \frac{\delta_\omega}{6} + \frac{q \cdot L^3}{24 N l_1} n_1 + \frac{\alpha \sum t_{\text{ш}}}{2 l_1} n_2$.

Пример расчета. Исходные данные: h = 120 мм; δ_ω = 15 мм; a = 30 мм; h_1 = 90 мм; h_2 = 75 мм; E_1 = $30 \cdot 10^3$ МПа; E_2 = $24 \cdot 10^3$ МПа; E_3 = $15 \cdot 10^3$ МПа; I_1 = 0,000144 м^4; I_2 = 0,000341м^4; I_3 = 0,000048 м^4; L = 3 м; q = 750 $\frac{\text{кгс}}{\text{мп}}$; $\sum t_{\text{ш}} = 30 \cdot 1{,}4 = 42$ мм.

При кратковременном действии нагрузки вычисленная величина эксцентриситета равна $e_{ned} = 0{,}53$ см.

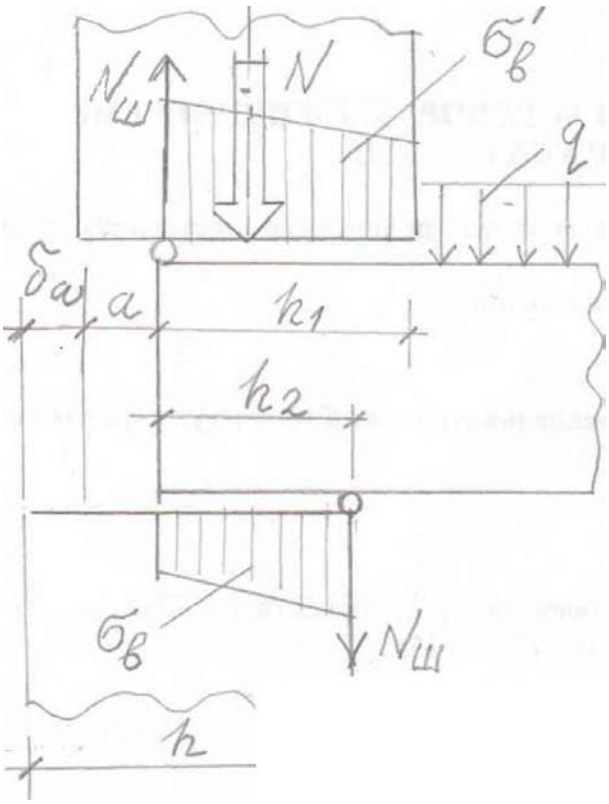
С учетом длительно действующей нагрузки учитывается коэффициенты ползучести $\varphi_{b.cr}$ по рекомендациям СП 52-101-2003 [2] соответственно для стен, перекрытия и раствора: $\varphi_{b.cr.1} = 2{,}5$; $\varphi_{b.cr.2} = 3{,}4$; $\varphi_{b.cr.3} = 3{,}9$. С учетом этих коэффициентов, а также с учетом образования трещин в плите перекрытия, корректируются модули упругости и тогда вычисленная величина эксцентриситета – $e_{ned.cr} = 30$ мм.

Следует также учесть, что при повороте в стыке плиты перекрытия меняется расчетная схема (рис.), что приводит к увеличению неравномерности напряжений в швах.

Предлагается это учесть введением усилий $N_{\text{ш}}$ и, соответственно, дополнительных моментов в верхнем и нижнем швах: $M'_B = N_{\text{ш}}(0{,}5h - a)$; $M'_H = N_{\text{ш}} \cdot 0{,}5h$. С учетом смещения перекрытия отношение:

$$\frac{h_2}{h'_2} = \frac{h_1 - \delta_\omega}{h_1 - \delta_\omega - \delta_p} = 1{,}15.$$

При этом приведенный вычисленный эксцентриситет увеличивается до значения $e_{ned} = 34$ мм.



Расчетная схема

Значение e_{ned} определяет величину коэффициента η_j как снижения несущей способности (прочности) вследствие увеличения эксцентриситета вертикального продольного усилия, передающегося на стык с панелей стен.

Выводы:

1. Предлагаемый метод позволяет учесть физико-механические свойства элементов, составляющих стык, и изменение их во времени (реологические свойства), и тем самым устраняют недостаток пособия [1].

2. Имеющиеся экспериментальные исследования стыков подтверждают возможность применения метода и возможность его корректировки при дальнейшем накоплении экспериментальных данных.

Библиографический список

1. Пособие по проектированию жилых зданий / ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). – М.: Стройиздат, 1989. – 304 с.

2. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М.: НИИЖБ Госстроя России, 2005. – 54 с.

К содержанию

УДК 004.921 + 7.021.23

КОМПАС 3D ДЛЯ СТУДЕНТОВ МТ ФАКУЛЬТЕТА

Л.Л. Карманова, Т.Ю. Попцова, Е.П. Дубовикова

Рассмотрено построение аксонометрического и разнесенного изображений узла в программе Компас-3D.

Ключевые слова: Компас-3D, аксонометрическое изображение, сборка узла, разнесенный чертеж, компоненты.

Новые требования общества к уровню образованности и развития личности, приводят к необходимости изменения технологий обучения. Сегодня продуктивными являются технологии, позволяющие организовать учебный процесс с учетом профессиональной направленности обучения, а также ориентацией на личность студента его интересы, склонности и способности.

Понимая важность использования педагогических технологий в повседневной образовательной деятельности на кафедре «Графика» все большую популярность получают компьютерные технологии обучения.

Студенты МТ-факультета изучают предмет «Инженерная графика» с использованием программы «Компас-3D», что не только облегчает трудоемкость выполнения графических работ, но и способствует пониманию процесса формообразования деталей и узлов. Проблемой преподавания компьютерной графики является отсутствие учебной литературы для студентов. Появившиеся в последние годы многочисленные издания носят узкоспециальный или справочный характер. Поэтому преподаватели кафедры обращают особое внимание студентов на методические приемы, использующиеся при изучении компьютерной графики.

В третьем семестре студенты выполняют одно из заданий «Сборочный чертеж».

Цель задания:

– научить студентов по 2D чертежам создавать 3D модели;

– собирать полученные модели в трехмерную сборку;

– на основе трехмерной сборки создавать сборочный чертеж;

– выполнять наглядное изображение трехмерной сборки;

– создавать текстовый документ «Спецификация».

Сборка в системе Компас-3D – это трехмерная модель, объединяющая модели деталей, входящих в узел. Наглядное изображение трехмерной сборки помогает студенту проще воспринимать двумерный сборочный чертеж. Рассмотрим два способа создания наглядного изображения узла.

Аксонометрическое изображение – способ изображения геометрических предметов на чертеже при помощи параллельных проекций (рис. 1).

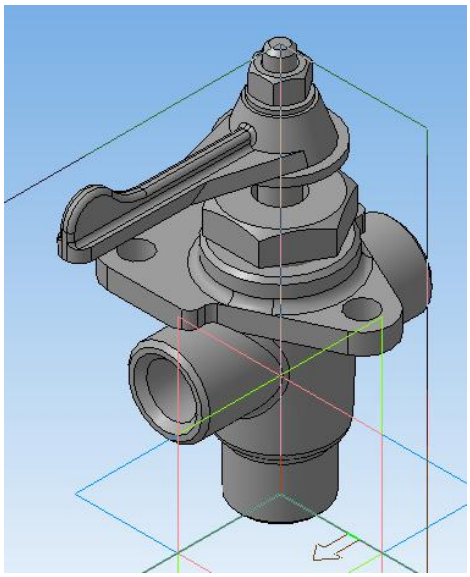


Рис. 1. Аксонометрическое изображение

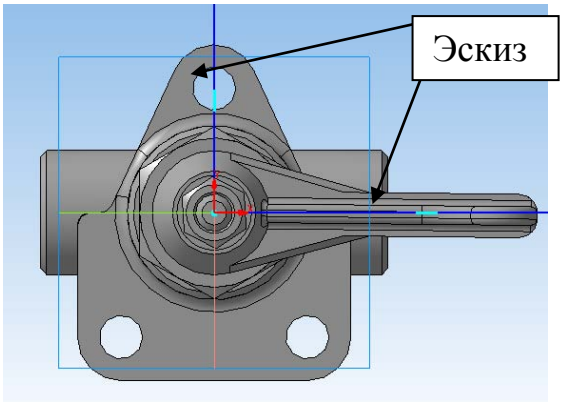


Рис. 2. Эскиз в горизонтальной плоскости

Для того чтобы «заглянуть» внутрь корпуса надо «вырезать» часть детали или группы деталей.

В любой горизонтальной плоскости нарисуем эскиз из двух отрезков, которые ограничивают ту часть узла, которую мы хотим временно удалить (рис. 2).

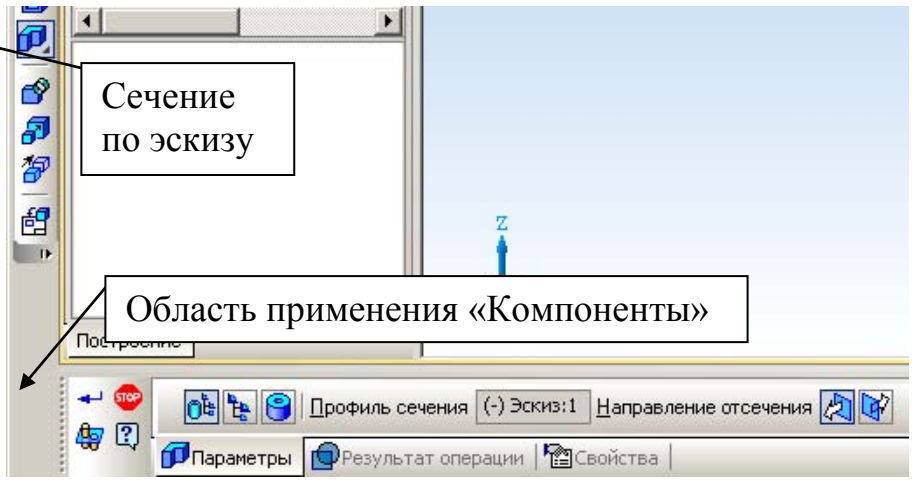


Рис. 3. Выбор компонентов в дереве построения чертежа

Команда «Сечение по эскизу» позволяет выбрать «Компоненты», которые мы хотим рассечь (рис. 3). Выбор компонентов может производиться как в дереве построения чертежа, так и непосредственно на сборке (рис. 4).

Результат построения на рисунке 5.

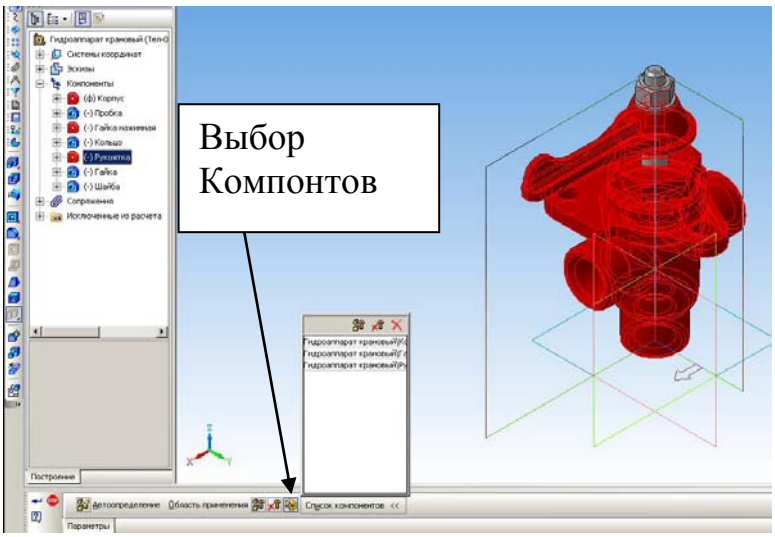


Рис. 4. Выбор компонентов на сборке в системе Компас-3D

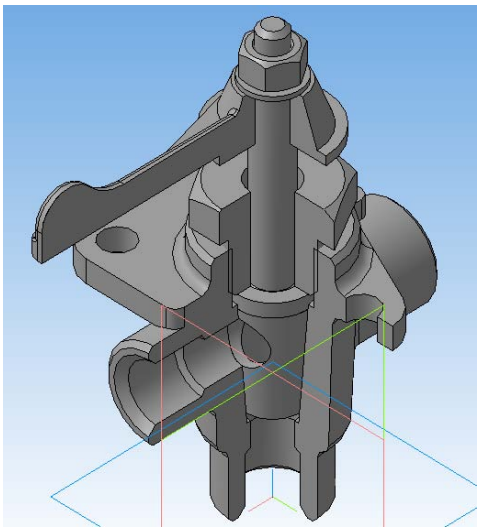


Рис. 5. Результат построения

Вторым способом наглядного изображения трехмерной сборки является **разнесенный чертеж.**

Трехмерная сборка в своем окончательном виде обычно не дает достаточно ясного представления о взаимном положении компонентов. Для облегчения восприятия сборок применяется разнесенный вид – в ней компоненты «раздвигаются» в пространстве.

Разнесенный вид хранится в сборке и включается нажатием кнопки «Разнести». Но чтобы эта кнопка ожила, разнесенный вид сначала надо создать.

Чтобы задать параметры разнесения, вызовите команду меню «Сервис» – «Разнести компоненты» – «Параметры» (рис. 6).

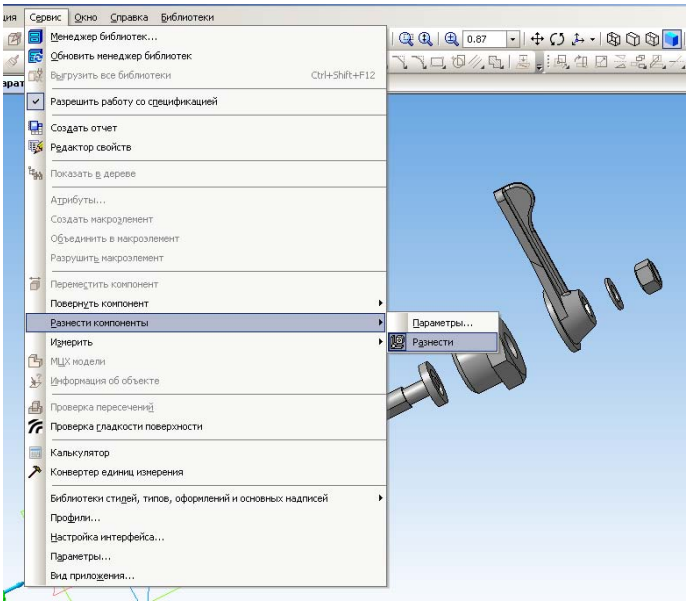


Рис. 6. Настройка параметров разнесения

Разнесение выполняется по шагам. Для добавления шага нажмем кнопку «Добавить». Затем указываем компоненты, участвующие в шаге разнесения, и параметры этого шага (рис. 7).

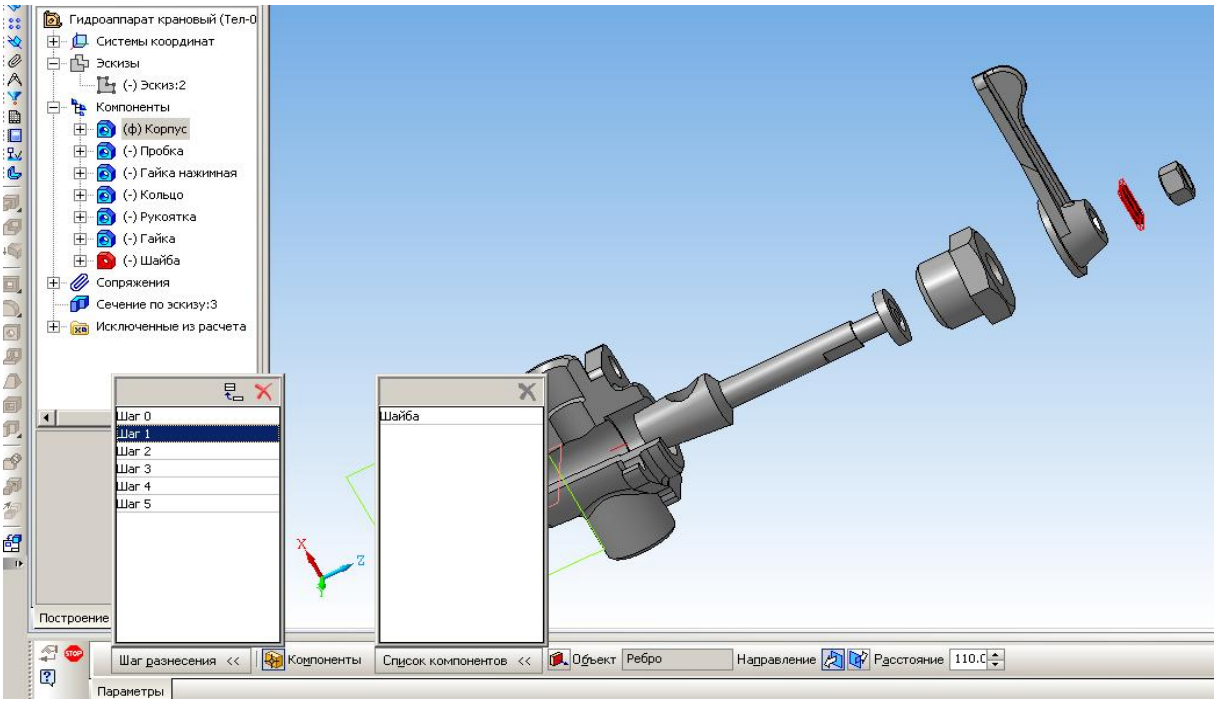


Рис. 7. Настройка компонентов и параметров шага разнесения

Чтобы выбрать компоненты, щелкаем по переключателю «Компоненты» и указывает нужные компоненты на самой сборке или в дереве сборки. Чтобы указать направление разнесения компонентов, активизируем переключатель «Объект». Компоненты могут разноситься в направлении, совпадающим с ребром модели, (для этого укажите в окне сборки нужное ребро) или в направлении, перпендикулярном грани (для этого укажите нужную грань). Введите в соответствующее поле расстояние, на которое должен переместиться компонент относительно своего прежнего положения. Выберите направление перемещения компонентов – прямое или обратное, активизировав соответствующий переключатель в группе «Направление». Затем нажмите кнопку «Применить». Аналогичным образом задаются и все остальные этапы. После выхода из команды настройки шагов сборка в окне оказывается в разнесенном виде. Теперь кнопка «Разнести» активна и сборка при нажатии на нее отображается в разнесенном виде (рис. 8).

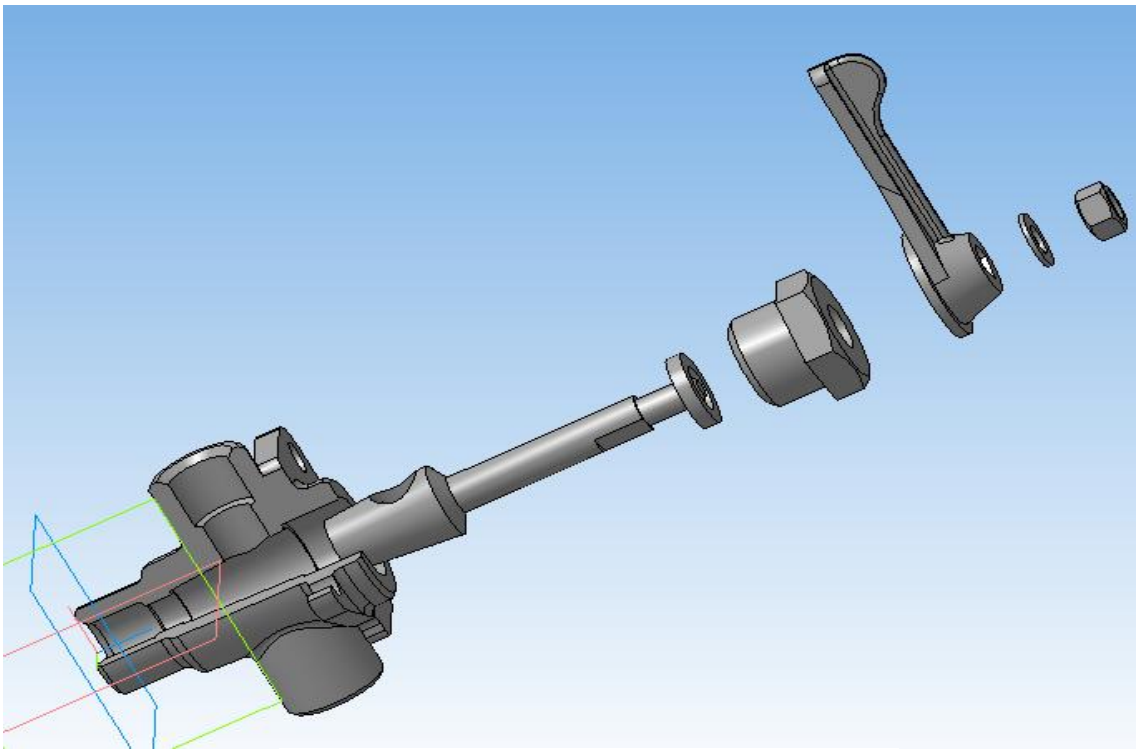


Рис. 8. Сборка в разнесенном виде

При выполнении данной работы студенты испытывают интерес, который основывается на мышлении и кропотливом труде. При помощи мультимедийных анимаций можно показать сборку деталей со всех сторон.

Библиографический список

1. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования / под ред. Е.С. Полат. – М.: «Академия», 2005.

2. Попцова, Т.Ю. Эффективное использование современных образовательных технологий при изучении инженерной графики / Т.Ю.Попцова, Л.Л. Карманова // Вестник ЮУрГУ. – 2010. – С. 58–60

3. Троицкий, Д.И. Методические указания для выполнения лабораторных работ студентами направлений 230100, 220200, 552900 / Д.И.Троицкий. – Тула, 2009.

4. Короткий, В.А. Компьютерное моделирование фигур четырехмерного пространства / В.А. Короткий // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2014. – № 7. – С. 14–20.

К содержанию

УДК 624.012.45.001.42 +624.073:666.982

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕБРИСТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ СЕРИИ 7018-М С ЖЕСТКИМ УЗЛОМ СОПРЯЖЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ РЕБЕР

А.А. Карякин, С.А. Сонин, П.В. Попп, И.С. Дербенцев

Изложены результаты испытаний спаренных в продольном направлении железобетонных ребристых плит с ненапрягаемой арматурой, объединенных между собой в торцевых зонах и работающих по неразрезной схеме. Установлена пригодность данной схемы для применения в строительстве 4-х этажного жилого здания.

Ключевые слова: испытание, железобетонные ребристые плиты, стык продольных ребер, прочность, жесткость, трещиностойкость.

Фрагмент перекрытий состоял из двух ребристых (без предварительного напряжения) железобетонных плит пролетом 5,69 м, продольные ребра которых жестко связанны между собой сваркой накладной пластины с опорными закладными деталями в уровне верхней поверхности плит (рис. 1). Усилие от вышерасположенной колонны имитировалось усилием в анкерном болте, жестко соединяющим накладную пластину с нижерасположенной опорой.

Проведение натурных испытаний проводилось с целью оценки работоспособности ребристых плит перекрытий, работающих по неразрезной схеме и пригруженных на опоре вертикальными силами, имитирующими усилия в колоннах вышележащего этажа.

Фрагмент перекрытия запроектирован под расчетную нагрузку 6,0 кПа.

Фактическая кубиковая прочность бетона плит составила R=50,0 МПа, что соответствует классу бетона В35. В каждом продольном ребре плит установлено по два нижних стержня Ø18 А-III с фактическим пределом текучести σ_y=441,0 МПа.

Нагрузка на плиты при их испытании прикладывалась этапами, равными 0,1 от контрольной нагрузки в соответствии с [3].

На первой стадии испытания плит вертикальная нагрузка прикладывалась до велечины контролируемой по жесткости и трещиностойкости – q=5,0 кПа. После 30-минутной выдержки испытание было продолжено поэтапным нагружением вертикальной распределенной нагрузкой до разрушения.

Полезную вертикальную равномерно распределенную нагрузку создавали штучными грузами в виде предварительно взвешенных фундаментных блоков размерами 0,6х0,4х0,7 м.

Для измерения вертикальных перемещений плит и осадки опор были установлены механические приборы – прогибомеры 6 ПАО с ценой деления 0,01 мм и индикаторы часового типа И4-10 с ценой деления 0,01 мм.

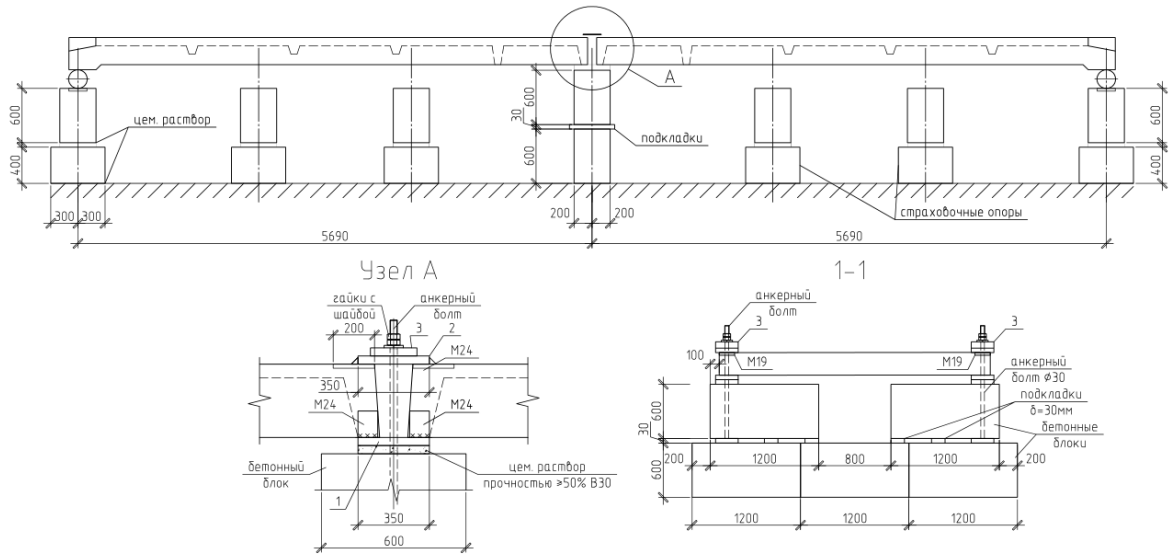


Рис. 1. Конструктивная схема фрагмента перекрытия
Поз.1 – мет. пластина 350х175 δ=15 мм; Поз.2 – мет. пластина 350х165 δ=15 мм; Поз.3 – мет. пластина 300х90 δ=30 мм

Измерительные приборы были установлены в середине пролетов плит и на опорах.

Общее количество ступеней нагружения составило 15.

Общий вид испытания фрагмента перекрытия показан на рис. 2.

Рис. 2. Общий вид фрагмента перекрытия

Рис. 3. Разрушение у средней опоры

В результате испытаний установлено следующее:

1. Разрушение фрагмента перекрытия произошло при нагрузке q=8,963 кН/м^2 (8,96 кПа) без учета нагрузки от собственной массы плит. При грузовой площади равной 33,91 м^2 (5,69х2,98х2) общая нагрузка на плиты составила 303,95 кН.

Разрушение произошло по наклонному сечению одной из плит на средней опоре (в районе жесткого сопряжения плит) – рис. 3. К этому моменту надопорные трещины (у средней опоры) достигли величины 1,5 мм.

В пролете плит, где максимальная ширина раскрытия трещин не превышала 0,1 мм, разрушения не выявлено.

Согласно приложению [3], представленное разрушение может быть отнесено к первому случаю разрушения (по нормальному или наклонному сечению вследствие достижения предела текучести продольной арматуры). Для рассматриваемого случая, согласно табл. Б.1 [3] значение требуемого коэффициента безопасности С может быть принятым равным 1,30.

Фактический коэффициент безопасности $C^{Ø}$ для испытанного фрагмента перекрытия составил величину:

$$C^{Ø}=(8,96+1,2х2,50)/(6,0+1,2х2,5)=1,33>C=1,3,$$

где 8,96 кПа – опытная разрушающая нагрузка;

6,0 кПа – расчетная нагрузка;

2,50 кПа – постоянная нагрузка на перекрытие;

1,2 – коэффициент, учитывающий возможное увеличение постоянной нагрузки от проектных величин.

Требования ГОСТ [3] по прочности обеспечены.

2. При действии нагрузки, соответствующей нормативной (эксплуатационной) и контролируемой по жесткости и трещиностойкости согласно ГОСТ [3] и равной q=5,39кПа. Максимальные прогибы плит составили 5,6 мм. Предельно допустимая величина прогиба плиты согласно табл. 4 [1] составляет 25мм. Таким образом, опытные значения прогибов плит при контрольной нагрузке по жесткости не превосходят предельно допустимые величины.

3. При этой же нагрузке (q=5,39 кПа) максимальная ширина раскрытия трещин не превышала 0,01 мм, высота сжатой зоны в районе надопорной трещины составила 14 см.

Контрольная ширина раскрытия трещины согласно табл. 2 [1] в закрытых помещениях составляет 0,4 мм и при испытании контрольной нагрузкой по трещиностойкости достигнута не была.

Выводы

По результатам испытаний установлено, что фрагмент перекрытия, состоящий из двух ребристых плит серии 7018-М с разработанным жестким узлом сопряжения продольных ребер и «имитацией» давления вышерасположенной колонны в виде объединяющего опорный узел жестко притянутого болта, удовлетворяет требованиям ГОСТ 8829-94 [3] по прочности, жесткости и трещиностойкости. Однако, характер работы и схема разрушения узла сопряжения продольных ребер плит не позволяет рекомендовать использование ребристых плит с жестким узлом сопряжения для массового проектирования и строительства зданий по серии 7018-М без корректировки количества надопорной арматуры плит в местах их сопряжения и проведения дополнительных испытаний.

Библиографический список

1. СНиП 2.03.01-84* «Бетонные и железобетонные конструкции».
2. СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия».
3. ГОСТ 8829-94 «Изделия строительные железобетонные и бетонные. Методы испытания нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости».

К содержанию

УДК 692.533.15

РАСЧЕТ ИСТИРАЕМОСТИ БЕТОНА

А.В. Киянец

Излагаются особенности воздействия истирающей нагрузки на бетонные конструкции. Приводятся требования нормативно-технической документации по нормированию показателей истираемости и Федерального закона № 384-ФЗ по долговечности конструкций. Рассматривается методика расчета истираемости и оценки долговечности бетона для покрытий полов.

Ключевые слова: истираемость, износостойкость, бетон.

Истирающая нагрузка, одна из многих нагрузок, которые воздействуют на конструкции зданий и сооружений во время их эксплуатации. Отличительной особенностью которой является воздействие абразивных составов на поверхностные слои конструкции с последующим их разрушением.

В зависимости от области применения зданий и сооружений, природа истирающих нагрузок может быть различна: воздействие подошв обуви от прохождения людей, от колес проезжающего транспорта, волочения различных грузов, протекание воды и других жидкостей с содержанием абразивного материала, льда и т.д.

Длительное воздействие истирающих нагрузок приводит к тому, что конструкция, сохраняя свою целостность и несущую способность, не может дальше эксплуатироваться из-за неудовлетворительного состояния поверхности, или продукты разрушения бетона, попадая в окружающую среду, препятствуют протеканию технологических процессов и угрожают здоровью людей. В этом случае требуется решить вопрос износоустойчивости материала, под которой мы понимаем его сопротивление воздействию истирающей нагрузки с сохранением физико-механических характеристик, а также разработки методики расчета и прогнозирования износоустойчивости применяемых материалов.

Интенсивные истирающие нагрузки в процессе эксплуатации испытывают ряд конструктивных элементов – это полы, лестницы, ступени, лестничные марши, лестничные площадки. Покрытия данных конструкций в современных зданиях и сооружениях выполнены в основном из различных видов бетона [1].

Требования к типам и характеристикам покрытия пола в зависимости от вида здания и помещения, с учетом количества проходов людей и проездов машин, падения тяжелых предметов с высоты, волочения различных грузов, степени воздействия воды и агрессивных сред изложены в СП 29.13330.2011 «Актуализированная редакция СНиП 2.03.13-88 Полы».

Кроме того, в зависимости от назначения помещения и типа покрытия в этом документе регламентируются показатели истираемости [4]:

– п. 5.16 при предъявлении к полам повышенных требований по пылеотделению следует применять «мало пылящие» (истираемость не более 0,4 г/см^2) и «беспыльные» (истираемость не более 0,2 г/см^2) покрытия полов;

– п. 5.17 истираемость покрытия пола не должна превышать для монолитных покрытий полов в помещениях класса беспыльности 1000 – 0,06 г/см^2, класса 10000 – 0,09 г/см^2 и класса 100000 – 0,12 г/см^2;

– п. 5.18 поверхность покрытия пола должна быть ровной, просветы между контрольной двухметровой рейкой и проверяемой поверхностью не должны превышать для покрытий из бетонов (всех видов), ксилолита, цементно-песчаного раствора, поливинилацетатцементно-опилочного состава, из плит бетонных (всех видов), керамических, керамогранитных, каменных, резиновых, чугунных и стальных, а также из кирпича (всех видов) на растворе – 4 мм.

Последний пункт с требованием по обеспечению необходимой ровности покрытия можно трактовать как максимально возможный показатель по истираемости покрытия выраженный в миллиметрах износа.

Таким образом, существуют объективные требуемые показатели по износоустойчивости бетонных покрытий, но нет привязки к сроку службы данного покрытия. Между тем, данное требование является обязательным. Согласно Статьи 33 Федерального закона № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»: в целях предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей, в проектной документации здания или сооружения должна содержаться следующая информация: срок эксплуатации здания или сооружения и их частей [5].

Синхронизировать требования Технического регламента и СП 29.13330.2011, на мой взгляд, позволяет ГОСТ Р 54257-2010 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования», в котором содержится таблица (п. 3.2.3 табл. 1) с примерными сроками службы зданий и сооружений. К примеру, срок службы для зданий и сооружений массового строительства в обычных условиях эксплуатации составляет не менее 50 лет [3].

Поэтому требование по максимальному износу бетонного покрытия можно интерпретировать следующим образом: максимальный износ бетонного покрытия должен быть не более 4 мм в глубину на протяжении не менее 50 лет. Такая формулировка данного требования будет соответствовать Федеральному закону № 384-ФЗ и позволит производить расчет требуемой истираемости бетона покрытия пола, а также проектировать состав применяемой бетонной смеси.

Действующая на сегодняшний день методика определения истираемости бетонов содержится в ГОСТ 13087-81 «Бетоны. Метод определения

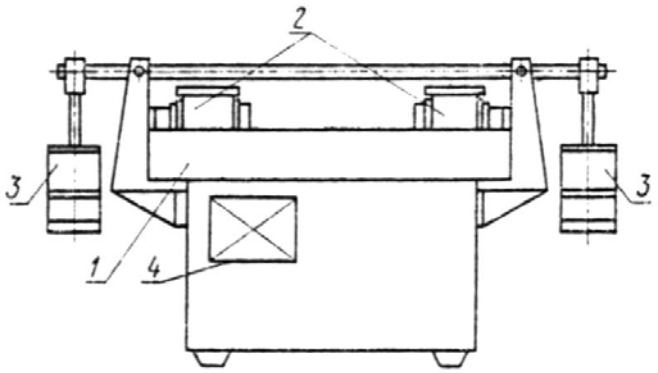
истираемости». Согласно этой методике истираемость определяется как потеря массы на единицу площади истираемой поверхности образца и измеряется в граммах на квадратный сантиметр (г/см^2) [2].

Недостатком вышеизложенной методики является большая трудоемкость проведения испытаний и получение в результате испытаний (после 560 оборотов круга испытательной машины ЛКИ-3) конечной цифры, характеризующей истираемость образца.

Данный недостаток является существенным при определении истираемости износоустойчивых бетонов. Учитывая неравномерность процесса истирания материала из-за неравномерного износа поверхностных и внутренних слоев бетона оценка истираемости бетона при 560 оборотах может быть недостаточно точной.

Поэтому для расчета и выбора состава бетона для покрытия пола, а также оценки его долговечности может быть использована методика испытания на предельную продолжительность истирающего воздействия (методика предельного износа) [1].

Суть методики испытания на предельный износ заключается в определении предельного истирающего воздействия $T_{пр}$ на исследуемый материал, измеряемого в оборотах круга машины ЛКИ-3 (рис.), в результате которого образец истирается на 1 см.



Круг истирания ЛКИ-3: 1 – истирающий диск;
2 – испытываемые образцы; 3 – нагружающее устройство;
4 – счетчик оборотов

Поскольку испытание образцов бетонов часто бывает затруднительным и связано с большим износом испытательных машин, особенно для бетонов, обладающих высокой износостойкостью, то для определения величины истирающего воздействия можно ограничиться сокращенными испытаниями, а полное значение $T_{пр}$ получить путем вычисления. Для этого достаточно проводить испытания на истираемость по стандартной методике до 840 оборотов круга истирания.

Тогда, пользуясь нижеприведенной формулой можно рассчитать $T_{пр}$:

$$T_{пр} = \frac{И_{пр} - И_{560}}{K_1} + 0{,}560. \quad (1)$$

Величина K_1 определяется по формуле:

$$K_1 = \frac{И_{840} - И_{560}}{0{,}28}, \quad (2)$$

где $T_{пр}$ – предельная продолжительность истирающего воздействия в тыс. оборотов; $И_{840}$ – глубина истирания в см при 840 оборотов круга; $И_{560}$ – глубина истирания в см при 560 оборотов круга; $И_{пр}$ – предельная глубина истирания равная 1 см; $И_{840}$, $И_{560}$ определяются по стандартной методике.

Данная методика расчета истираемости и оценки долговечности бетона справедлива для условий эксплуатации без дополнительного воздействия других деструктивных факторов: увлажнение, высушивание, замораживание и оттаивание, воздействие агрессивных сред и т.д.

При испытаниях на совместное воздействие истирающих нагрузок и других факторов влияния целесообразно будет установить дополнительное требование по их учету в виде коэффициента снижения износостойкости. Например, коэффициент снижение износостойкости для образцов бетона, прошедших 100 циклов испытания на морозостойкость составляет $К \geq 0{,}75$.

Предложенная методика расчета истираемости бетона позволяет оценить долговечность бетонных покрытий полов, хотя и требует дополнительных исследований по влиянию условий эксплуатации и учету характера работы бетона различных составов по сопротивлению истирающему воздействию. С учетом проведения дополнительных исследований, она может быть распространена на бетонные покрытия дорог, тротуаров, парковок, аэродромов и др.

Библиографический список

1. Иванов, О.М. Бетонные покрытия полов промышленных зданий / О.М. Иванов. – М.: Стройиздат, 1971. – 124 с.
2. ГОСТ 13087-81 «Бетоны. Методы определения истираемости». – М., 1981.
3. ГОСТ Р 54257-2010 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования». – М., 2010.
4. СП 29.13330.2011 «Актуализированная редакция СНиП 2.03.13-88 Полы».
5. Федеральный закона №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

К содержанию

УДК 514.181.4

ОБ ОДНОМ ОСОБОМ СЛУЧАЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ ЦИЛИНДРОВ

В.А. Короткий, Т.Ю. Попцова

Рассмотрена геометрическая модель двух параболических цилиндров. Доказано, что если плоскости симметрии цилиндров параллельны, то линия пересечения цилиндров вырождается в две совпавшие несобственные прямые и кривую второго порядка. Для доказательства использована аффинная интерпретация известной теоремы начертательной геометрии. Отмечено, что электронный макет исследуемой фигуры не содержит доказательной информации, а предлагает лишь визуальный образ.

Ключевые слова: поверхность второго порядка, несобственная плоскость, несобственная образующая, двойное соприкосновение поверхностей, электронный макет.

Алгебраические кривые второго порядка (коники) и поверхности второго порядка (квадрики) традиционно считаются одним из важнейших объектов изучения, как в аналитической, так и в начертательной геометрии. Это объясняется рядом их свойств, благодаря которым они находят применение не только в геометрии, но в самых разных областях науки и техники. Теория квадрик и кривых второго порядка, несмотря на свою кажущуюся завершенность, продолжает пополняться, хотя и малозначительными, но новыми, ранее не замеченными сведениями о свойствах этих замечательных геометрических объектов.

В связи с развитием компьютерной техники и использованием компьютера для точного моделирования трехмерных геометрических фигур, появилась возможность проведения виртуальных геометрических экспериментов. В ходе эксперимента формируется электронный макет геометрической фигуры, с которым возможно выполнять виртуальные действия: разрез, перемещение, соприкосновение или пересечение с другой виртуальной геометрической фигурой, и т.д. При этом могут быть «экспериментально подтверждены» какие-либо предполагаемые геометрические свойства исследуемой фигуры.

Разумеется, как и в любом научном исследовании, результаты одного или даже множества экспериментов не имеют никакой доказательной силы. Обязательно требуется теоретическое осмысление результатов эксперимента: объяснение результата на основе известных теорий, либо формирование новой научной гипотезы (теории). Особенно это относится к геометрии, как разделу математики, где требуется математически строгое доказательство любого утверждения.

Геометрический эксперимент на компьютере, несмотря на свою высокую вычислительную точность, не является исключением. Предполагаемое (или случайно замеченное при разглядывании визуального образа) свойство геометрической фигуры, даже многократно подтвержденное на ее виртуальном электронном макете, требует строгого математического доказательства. В случае отсутствия такого доказательства научная и учебная ценность проведенного «экспериментального компьютерного исследования» равна нулю.

Пример 1. Рассматривается линия пересечения двух фокальных квадрик с общей плоскостью симметрии. Трехмерные электронные макеты квадрик «разрезаются» произвольной секущей плоскостью, параллельной общей плоскости симметрии. Отмечаются фокальные точки полученных сечений. Квадрики перемещаются до совпадения какой-либо пары найденных фокальных точек. На экране компьютера немедленно получается результат: поверхности пересекаются по кривой, которая визуально выглядит плоской. Попытка исследования этой кривой с помощью справочных средств графического редактора ни к чему не приводит, поскольку линия пересечения идентифицируется как «почти плоский» сплайн.

Варьируя вид фокальных квадрик (гиперболоиды, параболоиды) и положение секущих плоскостей, можно многократно повторять эксперимент, получая один и тот же результат: квадрики пересекаются по «почти плоской» сплайн-кривой. Возникает предположение, что отклонение от компланарности вызвано неточностью графического редактора, и может быть справедлива **теорема:** *фокальные квадрики с общей плоскостью симметрии пересекаются по плоской кривой, если совмещены фокусы пары компланарных сечений квадрик, параллельных общей плоскости симметрии*.

Доказательство теоремы формируется не с помощью средств графического редактора, а на основе базовых геометрических закономерностей, известных из курса начертательной геометрии [1]. Доказательное, математически строгое рассуждение следует из рассмотрения проективных соответствий в пучке коник с попарно совпавшими базисными точками на несобственной прямой [2], а также из теоремы о мнимом двойном соприкосновении фокальных квадрик с совпавшей парой фокусов (теоремы 1…4 из работы [2]).

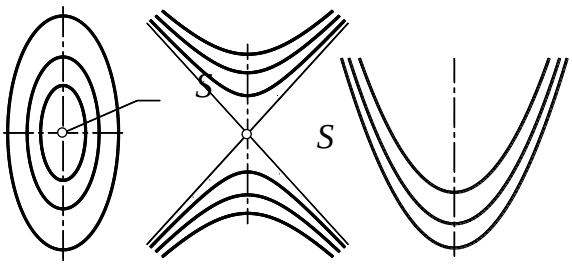


Рис. 1. Сечения фокальных квадрик

Действительно, из теоремы 1 следует, что пучки коник, полученные проецированием компланарных сечений данных квадрик на общую плоскость симметрии (рис. 1), могут быть приведены в перспективное расположение, а из теоремы 4 следует, что перспективность сохраняется при повороте пучков вокруг общего фокуса любой пары компланарных сечений.

Дальнейший шаг доказательства – выход в пространство, в результате которого пучки коник преобразуются в квадрики, находящиеся в двойном мнимом соприкосновении, а ось перспективности пучков коник преобразуется в плоскость, содержащую общие точки данных квадрик, то есть плоскую линию их пересечения. Тем самым не только строго доказывается предположение, сделанное на основе визуального рассмотрения электронных макетов, но и дается указание на теорему начертательной геометрии (о двойном прикосновении квадрик), которой «подчиняется» исследуемая инцидентность.

Пример 2. В пространстве даны два параболических цилиндра, плоскости симметрии которых параллельны (рис. 2). Требуется исследовать линию пересечения данных поверхностей.

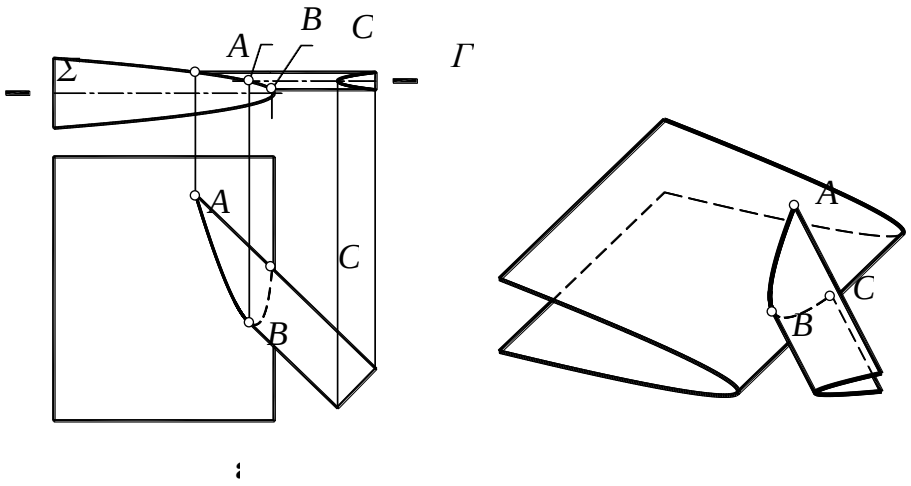


Рис. 2. Параболические цилиндры:
а – ортогональный чертеж; б – аксонометрия

Составив электронный макет параболических цилиндров, перемещаем и поворачиваем их произвольным образом, сохраняя только параллельность плоскостей симметрии *Σ*, *Γ*. На экране компьютера появляется линия *ABC* пересечения поверхностей (рис. 2б). Попытки идентифицировать эту линию с помощью справочных команд графического редактора ни к чему не приводят, поскольку линия определяется как «почти плоская» сплайн-кривая. Дальнейшие попытки исследования квазитрехмерного визуального образа на экране монитора не предоставляют новой информации.

Тем не менее, результат компьютерного эксперимента позволяет предполагать, что справедлива **теорема:** *параболические цилиндры с параллельными плоскостями симметрии пересекаются по плоской кривой*.

Доказательство. Отмечаем известное [1] аффинное свойство параболического цилиндра, погруженного в расширенное евклидово пространст-

во E^3: *параболический цилиндр касается несобственной плоскости пространства E^3 вдоль своей несобственной образующей.* Несобственная образующая параболического цилиндра совпадает с несобственной прямой его плоскости симметрии. Плоскости симметрии Σ, Γ данных параболических цилиндров параллельны, поэтому несобственные прямые s, g плоскостей Σ, Γ совпадают. Следовательно, оба цилиндра имеют общую образующую $s=g$, вдоль которой они соприкасаются как с несобственной плоскостью, так и между собой. Соприкосновение цилиндров вдоль общей образующей рассматривается как пересечение вдоль двух совпавших образующих. Иначе говоря, в пересечении цилиндров возникает плоская кривая (кривая второго порядка, выродившаяся в две совпавшие прямые $s=g$). Как известно из курса начертательной геометрии и из основной теоремы алгебры, в этом случае поверхности второго порядка пересекаются еще по одной плоской кривой, которую и замечают на экране компьютера. Теорема доказана.

Параболический цилиндр в проективной интерпретации рассматривается как коническая поверхность второго порядка, соприкасающаяся с несобственной плоскостью. Произвольное проективное преобразование переводит параболические цилиндры с параллельными плоскостями симметрии (см. рис. 2) в конические поверхности второго порядка с общей касательной плоскостью и совпадающими линиями касания. Следовательно, доказанная теорема допускает следующее обобщение: *конические поверхности второго порядка, соприкасающиеся по прямолинейной образующей, пересекаются по плоской кривой*.

Заключение. Недостаточно заметить на электронном макете какое-либо геометрическое свойство исследуемой фигуры. Надо объяснить замеченное свойство, доказать его на основе известных теорем и понятий начертательной геометрии. Трехмерная компьютерная модель (электронный макет) не содержит необходимой для доказательства информации. Только использование базовых, фундаментальных сведений из курса начертательной геометрии позволяет сделать необходимые научные обобщения.

Библиографический список

1. Иванов, Г.С. Теоретические основы начертательной геометрии: учебное пособие / Г.С. Иванов. – М.: Машиностроение, 1998. – 158 с.

2. Короткий, В.А. Конструирование плоского сопряжения фокальных квадрик / В.А. Короткий // Приволжский научный журнал. – 2014. – № 1. – С. 19–26.

К содержанию

УДК 514.181.24+692.45 + 624.074.4

КРИВЫЕ ВТОРОГО ПОРЯДКА В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБОЛОЧЕК

В.А. Короткий, Е.А. Усманова

Рассматриваются способы геометрического моделирования архитектурных оболочек, опирающихся на заданный плоский или пространственный замкнутый контур. Каркас поверхности задается как однопараметрическое множество кривых второго порядка с переменным эксцентриситетом. Для управления формой оболочки используются линейчатые направляющие поверхности.

Ключевые слова: четырехмерное пространство, ключевой способ, кинематический способ, гладкость, каркас, направляющая поверхность.

Свойства поверхности во многом определяются свойствами линий, образующих эту поверхность. Свойства линий, в свою очередь, определяются видом математических функций, описывающих эти линии.

В современных САПР основным инструментом моделирования кривых линий сложной формы являются NURBS-кривые, благодаря как их свойствам, так и внедрению в международные стандарты CAD/CAM. При этом моделирование поверхности по существу сводится к ее аппроксимации по заданному заказчиком набору координат реперных точек, исходя из заданного порядка гладкости сшиваемой поверхности.

Не противопоставляя методы начертательной и вычислительной геометрии и не пытаясь конкурировать с идеологией CALS, рассмотрим примеры кинематического образования поверхностей с использованием кривых второго порядка в качестве основного формообразующего элемента.

Пример 1. Одним из способов моделирования поверхностей является ключевой способ, в соответствии с которым определитель поверхности содержит некоторое геометрическое условие («ключ»), посредством которого задается закон изменения формы образующей. Ключ проекционно связан с главными видами, что позволяет рассматривать чертеж с изображением ключа как чертеж двумерной поверхности, находящейся в четырехмерном пространстве [1, 2].

Пусть требуется смоделировать поверхность, свободно натягиваемую на треугольный контур, ограниченный кривыми второго порядка (модель паруса, рис. 1а). Присваивая узлам произвольные значения координат по оси *t*, погружаем контур *ABC* в четырехмерное пространство. При определенном выборе базисных инциденций плоскости звеньев *AC, BC* и сами звенья проецируются на *Г′*(*xyt*) прямыми *A′C′* и *B′C′* (рис. 1б).

Формируем в четырехмерном пространстве два пучка вспомогательных плоскостей. Будем полагать, что плоскости ω_i пучка ω с осью CZ^{∞} перспективны ряду точек звена AB, а плоскости δ_j пучка δ проходят через базисную точку X^{∞} и через точки пересечения противолежащих звеньев AC и BC вспомогательными гиперплоскостями уровня $y=const$. Двупараметрическое множество точек пересечения плоскостей пучков δ, ω образует поверхность, «натянутую» на контур ABC в пространстве E^4, проекция которой на $\Gamma(xyz)$ – искомая поверхность, а на $\Gamma'(xyt)$ – отсек конической поверхности с вершиной C' и направляющей $A'B'$.

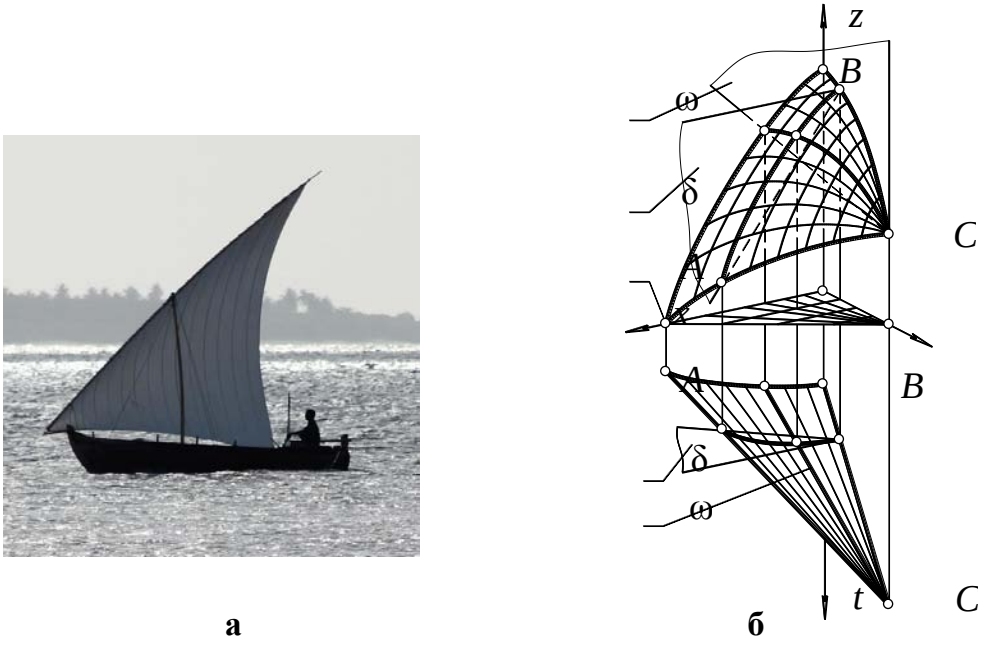


Рис. 1. Четырехмерная модель оболочки «парус»: а – прообраз;
б – модель оболочки на трехмерном гиперэпюре

В частности, если одна из сторон контура ABC – прямая линия, а две стороны – конические сегменты, то оба семейства образующих поверхности – кривые второго порядка. Оба семейства образующих – гладкие кривые, следовательно, получаем гладкую поверхность, в каждой своей точке имеющую единственную касательную плоскость [3, 4].

Поверхность в четырехмерном пространстве формируется как двупараметрическое множество точек пересечения двух пучков плоскостей с базисными точками U и V. Нарушение гладкости такой поверхности может происходить только в отдельных (особых) точках. В частности, если какая-либо плоскость β пучка U проходит через базисную точку V другого пучка, то получаем, что все плоскости пучка U пересекаются с плоскостью β в точке V, которая становится особой точкой поверхности. Если точка V – несобственная, получаем разрыв непрерывности второго рода.

Пример 2. Пусть дан прямоугольный в плане пространственный замкнутый контур *ABCD*, фронтальные звенья *AB* и *CD* которого – дуги кривых второго порядка, а боковые звенья *AD* и *BC* – произвольные гладкие кривые (рис. 2а). Требуется построить непрерывную гладкую (не имеющую изломов) поверхность, проходящую через данный замкнутый контур [5].

В этом примере использован кинематический способ формирования поверхности: образующая скользит по направляющим *AD* и *BC*, плавно изменяя свою форму от дуги конического сечения *AB* до дуги *CD*. Ряд последовательных положений образующей формирует конструируемую поверхность.

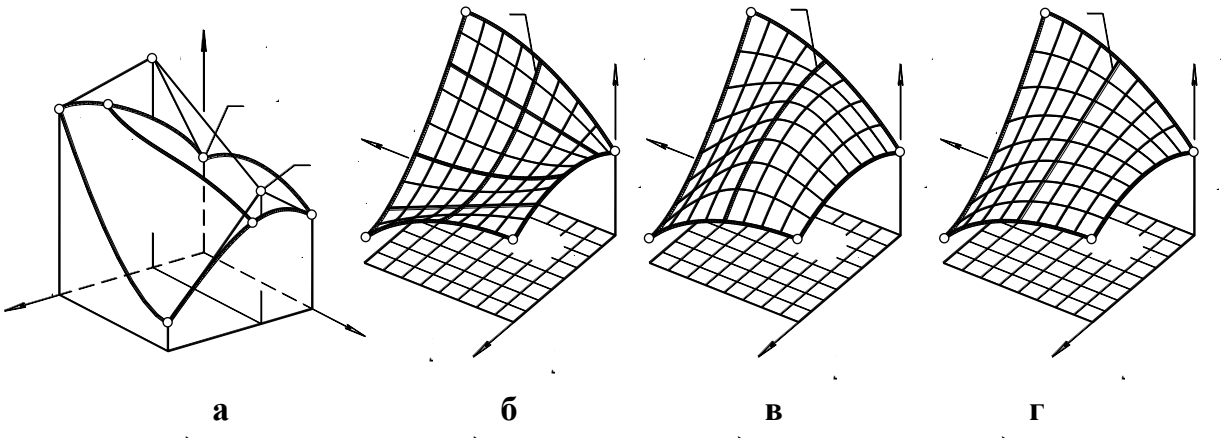


Рис. 2. Оболочка на замкнутом контуре:
а – определитель поверхности; б – вогнутая направляющая;
в – выпуклая направляющая; г – прямолинейная направляющая

Потребуем, чтобы образующая во всех своих положениях была кривой второго порядка. Кривая второго порядка на плоскости обладает пятью степенями свободы, поэтому для управления ее формой следует указать пять условий, определяющих положение этих элементов (точек и касательных) в зависимости от некоторого параметра *u*. Конструируемая поверхность имеет прямоугольное в плане основание, ориентированное по осям *x* и *y* декартовой системы координат, поэтому в качестве параметра *u* может быть принята координата *y*.

Каждому значению параметра *u=y* должна соответствовать единственная образующая, лежащая в плоскости, параллельной фронтальной плоскости *xz*. Чтобы задать касательные к образующей во всех точках направляющих *AD* и *BC*, укажем две вспомогательные линейчатые поверхности с плоскостью параллелизма *xz* и с направляющими *AD, p* и *BC, q*. В частности, если принять *p=q=IJ* (см. рис. 2а), то получаем два направляющих коноида $\eta(AD, IJ)$ и $\psi(BC, IJ)$ с плоскостью параллелизма *xz*. Потребуем, чтобы конструируемая оболочка касалась коноида η в точках звена *AD*,

а коноида ψ – в точках звена *BC*. Это требование обеспечивает однозначность определения касательных к образующей в точках, пробегающих по боковым звеньям *AD* и *BC* опорного контура.

Чтобы зафиксировать единственную оставшуюся степень свободы, следует указать дополнительную направляющую *m*, которая назначается в соответствии с требованиями (техническими, эстетическими), предъявляемыми к конструируемой поверхности. При изменении формы дополнительной направляющей *m* меняется форма оболочки.

На рис. 2 показаны три варианта поверхности – с вогнутой (рис. 2б), выпуклой (рис. 2в) и прямолинейной (рис. 2г) дополнительной направляющей *m*. В соответствии с вышеописанным алгоритмом, во всех вариантах получается непрерывная гладкая поверхность, образованная однопараметрическим множеством кривых второго порядка, изменяющих свою форму от *AB* до *CD*. Заметим, что поверхность с вогнутой направляющей содержит две кривые второго порядка, выродившиеся в прямолинейные образующие. Очевидно, наличие прямолинейных элементов в каркасе поверхности следует считать ее технологическим преимуществом.

Таким образом, конструируемая поверхность определяется не двупараметрическим множеством табулированных точек, как это реализуется в идеологии САПР, а однопараметрическим множеством кривых второго порядка.

Пример 3. В современной архитектуре используются поверхности, имитирующие естественные природные формы. При этом ставится задача «натягивания» оболочки на плоский или пространственный криволинейный контур, образованный, в частности, сегментами конических сечений. В этом случае поверхность оболочки может быть построена с помощью кривых второго порядка и линейчатых направляющих поверхностей [6].

Поверхность (рис. 3а) образована движением кривой второго порядка, скользящей по направляющей *l* и плавно изменяющей свою форму от гиперболы *g* до эллипса *e*. Три точки образующей на направляющих *MN*, *KL*, *l* (три степени свободы) определяются значением координаты *x*. Для фиксации двух оставшихся степеней свободы указываем симметрично расположенные коноиды η(*MN*, *M′T′*) и ψ(*KL*, *L′T′*) с плоскостью параллелизма *yz*, соприкасающиеся с конструируемой оболочкой вдоль сторон *MN*, *KL* основания. Прямолинейные образующие *M′T′* и *L′T′* соприкасающихся коноидов проходят через точку *T′* пересечения касательных к входному опорному контуру *g* и через точки *M′*, *L′* на вертикальных касательных к выходному контуру *e*. При изменении положения точек *M′*, *L′* меняется «полнота» конструируемой оболочки.

На рис. 3б показан купол, «натянутый» на коньковую линию *l* и на опорные эллипсы e_1, e_2. Поверхность образована вращением кривой второго порядка *e* вокруг оси *AB*, где *A*, *B* – точки пересечения кривых e_1, e_2.

Вершина образующей *e* «скользит» по направляющей *l*; при этом *e* плавно меняет свою форму от e_1 до e_2, во всех промежуточных положениях оставаясь кривой второго порядка. Направляющие поверхности η и ψ вырождаются в плоскости, касающиеся конструируемой оболочки в узлах *A*, *B*.

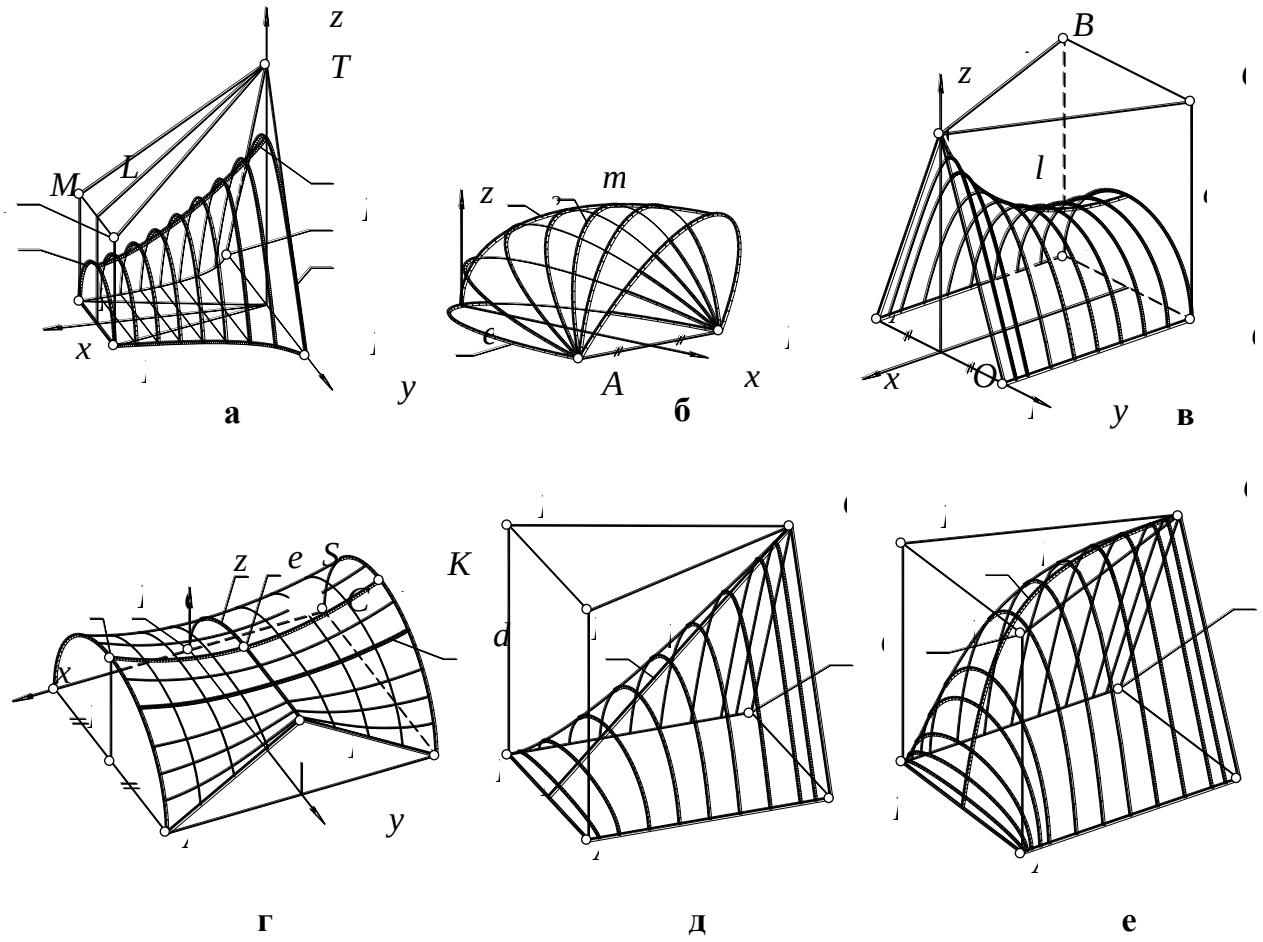


Рис. 3. Оболочки: а, б – на произвольном основании;
в, г, д, е – на прямоугольном основании

Пусть требуется сформировать гладкую оболочку, «натянутую» на опорный треугольник *AO′D* и полуокружность *e*, то есть обеспечить плавный переход от треугольного к круговому поперечному сечению (рис. 3в). Переходная поверхность образуется движением кривой второго порядка, скользящей по заданной направляющей *l* и плавно изменяющей свою форму от вырожденной гиперболы *AO′D* до окружности *e*. Как и в предыдущем примере, три точки этой кривой определяются значением координаты *x*. Для фиксации двух оставшихся степеней свободы указываем симметрично расположенные гиперболические параболоиды η(*DC*, *O′C′*) и ψ(*AB*, *O′B′*) с плоскостью параллелизма *yz*, соприкасающиеся с конструируемой оболочкой вдоль сторон *DC*, *AB* основания. При изменении положения точек *B′*, *C′* меняется «полнота» конструируемой оболочки.

Если какое-либо звено опорного контура содержит излом, то поверхность «сшивается» из четырехугольных порций. Пусть требуется натянуть оболочку на пространственный контур, составленный из дуг окружностей *AKD, BK'C*, ломаной линии *ALB* и отрезка *CD* (рис. 3г). В качестве дополнительных геометрических условий указаны гладкие кривые: коньковая линия *KSK'*, горловая линия *OSL*, состоящая из дуги *e* эллипса и отрезка *SL* (с гладкостью первого порядка в стыковой точке *S*), и дополнительная направляющая *d*.

Порция поверхности на контуре *AKSL* формируется подвижной образующей (сегментом кривой второго порядка), меняющей свою форму (при изменении параметра $u=x$) от дуги *AK* окружности до отрезка *SL*. Аналогично формируется порция поверхности на контуре *ODKS*.

Получаем составную поверхность с гладкостью первого порядка вдоль коньковой линии *KSK'* и с изломом вдоль направляющего отрезка *SL*. Произвольная образующая, лежащая в какой-либо профильной плоскости $x=const$ – составная кривая, состоящая из двух сегментов кривых второго порядка. В стыковой точке, лежащей на коньковой линии, оба сегмента имеют общую горизонтальную касательную, совпадающую с соответствующей образующей соприкасающейся цилиндрической поверхности η.

Если опорный контур оболочки содержит прямолинейное звено, то оно рассматривается как вырожденная кривая второго порядка. При этом образующая коника скользит по направляющей *l*, изменяя свою форму от прямой линии *AD* до треугольника *OBC*, который также рассматривается как вырожденная кривая второго порядка (рис. 3д, е).

Пример 4. Пусть требуется сконструировать гладкую (всюду дифференцируемую) поверхность, опирающуюся на прямоугольный фундамент *ABCD* и касающуюся боковых граней призмы, построенной на этом контуре как на основании (рис. 4а).

Поверхность формируется при параллельном перемещении образующего полуэллипса *e* по направляющей *g*. Кривая *e*, скользя по *g*, изменяет свою форму от полуэллипса до прямой *AD* или *BC*. Первое семейство образующих состоит из множества полуэллипсов $e\|zy$, опирающихся на стороны *AB* и *CD* фундамента. Множество полуэллипсов переменного эксцентриситета, параллельных плоскости *xz*, составляет второе семейство линий каркаса поверхности [7, 8].

Поверхность описывается алгебраическим уравнением четвертого порядка. Принимая $AB=CD=2a_0$, $AD=BC=2b_0$ и обозначив высоту купола c_0, получаем уравнение поверхности эллиптического купола в виде

$$\frac{x^2}{a_0^2}+\frac{y^2}{b_0^2}+\frac{z^2}{c_0^2}-\frac{x^2}{a_0^2}\frac{y^2}{b_0^2}=1,$$

где параметр $c^2=b_0^2(1-y^2/b_0^2)$ изменяется от c_0^2 (при $y=0$) до нуля (при $y=\pm b_0$).

Сечение поверхности плоскостью $z=0$ распадается на две пары параллельных прямых: $x=\pm a$, $y=\pm b$, что соответствует форме прямоугольного основания. В сечениях вертикальными плоскостями $x=a$, $y=b$ ($a\le a_0$, $b\le b_0$) получаем два семейства эллипсов с переменным эксцентриситетом. Пренебрегая в бесконечно малой окрестности угловой точки слагаемыми третьего и четвертого порядков малости, получаем вместо уравнения купола уравнение эллиптического конуса $z^2/c_0^2=4xy/a_0b_0$ с осью $x=y$, $z=0$ и вершиной в угловой точке. Таким образом, в малой окрестности угловой точки поверхность купола на прямоугольном фундаменте близка к конической поверхности второго порядка.

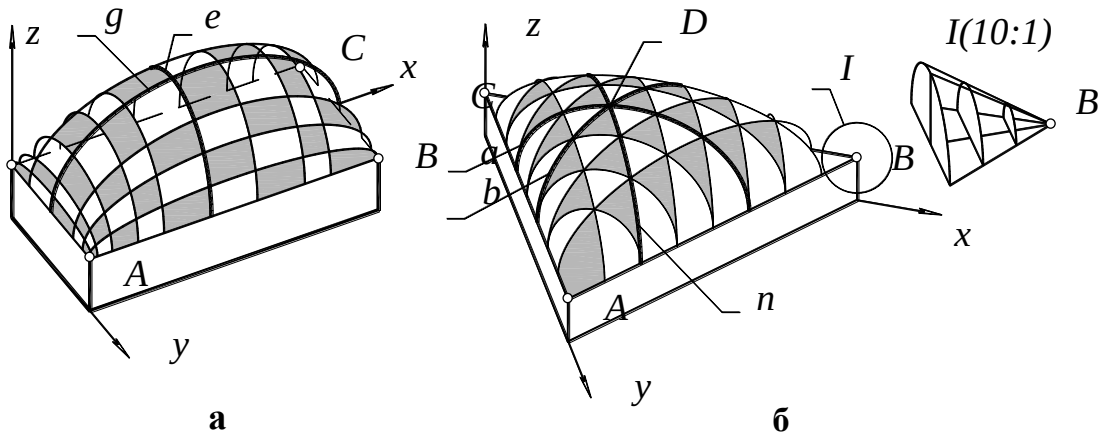


Рис. 4. Эллиптический купол: а – на прямоугольном фундаменте;
б – на треугольном фундаменте

Пусть требуется сконструировать эллиптический купол, опирающийся на треугольный контур ABC (рис. 4б). Выделяем пучок вертикальных плоскостей, параллельных стороне BC, и в плоскостях пучка вычерчиваем полуэллипсы a, опирающиеся своими вершинами на стороны AC, AB и пересекающие направляющий эллипс n. Уравнение оболочки имеет вид

$$xy^2 - xy + x^2y + \frac{\delta}{\varepsilon}z^2 = 0\,.$$

Положив $z=0$, получаем уравнения трех прямых: $x=0$, $y=0$, $y=1-x$, что соответствует форме равнобедренного прямоугольного треугольника ABC, лежащего в основании купола. Положив $x=const$, получаем уравнение эллипса. Аналогичным образом, положив $y=const$ или $y-x=const$, также получаем уравнения эллипсов, что доказывает наличие трех семейств эллиптических образующих на конструируемой поверхности. Если пренебречь слагаемыми третьего порядка малости, то в малой окрестности I угловой точки A получаем уравнение $z^2\delta/\varepsilon = xy$, описывающее поверхность эллиптического конуса с осью $x=y$, $z=0$ и вершиной в точке A (см. рис. 4б).

Следовательно, в малых окрестностях угловых точек *A, B, C* поверхность оболочки близка к конической поверхности второго порядка.

Заключение. Несмотря на широкое распространение сплайн-функций, положенных в основу математических ядер современных отечественных и зарубежных САПР, кривые второго порядка имеют самостоятельное значение и не могут быть заменены составными кривыми в научной или конструкторской работе. В графической САПР обязательно должна быть возможность их построения по любому набору инциденций, визуализации на экране компьютера и использования в инженерных расчетах и конструкторской документации [9], наравне с кривыми Безье, NURBS и др.

Библиографический список

1. Волошинов, Д.В. Конструктивное геометрическое моделирование. Теория, практика, автоматизация: монография / Д.В. Волошинов. – Saarbrucken: Lambert Academic Publishing, 2010. – 355 с.

2. Короткий, В.А. Компьютерное моделирование фигур четырехмерного пространства / В.А. Короткий // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2014. – № 7. – С. 14–20.

3. Короткий, В.А. Геометрическое моделирование поверхности посредством ее отображения на четырехмерное пространство / В.А. Короткий // Омский научный вестник. Серия «Приборы, машины и технологии». – 2015. – № 1 (137). – С. 8–18.

4. Короткий, В.А. Геометрическое конструирование оболочек способом выхода в четырехмерное пространство / В.А. Короткий, Е.А. Усманова, Л.И. Хмарова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2014. – Т. 14, № 2. – С. 48–51.

5. Короткий, В.А. Кривые второго порядка в задачах формообразования архитектурных оболочек / В.А. Короткий, Е.А. Усманова // Известия ВУЗов. Серия «Строительство». – 2014. – № 9–10 (669–670). – С. 101–107.

6. Короткий, В.А. Архитектурная оболочка на замкнутом контуре / В.А. Короткий, Е.А. Усманова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 47–51.

7. Короткий, В.А. Эллиптический купол на треугольном или четырехугольном фундаменте / В.А. Короткий // Приволжский научный журнал. – 2015. – № 1. – С. 96–102.

8. Короткий, В.А. Применение кривых второго порядка для конструирования гладких каркасно-сетчатых поверхностей / В.А. Короткий, Е.А. Усманова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2014. – Т. 14, № 3. – С. 45–48.

9. Короткий, В.А. Синтетические алгоритмы построения кривой второго порядка / В.А. Короткий // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2014. – № 11. – С. 20–24.

К содержанию

УДК 332.6(470) + 711.4:332.6

МАССОВАЯ ОЦЕНКА НЕДВИЖИМОСТИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.М. Костин, Д.Ю. Аршакян

Раскрыто содержание массовой оценки объектов недвижимости, проведен сравнительный анализ массовой и индивидуальной оценки объектов недвижимости. Выявлены проблемы проведения кадастровой оценки земель населенных пунктов в Российской Федерации, предложены пути решения существующих проблем. Определены перспективные направления развития массовой оценки объектов недвижимости в Российской Федерации, позволяющие использовать результаты такой оценки не только в целях налогообложения, но и при управлении развитием территорий.

Ключевые слова: массовая оценка объектов недвижимости, кадастровая оценка земель населенных пунктов, управление городскими территориями.

В России в соответствии с последними изменениями, внесенными в Налоговый кодекс, планируется переход от существующей фискальной системы земельных платежей к взиманию единого налога на недвижимость, включающего в себя земельный участок и расположенные на нем объекты капитального строительства. В связи с этим, в настоящее время вопрос об определении налогооблагаемой базы становится очень актуальным.

Массовая оценка недвижимости является важным элементом систем налогообложения недвижимости, основанных на стоимости. Формирование, становление и развитие систем массовой оценки недвижимости было вызвано развитием систем налогообложения в тех странах, в которых введен налог на недвижимость и в качестве базы налога выбрана стоимость недвижимости [1]. Массовая оценка представляет собой процесс определения стоимости группы единиц недвижимого имущества по состоянию на конкретную дату с использованием общих данных, стандартизированных методов и статистического тестирования.

Основная цель разработки и создания системы массовой оценки недвижимости – обеспечение функционирования и совершенствования системы налогообложения недвижимости, основанной на стоимости. Этому посвящены работы таких зарубежных и российских авторов, как Р. Олми, Д. Янгмена, И.А. Майбурова, М.Ю. Березина, М.Е. Косова и т. д.

Массовая оценка представляет собой специальный подход к упрощенной оценке большой группы однородных объектов. Такая оценка производится по определенной методике: для оцениваемого объекта определяется

соответствующий набор значений фиксированного множества его параметров, а затем по неизменным для всех объектов правилам формируется значение его оценки [2].

Согласно международному стандарту по массовой оценке стоимости недвижимого имущества, «массовая оценка представляет собой процесс определения стоимости группы единиц недвижимого имущества по состоянию на конкретную дату с использованием общих данных, стандартизированных методов и статистического тестирования».

Международное руководство по оценке недвижимости «Массовая оценка для налогообложения имущества» (2004 г.) содержит подробное описание массовой оценки как процесса, состоящего из последовательно выполняемых этапов:

– определение объектов недвижимости, которые должны быть оценены;

– анализ и сегментирование рынка недвижимости;

– определение факторов стоимости, которые оказывают влияние на стоимость на определенном сегменте рынка недвижимости;

– разработку структуры модели, которая отражает взаимосвязи между факторами стоимости в данном сегменте рынка и стоимостью;

– калибровку структуры модели для определения вклада индивидуальных характеристик объектов недвижимости, оказывающих влияние на стоимость;

– применение модели к характеристикам оцениваемых объектов имущества, получение стоимости объектов оценки;

– рассмотрение и согласование результатов оценки;

– придание законной силы результатам: моделям, расчетам или другим данным [3].

Массовая оценка городских земель проводится обычно в кадастровых целях при создании в городе системы кадастра недвижимости, включающего две основные подсистемы: подсистему учета и регистрации и подсистему оценки городских земель. Система кадастровой оценки городских земель включает три иерархических уровня. Поквартальная оценка – основной расчетный уровень, рассматриваемый в качестве нормативной базы для расчетов поучастковой оценки земель и преобразуемый в направлении генерализации в территориально-экономическое зонирование, а в направлении детализации – в оценку земельных участков. Поучастковая оценка – нижний уровень, формируемый на основе базовой поквартальной оценки и предназначенный для информационного обеспечения системы налогообложения недвижимости и ставок арендных платежей, для информационной поддержки рынка земли, фондового рынка ценных земельных бумаг и ипотеки. Территориально-экономическое зонирование – верхний уровень, имеющий наглядный, обзорный характер и предназначенный для всех пользователей кадастровой информации, принимающих те или иные крупномасштабные, долгосрочные или поисковые решения [2].

В разных странах применяют разные методы и приемы массовой оценки земель, но в большинстве случаев кадастровая стоимость определяется на основе рыночной стоимости объектов недвижимости. Современные зарубежные методы оценки стоимости земель основаны на опыте и интуиции оценщика и анализе статистики продаж (Дж. Эккерт, Г. Харрисон, Дж. Фридман др.). В отечественной теории и практике оценки прослеживаются заимствование западных методов (Н.В. Калинина) и разработка собственных методов (А.А. Сегединов, С.И. Кабакова и др.). Однако недостатком всех этих методов является то, что оценка почти всегда осуществляется безотносительно к той функции, под которую предполагается использование тех или иных элементов территории, не учитываются предстоящие затраты и потери, связанные с предположительным использованием территории под ту или иную функцию [4].

В российском контексте для понятия «массовая оценка» имеется синоним «кадастровая оценка», причем исторически сложилось так, что понятие «кадастровая оценка» прочно вошло в профессиональный лексикон оценщиков, именно его применяют в нормативно-правовых документах, учебно-научной литературе, обзорах и публикациях. Определение «кадастровая оценка» указывает на информационный ресурс – государственный кадастр недвижимости: в результате проведения кадастровой оценки определяется кадастровая стоимость, которая является учетной характеристикой объектов в государственном кадастре недвижимости [1].

Учебник «Оценка недвижимости» под редакцией А.Г. Грязновой и М.А. Федотовой, изданный в 2003 году, содержит следующее определение: «кадастровая оценка – совокупность административных и технических действий по установлению кадастровой стоимости объектов недвижимости в границах административно-территориального образования по оценочным зонам, выполненных на определенную дату» [5].

В России понятие «кадастровая стоимость» возникло относительно недавно. Правительством Российской Федерации 25 августа 1999 г. принято Постановление № 945 «О государственной кадастровой оценке земель» [6], положившее начало проведению работ по государственной кадастровой оценке всех категорий земель на территории Российской Федерации. Результатом государственной кадастровой оценки является кадастровая стоимость объектов недвижимости [1].

Однако в данном стандарте не приведен перечень методов массовой оценки, не раскрыто их содержание. Таким образом, законодательство в Российской Федерации еще не до конца определило понятие и процесс массовой оценки объектов недвижимости.

В мировой оценочной практике выделяют два вида оценки стоимости земельных ресурсов: массовую и индивидуальную.

Оба вида оценки представляют собой систематические методы расчета стоимости. В обоих случаях необходим анализ рынка, но принципиальная разница заключается в масштабе проведения и контроле качества выполненной оценки.

Объектом массовой оценки является не отдельный объект недвижимости (здание, строение, земельный участок и т.д.), а совокупность этих объектов, которые предварительно группируются по некоторому критерию однородности (чаще всего в одну группу включаются объекты с одинаковым функциональным назначением).

Модели массовой оценки ориентированы на воспроизводство рынка одного или нескольких вариантов землепользования на обширной географической территории. Для выполнения массовой оценки требуются значительный персонал; разработка стандартной методики, способной унифицировать процедуру оценки большого числа объектов собственности на конкретную дату; использование статистических методов как в процессе оценки, так и для проверки качества выполненной оценки. Массовая оценка как нельзя лучше подходит для налогообложения.

Индивидуальная оценка проводится исключительно по желанию собственник, в то время как массовая оценка является регулярной.

Оценка единичных объектов собственности на конкретную дату выполняется, как правило, небольшим количеством персонала, решение принимается одним специалистом. Качество выполненной работы определяется путем сопоставления с реальными продажами аналогичных объектов.

Для массовой оценки характерна повышенная степень стандартизации процедур и значительное увеличение роли статистических методов обработки данных. Это связано с использованием в процессе массовой оценки лишь наиболее существенных факторов влияния параметров объекта на его стоимость, а также с необходимостью определения объективных закономерностей изменения стоимостного эквивалента, что возможно только при использовании методов экономико-тематического анализа.

Важнейшим этапов проведения массовой оценки объектов недвижимости является осуществление оценочного зонирования территории.

Относительно однородные территории по уровню рыночных цен на землю или показателям ценообразующих факторов выделяются границами на карте города. При этом границы совмещаются с границами кадастровых кварталов.

При зонировании территории по уровню рыночных цен выделяются и объединяются в одну оценочную зону кварталы с близкими значениями (различие не более 15–25 %) рыночных цен на земельные участки.

Структура факторов ценообразования рыночной стоимости земли и их ранговый вес (вклад фактора) варьируют в зависимости от положения района на территории области и величины города (поселка), а также разного

целевого назначения земель. Так, для оценки городских территорий, предназначенных и используемых под объекты жилой застройки, анализируются следующие факторы: транспортное обслуживание, доступность центра города и других центров массового тяготения населения; уровень инженерного оборудования и благоустройства: уровень развития сферы культурно-бытового обслуживания населения, эстетическая, историческая ценность застройки и ландшафтная ценность территории: состояние окружающей среды, санитарные и микроклиматические условия; инженерно-геологические условия строительства и степень подверженности территории разрушительным природным и техногенным воздействиям.

Основными источниками информации о рыночных ценах на землю являются сделки купли-продажи по застроенным и незастроенным земельным участкам, ставки арендной платы за земельный участок и нежилые помещения, результаты аукционных торгов по земельным участкам, цены предложений и спроса на земельные участки, дома и квартиры по публикациям в средствах массовой информации и справочных изданиях, а также по данным риелторских фирм. Анализируется и косвенная информация, включающая некоторые индикаторы, на основе которых могут быть установлены показатели стоимости местоположения (или стоимости земли): цены на дома, квартиры, нежилые помещения с помощью различных модификаций остаточного метода (остатка для земли) начиная от простейших, когда из рыночной стоимости объекта недвижимости как единого имущественного комплекса вычитается восстановительная стоимость строений и других улучшений участка, до более сложных, комбинирующих методы линейной регрессии, адаптивной оценки и нелинейного регрессионного анализа [7].

Поскольку операции на рынке недвижимости в России на сегодняшний день представлены в основном сделками с квартирами, расположенными в многоэтажных многоквартирных домах, то предлагаем взять именно этот сектор рынка недвижимости для анализа и разработки методов массовой оценки. При этом, о таком рынке недвижимости возможно говорить только в крупных и крупнейших городах, где количество сделок достаточно для осуществления выборки так называемых «эталонных» объектов – типовых объектов недвижимости, которые наиболее часто включены в рыночный оборот.

Эффективно функционирующий институт государственной кадастровой оценки недвижимости предполагает наличие следующих основных элементов:

1) существование правовой инфраструктуры, определяющей, поддерживающей и защищающей право собственности на объекты недвижимости;

2) существование системы кадастра объектов недвижимого имущества, обеспечивающей гарантированную государством однозначную идентифи-

кацию и достоверное определение характеристик объектов недвижимости, и системы государственной регистрации прав на недвижимость и сделки с ней, обеспечивающей государственные гарантии прав собственности на объекты недвижимости;

3) достаточную степень развитости рынков недвижимости, обеспечивающих достаточное количество информации для проведения объективной оценки объектов недвижимости;

4) достаточное количество обученных специалистов, способных внедрить и поддерживать развитие института налоговой оценки;

5) существование признаваемых обществом методологий государственной кадастровой оценки недвижимости;

6) наличие системы менеджмента качества кадастровой оценки недвижимости;

7) существование института защиты прав налогоплательщика в его взаимоотношениях с государственными органами исполнительной власти и муниципальными образованиями.

Все эти элементы на современном этапе развития кадастровой оценки в той или иной мере определены; степень зрелости элементов соответствует уровню развития системы кадастровой оценки недвижимости в Российской Федерации [1].

Следующим этапом модернизации имущественного налогообложения будет введение налога на недвижимость. Этому будет способствовать опыт определения кадастровой стоимости и использования результатов кадастровой оценки в расчете земельных налогов. Международные проекты стали исходными для разработки обоснованной налоговой политики в отношении налогообложения недвижимости и анализа возможных социально-экономических последствий применения кадастровой стоимости в налогообложении. Но до тех пор, пока в Российской Федерации не будут разработаны технологии проведения кадастровой оценки объектов недвижимости, которые позволяют наиболее приближенно определить стоимостные показатели в упрощенном виде, говорить о налоге на недвижимость рано. В связи с этим, каждый год процесс перехода к налогу на единый объект недвижимости откладывается, поскольку проблема кадастровой оценки объектов недвижимости так и остается неразрешенной.

С учетом этих особенностей можно сделать вывод о том, что массовая оценка изначально предназначена для решения задач общегородского характера (определение налогооблагаемой базы, обоснование планов перспективного развития системы городского хозяйства и т.д.), которые не могут быть эффективно решены с использованием традиционных методов индивидуальной оценки. Очевидно также, что проведение массовой оценки даже небольшого по площади населенного пункта требует значительных затрат на сбор информации, инвентаризацию земель и обработку большого массива данных.

В связи с этим, считаем возможным создать отделы по мониторингу и массовой оценке на уровне органов местного самоуправления, которые бы осуществляли сбор сведений об объектах недвижимости, проводили мониторинг рынка недвижимости. Отсюда следует, что ведение мониторинга рынка недвижимости становится государственной задачей, от выполнения которой зависит определение налогооблагаемой базы объектов недвижимости. Обязательным условием функционирования таких институций является межведомственное взаимодействие с организациями, участвующими в процессе создания, описания, учета, регистрации оценки и налогообложения недвижимости.

Также весомый вклад в развитие массовой оценки объектов недвижимости должно ввести специально разработанное программное обеспечение, позволяющее вести базу данных объектов недвижимости, проводить анализ различных показателей, строить модели и автоматизировать процесс проведения массовой оценки объектов недвижимости.

Фискальная функция налогообложения земли хотя и является основной и сохраняет свою актуальность, тем не менее не является единственной. Налогообложение земли призвано выполнять и иные функции, прежде всего регулирующую, обеспечивая экономическое воздействие на поведение землевладельцев и землепользователей. Кроме того, налог на землю – необходимый элемент системы управления земельными ресурсами, который призван обеспечивать помимо наполнения бюджета рациональное использование земли как важнейшего экономического ресурса, естественного пространственного фактора, обеспечивающего развитие субъекта РФ и муниципальных образований как социально-экономической целостности [8].

В то же время, существующие в мире методы и технологии проведения массовой оценки недвижимости не учитывают возможности перспективного изменения объектов недвижимости, поскольку при ее проведении не учитываются такие показатели, как размеры, планировочная структура, народно-хозяйственное значение населенных пунктов. Наилучшее и наиболее эффективное использование массовая оценка учитывать не может, поэтому комплексную градостроительную оценку территорий переводят на рентную составляющую.

Полагаем, что учет данных факторов при проведении массовой оценки недвижимости даст возможность построить рельеф ценности городской земли, определить влияние наиболее значимых факторов, снижаемых ее ценность, что позволит повысить эффективность управления городскими территориями.

Библиографический список

1. Пылаева, А.В. Развитие кадастровой оценки недвижимости: монография / А.В. Пылаева; Нижегор. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2012. – 130 с.

2. Ромм, А.П. Основные принципы оценки городских земель / А.П. Ромм. – URL: http://www.metal-profi.ru/library/osnovne_pri.htm.

3. Массовая оценка для налогообложения имущества [Электронный ресурс]: международное руководство по оценке недвижимости (МСО 2005) МР13 // International Valuation Standards Committee. – URL: http://www.nalog-imushestvo.ru/about/list/425/20759/.

4. Ромм, А.П. Концепция кадастровой оценки городских земель на основе градостроительного подхода / А.П. Ромм // Российское общество оценщиков: Крулый стол: Тверь. – 22.05.1998. – 9 с.

5. Оценка недвижимости: учебник / под ред. А.Г. Грязновой, М.А. Федотовой; Фин. акад. при Правительстве Рос. Федерации. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 492 с.

6. Постановление Правительства Российской Федерации от 25.08.1999 № 945 «О государственной кадастровой оценке земель». – URL: www.consultant.ru.

7. Решение Владимирского городского Совета народных депутатов от 22.03.2001 № 62 «О Методике массовой оценки городских земель для целей налогообложения». – URL: www.consultant.ru.

8. Варламов, А.А. Земельный кадастр. В 6 т. Т. 2. Управление земельными ресурсами / А.А. Варламов. – М.: КолосС, 2004. – 528 с.

К содержанию

УДК 744:621 + 378.016: 744

ПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ В ОБЛАСТИ ГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

Н.С. Кувшинов

Показано, что для подготовки специалистов в вузах необходимо учитывать взаимосвязь «Начертательной геометрии», «Инженерной графики», «Компьютерной графики» и положений ГОСТ ЕСКД. Для этого на основе системного подхода разработаны и апробированы на практике условия выдачи учебных заданий и порядок их чередования.

Ключевые слова: графические дисциплины, начертательная геометрия, инженерная графика, компьютерная графика, ГОСТ ЕСКД.

Подготовка молодых инженерных кадров в области графических дисциплин является одной из актуальных задач настоящего времени, так как в условиях производства наблюдается нехватка хороших конструкторов и технологов, а опытные кадры уходят из-за пенсионного возраста.

В соответствии с ФГОС 3 и 3+ базовыми учебными дисциплинами в высших учебных заведениях для бакалавров являются «Начертательная геометрия», «Инженерная графика» и «Компьютерная графика».

В то же время следует признать тот факт, что интерес к отмеченным выше учебным дисциплинам за последнее время падает, так как чаще всего они изучаются или отдельно друг от друга, или без акцента на их взаимосвязь при отсутствии «переходного мостика» между ними.

По мнению автора, повышение интереса к изучению отмеченных учебных дисциплин, а соответственно и качества подготовки специалистов возможно при следующих условиях:

1) должна быть учтена взаимосвязь всех трех дисциплин, взаимодействующих между собой в системе «Человек – Проектно-конструкторская документация» (рис. 1);

2) в каждом учебном курсе дисциплины должен быть создан «переходный мостик» для следующей дисциплины, чтобы не терялся их последовательный переход от одной к другой;

3) должна быть предусмотрена определенная последовательность и форма выдачи раздаточного материала на занятиях, зачетах и экзаменах.

Для реализации указанных выше условий на кафедре графики в учебные курсы на ПС и Э факультетах были внесены следующие изменения и дополнения, учитывающие принцип «от простого к сложному» и системный подход к выполнению и оформлению проектно-конструкторской документации деталей и изделий [1, 2].

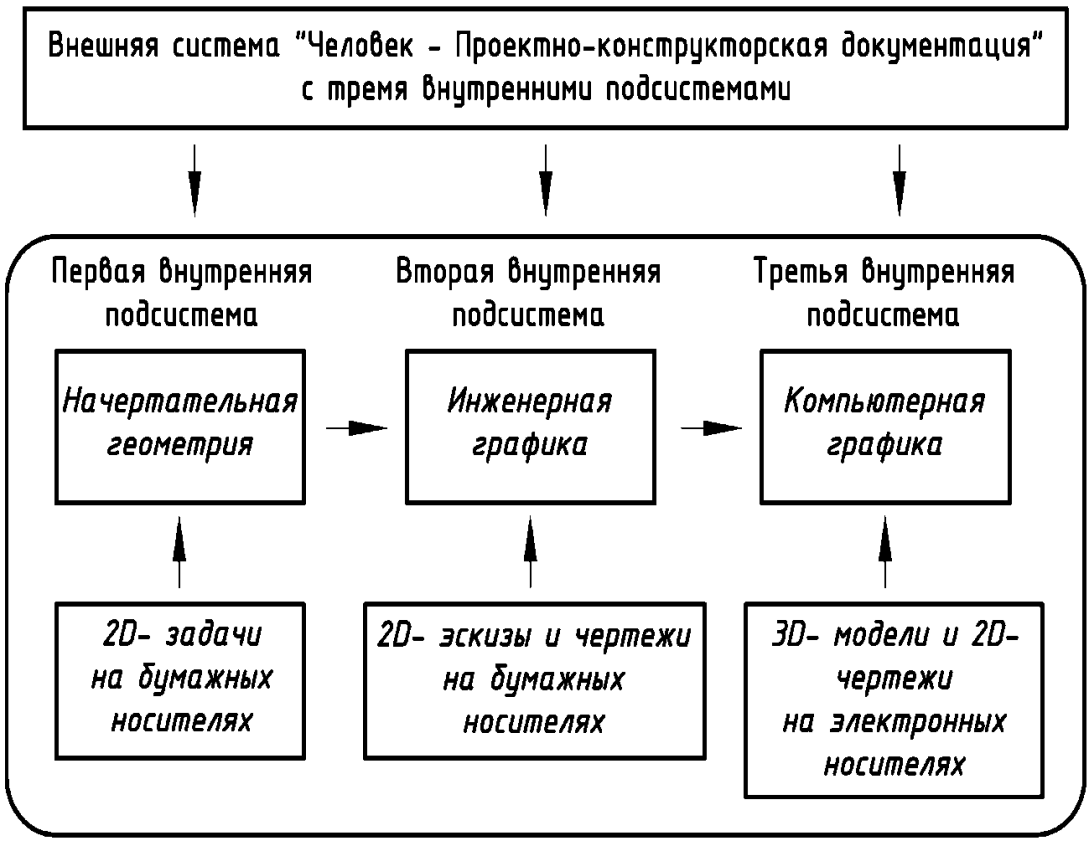


Рис. 1. Взаимодействие учебных дисциплин в системе «Человек – Проектно-конструкторская документация»

В начертательной геометрии «переходным мостиком» к инженерной графике является знакомство с основными ГОСТ ЕСКД [3]:

1) включение положений ГОСТ ЕСКД в лекционный курс для оформления рабочих тетрадей и контрольно-графических заданий;

2) включение положений ГОСТ ЕСКД в рабочие тетради [4, 5] для оформления задач с элементами инженерной графики (например, рис. 2);

3) знание ГОСТ ЕСКД для ответа на экзаменах (например, рис. 3).

В инженерной графике:

1) знакомство с требованиями ГОСТ ЕСКД к выполнению и оформлению эскизов и чертежей [3];

2) последовательное чередование: а) учебных металлических натурных образцов деталей; б) учебных бумажных заготовок проекционных чертежей; в) натурных образцов приборостроительных деталей и сборочных единиц из реальных приборов (например, рис. 4).

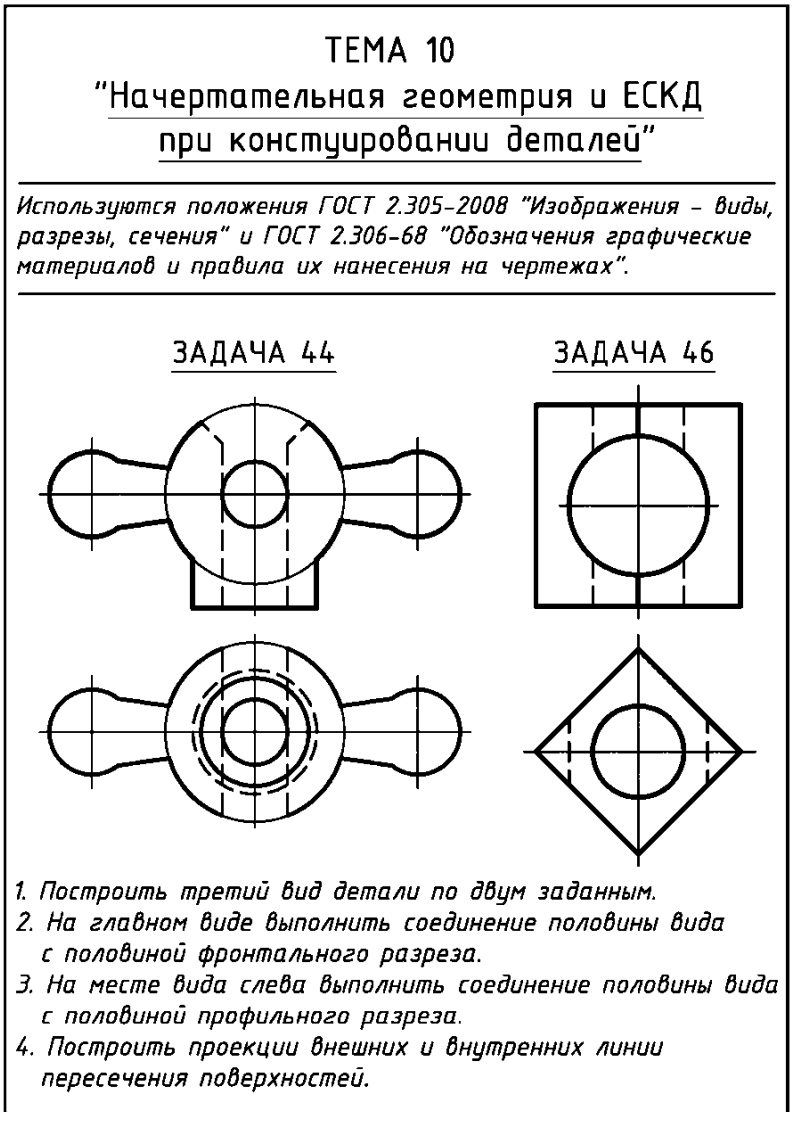


Рис. 2. Пример задач в рабочей тетради по начертательной геометрии с элементами инженерной графики

«Переходным мостиком» от начертательной геометрии к инженерной графике является умение строить линии пересечения поверхностей с помощью чертежных инструментов.

В компьютерной графике:

1) последовательное чередование: а) деталей приборостроения и сборочных единиц на основе натурных образцов; б) учебных бумажных заготовок чертежей общего вида изделий приборостроения; в) сборочных чертежей на основе реальных изделий приборостроения; г) бумажных заготовок схем электрических принципиальных с таблицами исходных данных (например, рис. 5);

2) использование графического пакета AutoCAD и современных методов построения чертежей по технологии «3D-модель – 2D-модель – 2D-чертеж» [6, 7].

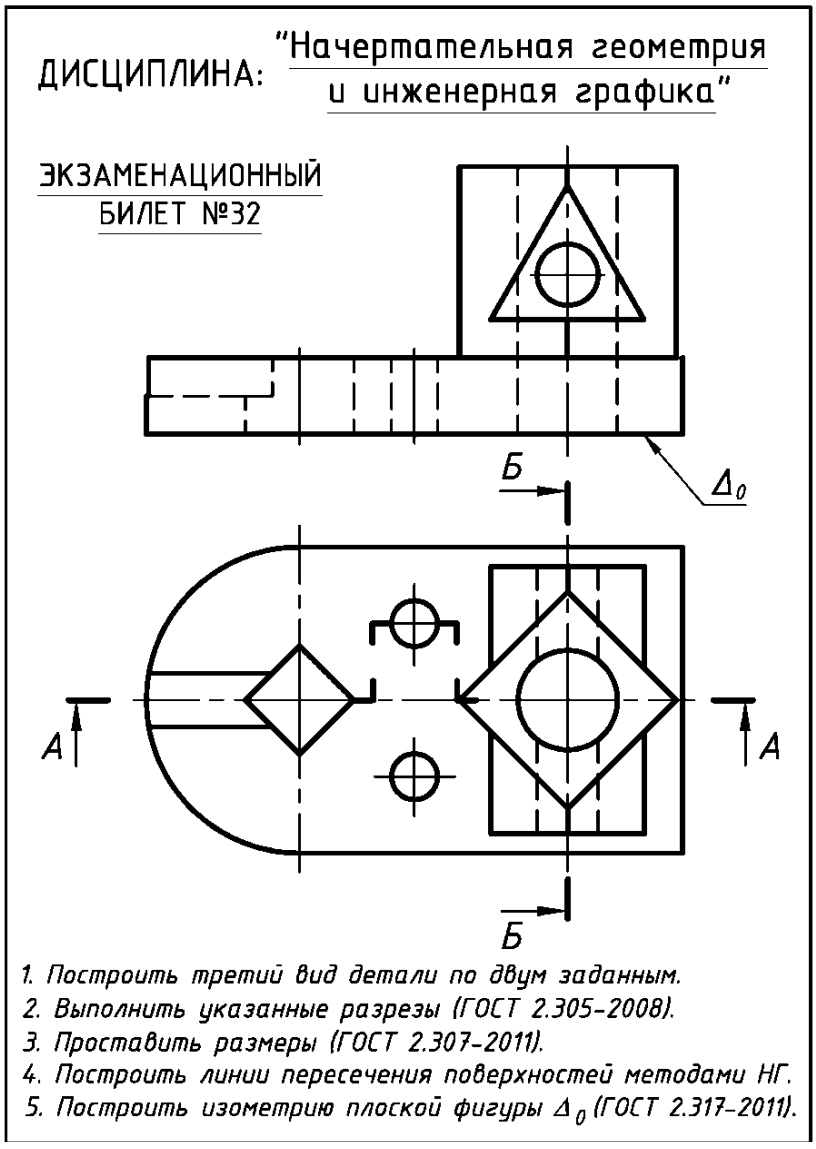
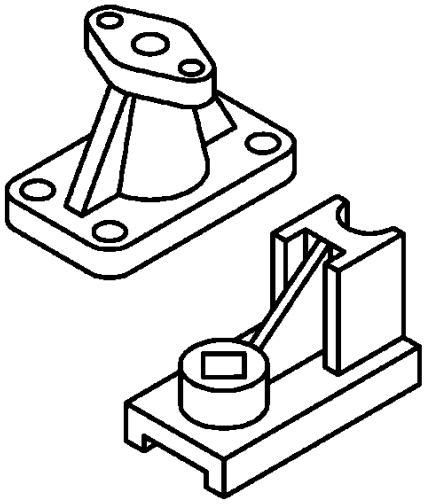
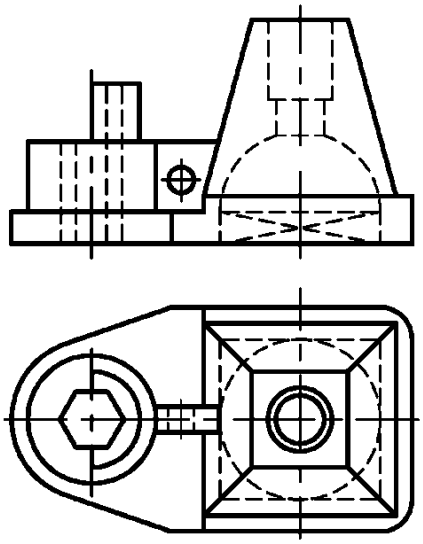


Рис. 3. Пример экзаменационного билета, включающего начертательную геометрию и положения ГОСТ ЕСКД

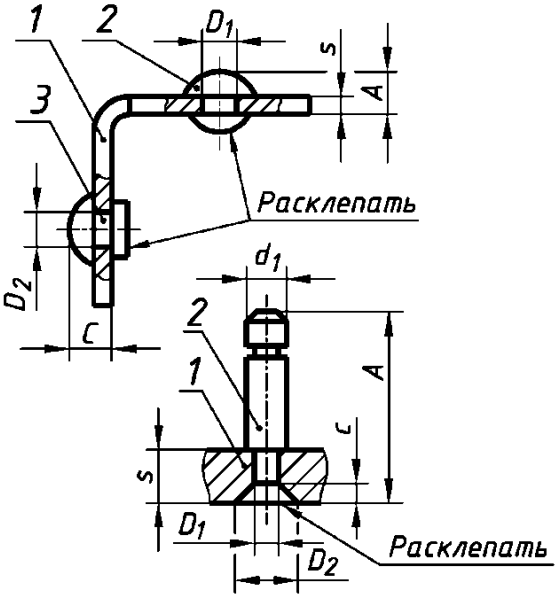
1. Выполнение учебных эскизов деталей на основе натурных образцов

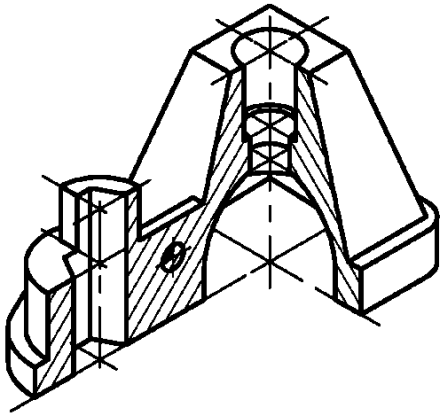


2. Выполнение учебных проекционных чертежей деталей на основе бумажных заготовок

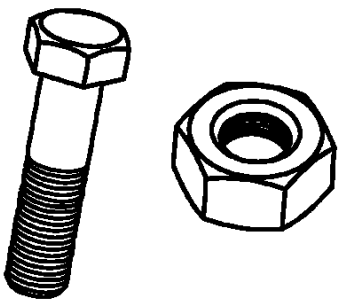


5. Выполнение учебных чертежей соединения деталей заклепками на основе натурных образцов и бумажных заготовок





3. Выполнение учебных чертежей болтов и гаек на основе натурных образцов



4. Выполнение учебных чертежей соединения деталей винтами на основе бумажных заготовок.

Рис. 4. Основные учебные задания по «Инженерной графике» и очередность их выполнения

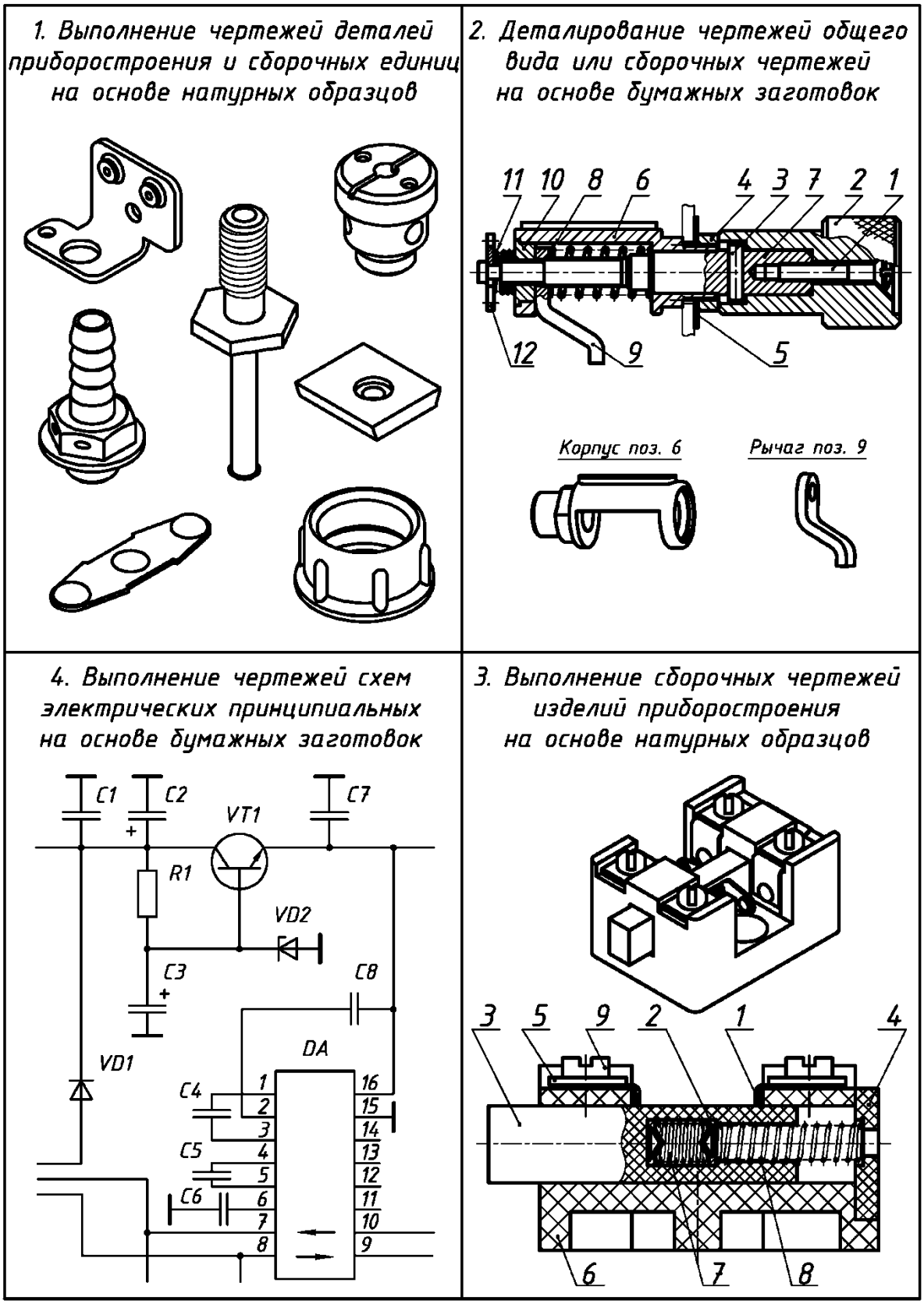


Рис. 5. Основные учебные задания по «Компьютерной графике» и очередность их выполнения

«Переходным мостиком» от инженерной графики к компьютерной графике является умение предварительного построения эскизов деталей и изделий с учетом требований ГОСТ ЕСКД [3]. «Переходным мостиком» от начертательной геометрии к компьютерной графике является контроль полученных линий пересечения поверхностей деталей.

Отмеченный выше подход был апробирован в студенческих группах ПС- и Э-факультетов ЮУрГУ очной и заочной форм обучения в 2013/2014 и 2014/2015 учебных годах и подтвердил свою эффективность.

Библиографический список

1. Кувшинов, Н.С. Разработка конструкторской документации деталей и изделий приборостроения на основе системного подхода / Н.С. Кувшинов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015. – № 1. – С. 32–46.

2. Кувшинов, Н.С. Приборостроительное черчение: учеб. пособие / Н.С. Кувшинов, В.С. Дукмасова. – М.: Издательство КНОРУС, 2013. – 400 с.

3. Единая система конструкторской документации: ГОСТ 2.301–68 – ГОСТ 2.321–84: сб. – офиц. изд. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 158 с.

4. Кувшинов, Н.С. Сборник задач по начертательной геометрии с элементами инженерной графики / Н.С. Кувшинов, Ж.В. Путина, И.Л. Костюнина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 65 с.

5. Кувшинов, Н.С. Начертательная геометрия: Сборник задач / Н.С. Кувшинов, Т.Н. Скоцкая, И.Л. Костюнина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 103 с.

6. Кувшинов, Н.С. Использование компьютерных технологий на основе графического пакета AutoCAD при конструировании изделий / Н.С. Кувшинов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2015. – № 2. – С. 52–58.

7. Хейфец, А.Л. Инженерная 3D-компьютерная графика. Учебник и практикум для академического бакалавриата / А.Л. Хейфец, А.Н. Логиновский, И.В. Буторина, В.Н. Васильева; под ред. А.Л. Хейфеца. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2015. – 602 с.

К содержанию

УДК 711.4 + 347.235 + 332.6

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОИМОСТИ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Г.П. Левада, К.В. Турова

Задачей настоящей статьи является анализ положений нормативно-методической базы по определения рыночной стоимости земельных участков и их уточнение с точки зрения теории оценки для использования при анализе эффективности инвестиционных проектов.

Ключевые слова: эффективность, инвестиционный проект, подходы к оценке, капитализация дохода.

Как правило, для оценки стоимости земельных участков используются: метод сравнения продаж, метод выделения, метод распределения, метод капитализации земельной ренты, метод остатка, метод предполагаемого использования.

Однако, для оценки урбанизированных земель применение метода распределения и метода капитализации земельной ренты невозможно в силу целого ряда ограничений.

В соответствии с «Методическими рекомендациями по определению рыночной стоимости земельных участков» метод сравнения продаж применяется для оценки земельных участков, как для застроенных земельных участков, так и незастроенных земельных участков.

Условие применения метода – наличие информации о ценах сделок с земельными участками, являющимися аналогами оцениваемого.

Метод предполагает следующую последовательность действий:

1) определение элементов, по которым осуществляется сравнение объекта оценки с объектами-аналогами (далее – элементов сравнения);

2) определение по каждому из элементов сравнения характера и степени отличий каждого аналога от оцениваемого земельного участка;

3) определение по каждому из элементов сравнения корректировок цен аналогов, соответствующих характеру и степени отличий каждого аналога от оцениваемого земельного участка;

4) корректировка по каждому из элементов сравнения цен каждого аналога, сглаживающая их отличия от оцениваемого земельного участка;

5) расчет рыночной стоимости земельного участка путем обоснованного обобщения скорректированных цен аналогов.

Формула расчета может быть выражена следующим образом:

$$C^o = \sum_{i=1}^{n} v_i \times \prod_{j=1}^{m} \left(C_i \times K_j \right), \quad (1)$$

где: C^o – стоимость объекта оценки; C_i – цена i-го аналога; n – количество объектов-аналогов; m – количество элементов сравнения; K_j – коэффициент корректировки цены аналога по j-му элементу сравнения; v_i – весовой коэффициент i-го аналога.

Весовые коэффициенты по объектам-аналогам могут быть рассчитаны по формуле:

$$v_i = (1 - \frac{q_i}{\sum_{i=1}^{n} q_i}) \times \frac{1}{n-1}, \quad (2)$$

где q_i – число корректировок по i-тому объекту аналогу, n – кол-во объектов аналогов.

В практике оценки встречаются и другие формулы, основанные на данной схеме согласования.

Несмотря на то, что «Методическими рекомендациями» предусмотрена возможность использования данного метода для оценки как застроенных, так и не застроенных участков фактически его использование можно признать оправданным только для оценки свободных земельных участков. Основой расчета при использовании данного метода является наличие информации о ценах объектов-аналогов. Исходя из определения объекта аналога[1], экономические различия между свободным и застроенным земельным участком в силу синергетического эффекта могут быть существенными.

Метод выделения применяется для оценки застроенных земельных участков.

Метод предполагает следующую последовательность действий:

1) расчет рыночной стоимости единого объекта недвижимости, включающего в себя оцениваемый земельный участок, на основе сравнительного и (или) доходного подходов;

2) расчет стоимости замещения или стоимости воспроизводства улучшений оцениваемого земельного участка;

3) расчет рыночной стоимости оцениваемого земельного участка путем вычитания из рыночной стоимости единого объекта недвижимости, стоимости замещения или стоимости воспроизводства улучшений земельного участка.

Основная формула расчета:

$$C_{зу} = C^o - ПВС_{ул} \times (1 - И_н), \quad (3)$$

где: $C_{зу}$ – стоимость оцениваемого земельного участка; C^o – стоимость единого объекта недвижимости, включающего в себя оцениваемый зе-

[1] Объектом – аналогом объекта оценки для целей оценки признается объект, сходный объекту оценки по основным экономическим, материальным, техническим и другим характеристикам, определяющим его стоимость (Федеральный стандарт оценки № 1, п.14).

мельный участок; $ПВС_{ул}$ – полная восстановительная стоимость улучшений оцениваемого земельного участка; $И_н$ – накопленный износ улучшений оцениваемого земельного участка, включая физический, функциональный и внешний износы.

Стоимость единого объекта может быть рассчитана на основе сравнительного подхода:

$$C^o = \sum_{i=1}^{n} v_i \times \prod_{j=1}^{m} \left(C_i \times K_j\right), \quad (4)$$

где: C_i – цена i-го аналога единого объекта недвижимости; n – количество единых объектов-аналогов; m – количество элементов сравнения единых объектов; $К_j$ – коэффициент корректировки цены аналога по j-му элементу сравнения; v_i – весовой коэффициент i-го аналога.

А также на основе доходного подхода.

Если потоки доходов и ставка дохода (дисконтирования) меняются в течение оставшегося срока жизни объекта оценки, формула расчета имеет вид:

$$C^o = \sum_{t=1}^{T} \frac{CF_t}{\prod_{i=1}^{t} (1 + r_i)}, \quad (5)$$

где: CF_t – чистый операционный доход от использования единого объекта недвижимости в t-от периоде; T – срок полезного использования единого объекта недвижимости; r – ставка дисконтирования (дохода на инвестиции), соответствующая рискам вложения в единый объект недвижимости.

В случае, если потоки доходов стабильны (имеют постоянный темп изменения в течение оставшегося срока жизни) и ставка дохода также постоянна, то расчет может выполняться по формулам прямой капитализации [6].

Итоговая величина стоимости в этом случае рассчитывается путем согласования расчетных величин полученных в рамках сравнительного и доходного подходов, что повышает точность расчетов.

При определении суммы затрат на создание улучшений земельного участка следует учитывать прибыль инвестора – величину наиболее вероятного вознаграждения за инвестирование капитала.

В соответствии с ФСО № 7 данный показатель рассчитывается «*с учетом прямых, косвенных и вмененных издержек, связанных с созданием объектов капитального строительства и приобретением прав на земельный участок*».

Следует признать наличие методической ошибки содержащейся в ФСО № 7. Добавление прибыли инвестора к затратам на приобретение земельного участка было бы правомерным в случае расчета стоимости с использованием затратного подхода. Но применение затратного подхода к определению стоимости земельного участка невозможно в принципе, поскольк-

ку не представляется возможны определить затраты с помощью которых можно было бы воссоздать земельный участок. Кроме того, добавление прибыли инвестора к стоимости земельного участка приводит к отрицанию наличия синергетического эффекта, являющего базовым принципом системного подхода изучения экономических явлений.

Метод остатка в соответствии с «Методическими рекомендациями» применяется для оценки застроенных и незастроенных земельных участков. Условие применения метода – возможность застройки оцениваемого земельного участка улучшениями, приносящими доход.

Метод предполагает следующую последовательность действий:

1) расчет стоимости воспроизводства или замещения улучшений;

2) расчет чистого операционного дохода от единого объекта недвижимости на основе рыночных ставок арендной платы;

3) расчет чистого операционного дохода, приходящегося на улучшения как произведения стоимости воспроизводства или замещения улучшений на соответствующий коэффициент капитализации доходов от улучшений;

4) расчет величины земельной ренты как разности чистого операционного дохода от единого объекта недвижимости и чистого операционного дохода;

5) расчет рыночной стоимости земельного участка путем капитализации земельной ренты.

Основная формула расчета:

$$C_{зу} = \frac{ЧОД^{о} - ПВС_{ул} \times (1 - И_{н}) \times R^{ул}}{R^{зу}}, \quad (6)$$

где, $C_{зу}$ – стоимость оцениваемого земельного участка; $ЧОД^{о}$ – чистый операционный доход от единого объекта недвижимости, включающего в себя оцениваемый земельный участок; $R^{ул}$ – коэффициент капитализации для улучшений; $R^{зу}$ – коэффициент капитализации для земельного участка; $ПВС_{ул}$ – полная восстановительная стоимость улучшений оцениваемого земельного участка; $И_{н}$ – накопленный износ улучшений оцениваемого земельного участка, включая физический, функциональный и внешний.

Расчет чистого операционного дохода выполняется на основе рыночных ставок арендной платы и операционных расходов определяемых исходя из рыночных условий сдачи в аренду единых объектов недвижимости.

Следует отметить, что при расчете стоимости застроенного и незастроенного земельного участка результат оценки будет идентичен. Совершенно очевидно, что это не так. В формуле расчета используется значение коэффициента капитализации, в основе которого лежит ставка доходности, отражающая риски вложения в объект недвижимости.

Очевидно, что риски вложения в незастроенный земельный участок выше рисков связанных с вложениями в готовый объект недвижимости хотя бы на величину строительных рисков.

Метод предполагаемого использования в соответствии с «Методическими рекомендациями» применяется для оценки застроенных и незастроенных земельных участков.

Метод предполагает следующую последовательность действий:

1) определение суммы и временной структуры расходов, необходимых для использования земельного участка в соответствии с вариантом его наиболее эффективного использования;

2) определение величины и временной структуры доходов от наиболее эффективного использования земельного участка;

3) определение величины и временной структуры операционных расходов, необходимых для получения доходов от наиболее эффективного использования земельного участка;

4) определение величины ставки дисконтирования, соответствующей уровню риска инвестирования капитала в оцениваемый земельный участок;

5) расчет стоимости земельного участка путем дисконтирования всех доходов и расходов, связанных с использованием земельного участка.

Основная формула расчета:

$$C_{зу} = -\sum_{t=1}^{T1} З_{ул}^{t} + \sum_{t=T1+1}^{T1+T2} \frac{ЧОД_{o}^{t}}{(1+r)^{t}}, \qquad (7)$$

где, $C_{зу}$ – стоимость оцениваемого земельного участка; $З_{ул}^{t}$ – затраты t-го периода на создание улучшений; $T1$ – время создания улучшений; $ЧОД_{o}^{t}$ – чистый операционный доход от использования единого объекта недвижимости в t-ом периоде; $T2$ – срок полезного использования единого объекта недвижимости; r – ставка дисконтирования (дохода на инвестиции) соответствующая рискам вложения в единый объект недвижимости.

Следует отметить, что данный метод, также как и метод остатка, основан на положениях доходного подхода, определяющего стоимость объекта оценки как текущую стоимость потока доходов при ставке доходности (дисконтирования) соответствующей рискам вложения в объект недвижимости. Очевидно, что для оценки застроенных земельных участков данный метод может применяться только в том случае, если выполняется оценка рыночной стоимости земельных участков, текущее использование которых не соответствует его наилучшему использованию.

Таким образом, можно сделать следующие выводы о применении методов оценки стоимости земельных участков при анализе эффективности инвестиционных проектов.

Таблица

Выводы о применении методов оценки стоимости земельных участков при анализе эффективности инвестиционных проектов

Метод оценки	**Объект оценки**	**Стадия разработки инвестиционного проекта**
Метод сравнения продаж	Незастроенные земельные участки	Оценка первоначальных инвестиций
Метод выделения	Застроенные земельные участки.	Оценка первоначальных инвестиций. Анализ вариантов инвестиционного проекта.
Метод остатка	Застроенные земельные участки при текущем использовании	Оценка первоначальных инвестиций. Анализ вариантов инвестиционного проекта.
	Застроенные земельные участки при наилучшем использовании	Оценка результатов реализации инвестиционного проекта
Метод предполагаемого использования	Застроенные и не застроенные земельные участки	Оценка результатов реализации инвестиционного проекта

Библиографический список

1. Международные стандарты оценки (МСО) 2007. – М., 2009.
2. Федеральный стандарт оценки «Оценка недвижимости (ФСО № 7)», утвержденный приказом Министерства экономического развития и торговли Российской Федерации от 25 сентября 2014 г. № 611.
3. Методические рекомендации по определению рыночной стоимости земельных участков, утвержденные распоряжением Министерства имущественных отношений России от 07.03.2002 № 568-р.
4. Занг, В.-Б. Синергетическая экономика / В.-Б. Занг; пер. с англ.; под ред. В.В. Лебедева. – М.: Мир, 1999.
5. Оценка недвижимости. Учебник для ВУЗов / под ред. А.Г. Грязновой, М.А. Федотовой. – М.: Финансы и статистика, 2002.
6. Левада, Г.П. Расчетные формулы метода прямой капитализации дохода / Г.П. Левада // Вопросы оценки. – 2009. – № 2.

К содержанию

УДК 514.18 + 004.92 + 7.021.23

КОМПЛЕКСНЫЕ ЗАДАЧИ В ПАКЕТАХ СРЕДНЕГО САПР

А.Н. Логиновский

Рассмотрены вопросы ведения курса начертательной геометрии в пакете SolidWorks. Приведены примеры решения комплексных задач, задания геометрических множеств и построения геометрических фигур по заданным отдельным элементам.

Ключевые слова: 3D параметризация; комплексные задачи; геометрические множества; 3D модель; эскиз; геометрические тела; поверхности; 3D пространство; взаимосвязи; SolidWorks.

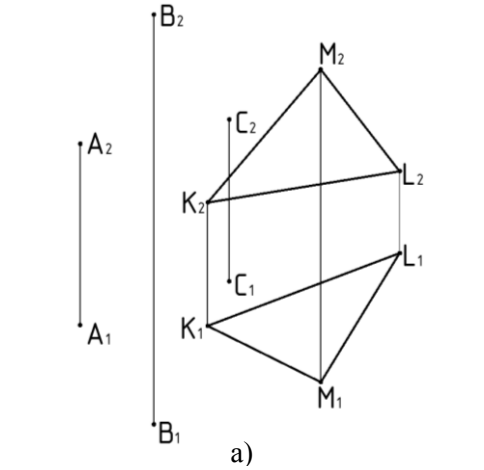
Наличие 3D параметризации в пакетах среднего САПРа, например, SolidWorks , автоматизировало многие геометрические операции, позволило решать геометрические задачи непосредственно в 3D пространстве. Задачи, которые в классической начертательной геометрии считались сложными, перешли в разряд тривиальных и время на их решение затрачивается меньше, чем на ввод исходных данных. По этому поводу говорят: «исчезла геометрическая сущность». Естественно, чтобы не исчезала «геометрическая сущность» необходимо вводить в учебный процесс такие задачи, которые для своего решения требуют активации мыслительной деятельности студентов.

Задачи на точки и прямые

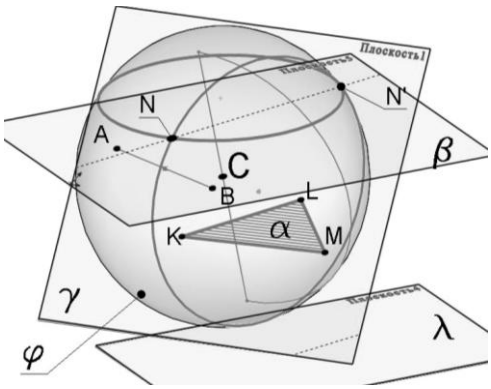
В качестве примера приведем одну из олимпиадных комплексных задач [1].

Задача 1. Условие задачи (рис. 1*а*): построить точку N, равноудаленную от точек A и B, отстоящую от точки C на 45 мм, а от плоскости α (KLM) на 40 мм.

Введем геометрические множества, удовлетворяющие каждому из условий (рис. 1*б*). Плоскость ϒ – множество точек, равноудаленных от заданных точек A, B. Множество точек равноудаленных от точки C на 45 мм – сфера φ с центром в точке C и радиусом 45 мм. Множество точек, отстоящих от плоскости α на 40 мм – две параллельные ей плоскости β и λ. Пересечение указанных множеств дает ответ задачи – две точки N и N'.



а)



б)

Рис. 1. *а* – условие задачи; *б* – решение в SolidWorks с введением множеств

Так как множества задаются на экране компьютера в стереометрическом виде, то хорошо видно, что из четырех возможных решений существует два, плоскость λ сферу φ не пересекает.

Второй пример более сложной задачи на множество точек

Задача 2. Условие задачи (рис. 2*а*): построить множество точек, равноудаленных от точки A, плоскости (KLM) и прямой *l*.

Данная задача путем использования только 3D параметризации не решается. В соответствии со схемой решения комплексных задач разобьем задачу на две части: множество точек, равноудаленных от точки A и плоскости (KLM) и множество точек, равноудаленных от прямой *l* и плоскости (KLM) (рис. 2*б*).

Первому множеству соответствует поверхность параболоида σ, для которого (KLM) – директориальная плоскость.

Второе множество – поверхность эллиптического конуса φ. Обе фигуры легко построить в пакете SolidWorks.

Искомым множеством точек является кривая четвертого порядка η – результат пересечения указанных фигур (рис. 2*в*). Данную кривую рекомендуется определять командой «эскиз вдоль линии пересечения тел». Для доказательства верности решения зададим произвольную точку N с привязкой «совпадение» на кривой η. Из точки N проведем перпендикуляры к плоскости (KLM), прямой *l* и отрезок до точки A. Командой «измерить» или нанесением размеров оценим длину полученных отрезков.

Задача, в которой множества и искомый элемент – прямые

Задача 3. Условие задачи (рис. 3*а*): через точку A провести прямую, равноудаленную и равнонаклоненную к скрещивающимся прямым a, b.

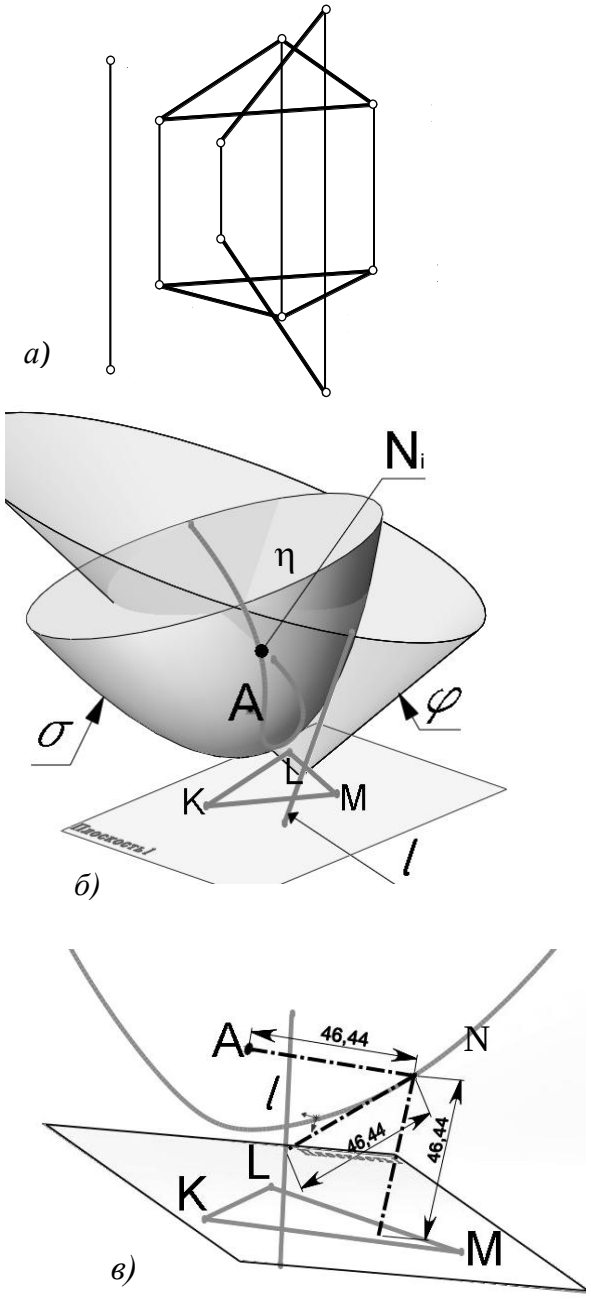


Рис. 2. *а* – условие задачи; *б* – введенные множества; *в* – результат решения в виде кривой η

Расчленим условия задачи на отдельные множества (рис. 3*б*). Первое множество, отвечающее требованию проходить через точку А – связка прямых M_A, заполняющая все пространство (конгруэнция). Для задания множеств равноудаленных и равнонаклоненных прямых построим биссектрисы углов между скрещивающимися прямыми c и d. Биссектрисы проводим в плоскости параллелизма, проходящей через середину общего перпендикуляра скрещивающихся прямых.

Второе множество – это прямые пересекающие биссектрису под прямым углом. То есть, через каждую точку биссектрисы, перпендикулярно ей, проходит пучок прямых M_c.

Третье множество – прямые, параллельные образующим полуквадрики, у которой плоскость параллелизма перпендикулярна биссектрисе. Или через каждую несобственную точку такой образующей проходит пучок прямых M_f.

Общими элементами указанных множеств будут являться перпендикуляры n и k, проведенные из точки А соответственно к биссектрисам c и d, а также прямые t' и m', параллельные образующим t и m (рис. 3*в*). Прямые t и m перпендикулярны биссектрисам, пересекают скрещивающиеся прямые и проведены через точки пересечения перпендикуляров с биссектрисами.

Таким образом, условиям задачи отвечают четыре прямые n, k, t', m', проходящие через точку А.

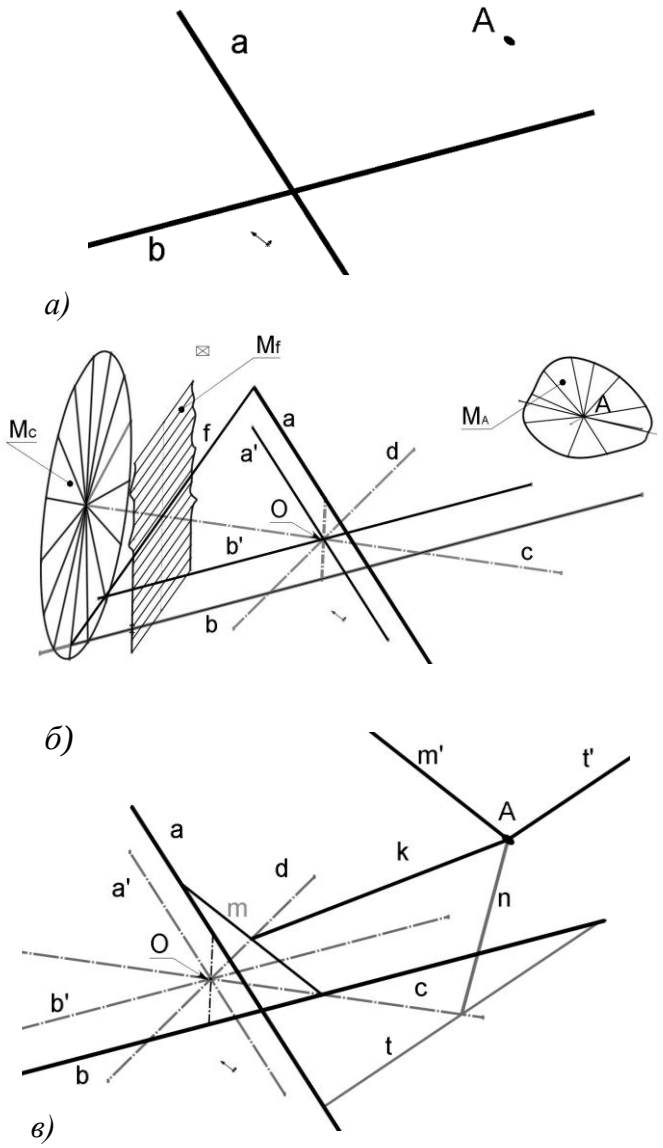


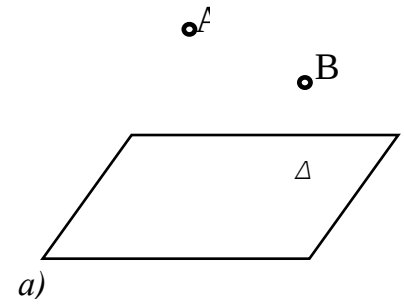
Рис. 3. *а* – условия задачи; *б* – множества, соответствующие условиям задачи; *в* – результат решения

Задачи на построение коник и квадрик

Многие задачи на построение кривых и поверхностей второго порядка можно отнести к комплексным, так как при построении их необходимо учитывать несколько условий. Главную роль при этом играют не множества, а свойства геометрических фигур.

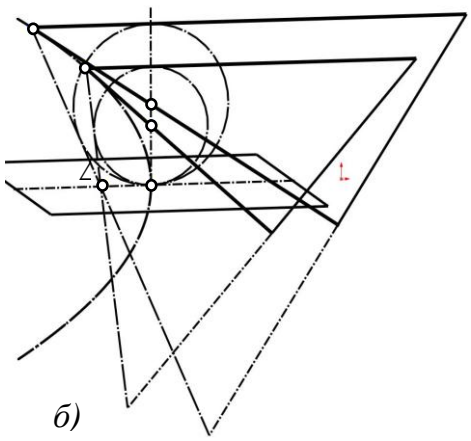
Задача, в которой искомый элемент – парабола

Задача 4. Условие задачи (рис. 4*а*): построить параболу, по которой плоскость ∆ пересекает конусы вращения с вершинами A и B. Парабола является общей для обоих конусов [2].



а)

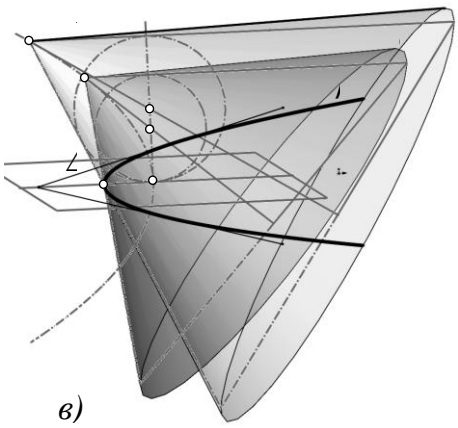
Первое условие, которое необходимо соблюсти при построении конусов, парабола – сечение конуса плоскостью, параллельной одной образующей. Поэтому в плоскости симметрии, проходящей через вершины A и B, проводим очерковые образующие α, β параллельно плоскости ∆ (рис. 4*б*).



б)

Второе условие – вершина общей параболы должна принадлежать точке F ϵ ∆, в которой пересекаются вторые очерковые образующие конусов. Задаем произвольно точку F с взаимосвязью «совпадение» с плоскостью ∆ и с такой же взаимосвязью с точкой F проводим вторые очерковые образующие конусов.

Третье условие – по теореме Данделена сферы, вписанные в конусы, должны касаться плоскости ∆ в одной точке T – фокусе параболы. Так как построения производим в плоскости симметрии, то достаточно вместо сфер задать окружности O и O', касательные к плоскости ∆ и очерковым образующим конусов. Центрам окружностей и точке касания T придаем взаимосвязь «вертикальность».



в)

Рис. 4. *а* – условия задачи;
б – этапы решения;
в – результат решения

Искомые конусы строим вращением треугольников, катетами которых являются оси, проходящие через точки A, B и центры окружностей, а гипотенузами – образующие α и β (рис. 4*в*). Параболу η создадим командой «эскиз вдоль линии пересечения тел».

Данную задачу можно решить другим методом (см. рис. 4*б*). Построить в плоскости симметрии конусов произвольную параболу λ и задать «совпадение» параболы с точками A и B. Вершину параболы совместить с линией пересечения плоскостей симметрии и ∆. Фокус совмещенной таким образом параболы совпадет с точкой F, а ее вершина определит точку T.

Задачи, в которых искомый элемент – квадрики

Задача 5. Условие задачи (рис. 5*а*): в пространстве заданы эллипс *e* и точка А, принадлежащие поверхности конуса; построить конус.

Зададим через точку А плоскость ∆, параллельную плоскости эллипса (рис. 5*б*). В плоскости ∆ построим два взаимно-перпендикулярных отрезка, пересекающихся и делящихся пополам в точке О. Отрезкам придадим взаимосвязь «параллельность» с осями заданного эллипса. Соединим лучами из произвольной точки S конечные точки отрезков с квадрантными точками заданного эллипса, применив взаимосвязь «совпадение». Отрезки, перемещаясь в плоскости ∆, становятся гомотетичны осям заданного эллипса. Используя взаимно перпендикулярные отрезки в качестве большой и малой оси, построим эллиптическое основание искомого конуса. Так как оси вполне достаточны для построения эллипса, то он должен проходить через точку А. Командой «бобышка/основание по сечениям», указав в качестве сечений точку S, эллипсы *e* и *e'*, создадим искомый конус.

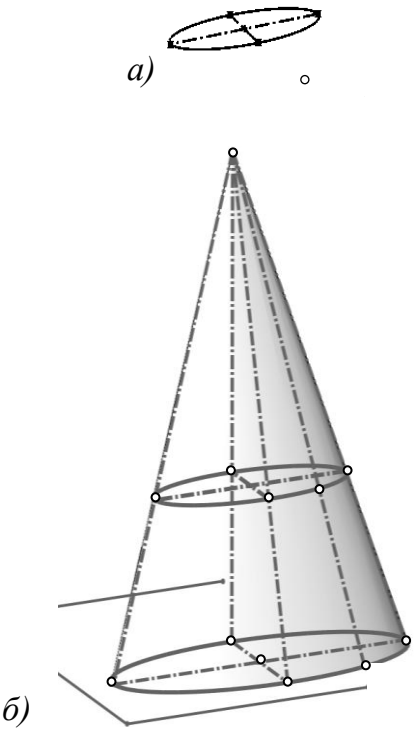


Рис. 5. *а* – условия задачи; *б* – результат решения – эллиптический конус

Для проверки верности решения проведем через точки А и S отрезок. Данный отрезок должен быть образующей построенного конуса.

Задача 6. Условие задачи (рис. 6*а*): построить наклонный цилиндр по его круговому основанию *c* и двум его точкам А, В, расположенных на перпендикуляре к плоскости основания [3].

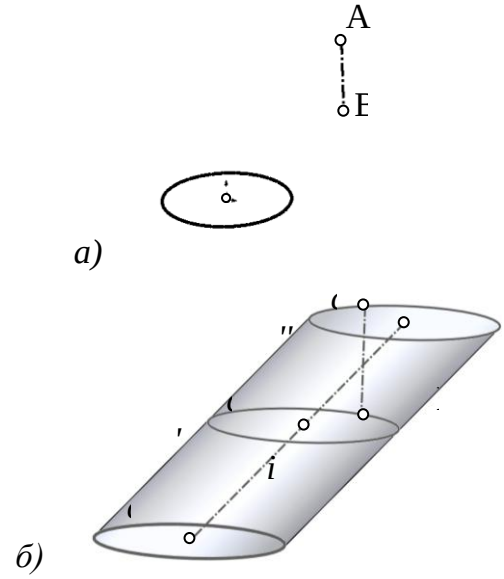


Рис. 6. *а* – условия задачи; *б* – искомый элемент – наклонный цилиндр

В 3D эскизе построим две окружности *c'* и *c''*, расположив их над основанием *c* и придав им взаимосвязи «параллельность», «равенство» с окружностью *c* и «совпадение» с точками А, В (рис. 6*б*).

Соединим отрезком *i* центры окружностей *c* и *c''*, а затем взаимосвязью «совпадение» совместим с *i* центр окружности *c'*. Таким образом, все цен-

тры окружностей будут соединены одной осью *i* и окружности становятся параллельными круговыми сечениями цилиндра. Применив команду «бобышка/основание по сечениям», создадим искомый цилиндр.

Рассмотренные выше типы задач, кроме первой, в учебной практике классического курса начертательной геометрии не применялись в виду сложности проекционных построений и преобразований, выходящих за рамки курса. Например, задача 3 решена в источнике [2] с помощью преобразований отражения и винтового перемещения, задача 6 решена [3] с использованием методов проективной геометрии и мнимых элементов.

Применение графического пакета SolidWorks позволяет легко решать такие задачи и ввести их в учебную практику.

Библиографический список

1. 30 олимпиадных задач по начертательной геометрии: учеб. пособие / Ю.К. Барский, В.А. Краснов, Г.В. Шепелев. – Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1996. – 58 с.

2. Пеклич, В.А. Задачи по начертательной геометрии: учеб. пособие / В.А. Пеклич, С.Н. Павленко. – М.: Высшая школа, 1999. – 139 с.

3. Пеклич, В.А. Мнимая начертательная геометрии: учеб. пособие / В.А. Пеклич. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2007. – 104 с.

К содержанию

УДК 528.4+ 528.7+528.8

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДАННЫХ ДЗЗ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

В.Н. Максимова

В статье рассмотрены вопросы, посвященные методу картографирования объектов сельского хозяйства на основе результатов данных дистанционного зондирования Земли. Представлен международный опыт использования данных ДЗЗ применительно сферы сельского хозяйства.

Ключевые слова: Данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ), картографирование, дешифрирование, сельскохозяйственные полигоны, объекты сельского хозяйства, ортотрансформирование.

Еще несколько лет назад результатами спутниковых съемок (данные дистанционного зондирования Земли) пользовались только узкие специалисты. В настоящее время эти технологии стали доступны широкому кругу пользователей. Современные программно-технические средства позволяют принимать и обрабатывать спутниковые изображения на персональных компьютерах с целью получения актуальной объективной информации для решения задач в различных отраслях деятельности общества.

В настоящее время, как показывает практика, одним из наиболее популярных и востребованных направлений, в котором используются результаты данных дистанционного зондирования Земли, является сельское хозяйство. Современное сельское хозяйство – сложный механизм, от эффективности функционирования которого зависят многие аспекты жизни человека. Процессы, которые возникают в течение всей сельскохозяйственной деятельности, являются сложными, нетривиальными, требующими принятия решений на различных уровнях. Поэтому возникает необходимость в достаточно точных и инновационных методах инвентаризации и мониторинга сельскохозяйственных земель. При постановке задачи стратегического планирования и управления сельскохозяйственной деятельности возникают несколько основных проблем. Одна из главных проблем – это отсутствие цифрового картографического материала, который позволил бы ускорить работу сельхозтоваропроизводителей и государственных органов региона, работающих в тесной связке. Картографические материалы, в том числе схемы землеустройства и похозяйственного планирования, отличаются крайне низкой степенью достоверности и актуальности.

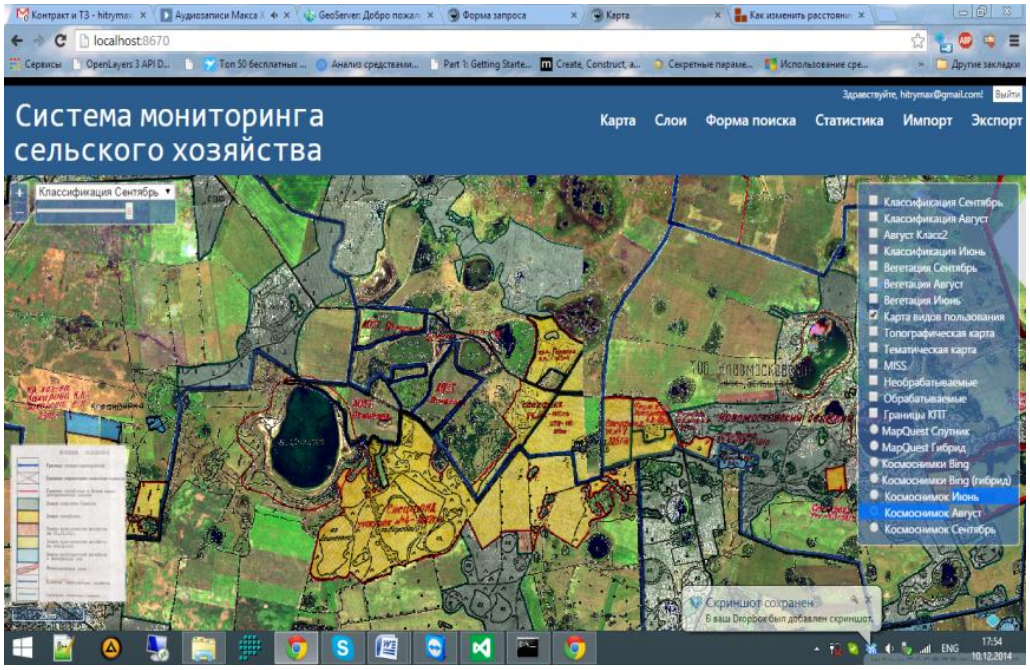


Рис. 1. Типы сельскохозяйственного землепользования
(Октябрьский район Челябинской области)

Поскольку именно они, как правило, используются для формирования статистики землепользования и сельскохозяйственного производства, это еще более усложняет задачу получения реальной информации о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения. Перечисленные выше обстоятельства не только препятствуют формированию объективному учету землепользования, но и крайне затрудняют оценку эффек-

тивности сельскохозяйственного производства, прогнозирование урожайности, определение правильной финансовой политики в этой области, в частности – необходимых дотаций и норм налогообложения.

Для разрешения выше перечисленных проблем требуется источник актуальной и достоверной информации, независимый от возможных злоупотреблений. Таким источником информации являются данные дистанционного зондирования Земли, позволяющие оперативно получать объективные сведения об использовании земель, о состоянии посевов и их площадных характеристик. Впервые применение материалов и технологий ДЗЗ (дистанционного зондирования Земли) для решения задач сельхозотрасли началось еще в 30-е годы прошлого века, когда в США поля стали снимать с самолетов с целью уточнения их площади и границ [3]. Данный подход, а именно применение методов дистанционного зондирования Земли, был положен в основу концепции становления и развития Европейской общей сельскохозяйственной программы (Common Agricultural Policy, CAP). Единая сельскохозяйственная программа в современном Евросоюзе была введена еще в 1962 г., когда ЕС был Зоной свободной торговли. Она представляла собой комплексную систему политических и экономических мер, направленных на восстановление сельского хозяйства в послевоенной Европе. Сегодня общая сельскохозяйственная программа ЕС включает систему налогообложения и квот на импорт сельхозпродукции, регламентирует установление внутренних цен, выплаты за не использование земель, прямые субсидии. Постепенно эта система вытесняется субсидиями для стимуляции экологически чистого производства и в целом грамотного использования земель вне зависимости от произрастающих на них культур. Таким образом, правильный расчет площади и уточнение границ сельхозугодий становится очень важным для регулирования многих аспектов в отрасли сельского хозяйства [2]. Современные данные ДЗЗ, получаемые при помощи съемочной аппаратуры, установленной на различных космических аппаратах, обладают техническими характеристиками, позволяющими решать задачи от картографирования границ полей до анализа степени используемости земель и состояния сельскохозяйственных культур на больших площадях. Основными параметрами материалов космической съемки, принципиально важными для получения качественного результата, являются:

- пространственное разрешение;
- спектральное разрешение;
- ширина полосы сканирования;
- периодичность съемки.

Пространственное разрешение определяет максимально возможную точность выделения границ объектов – отдельных участков сельскохозяйственного назначения, а также точность отображения их площадей. Чем выше пространственное разрешение используемых снимков, тем более точные геометрические характеристики могут быть получены на основе их

дешифрирования. Но в то же время тем более жесткие требования выдвигаются к точности геопривязки, вплоть до необходимости проведения ортокоррекции исходных данных. Так, ортотрансформация высокодетальных материалов космической съемки строго необходима для обеспечения кадастровых работ и картографических работ в крупных масштабах – 1 : 2 000 – 1 : 5 000 [1].

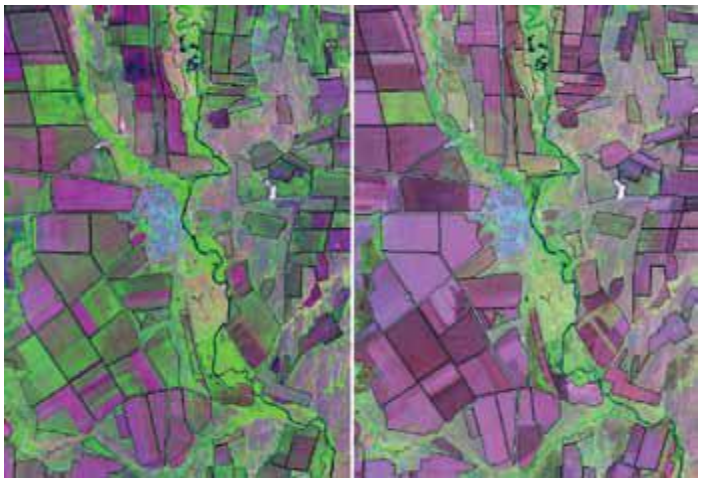


Рис. 2. Изменение состояния сельскохозяйственных угодий одного из районов Челябинской области, представленное на фрагментах снимков SPOT 4 (слева) и Landsat-5

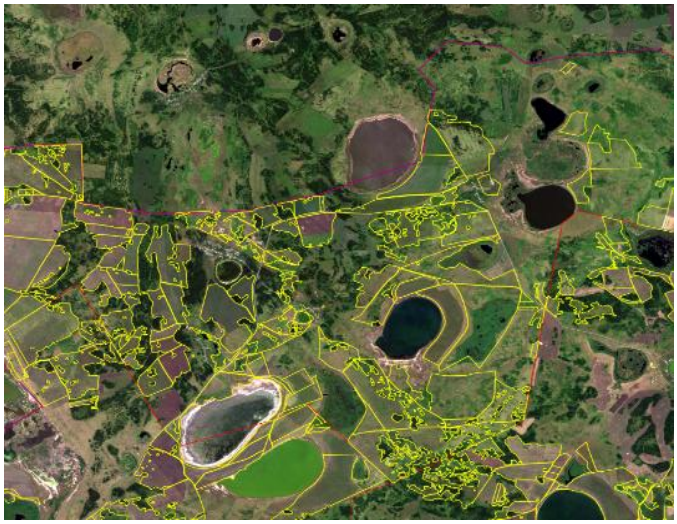


Рис. 3. Оцифрованные границы полей (август 2014, Октябрьский район, Челябинская область), представленные на фрагменте снимков RapidEye.

Под ортотрансформацией понимается процесс геометрической коррекции изображения, во время которого вносятся поправки в существенные геометрические неточности, которые могут быть обусловлены топографией, геометрией камеры и ошибками сенсора. В результате ортотранс-

формирования должно получиться планиметрически точное изображение, то есть такое, при котором каждая точка местности наблюдается строго вертикально с сенсора, в надир.

При картографировании полей, которые являются объектами сельского хозяйства, точность геопривязки спутниковых изображений также достигается в сочетании с проведением полевых работ. Для этого, помимо камеральных работ, связанных с обработкой актуальных космических снимков посредством применения программно-аппаратных комплексов, необходимо предусмотреть следующие виды работ:

- получение сведений из федерального картографо-геодезического фонда (каталог координат геодезических пунктов на обследуемый район);
- осуществление выезда на местность специалистов с целью планово-высотной привязки космических снимков в соответствии с полученными геодезическими пунктами.

Результат проведения вышеуказанных комплексных работ – это получение актуальной векторной планово-картографической основы по материалам космической съемки сверхвысокого разрешения с границами объектов сельского хозяйства (сельскохозяйственных полигонов). Границы представляются в виде полигональных объектов, с формой, приближенной к прямоугольнику, либо фигура неправильной формы с присутствием признаков деятельности человека (вспаханная земля, сельскохозяйственные посевы и пр.). Данная методика является одним из элементов сущности картографирования объектов сельского хозяйства на основе данных ДЗЗ.

Несмотря на то, что результаты данных ДЗЗ могут применяться для комплексного мониторинга агротехнического процесса и анализа состояния объектов сельхозназначения, базовой составляющей в системе управления, прогнозирования, моделирования сельского хозяйства является картографирование объектов сельского хозяйства, их учет, точное геопозиционирование и определение площади.

Библиографический список:

1. Изображение Земли из космоса: Научно-популярное издание. – М.: Инженерно-технологический центр «СКАНЕКС», 2005. – 100 с.

2. Космические технологии, сельское хозяйство, агрострахование: отечественный и мировой опыт // Земля из космоса. – 2009. – Вып. 9. – С. 42–53.

3. Шумаков, А. Космическая съемка для решения задач сельского хозяйства: опыт развитых стран / А. Шумаков // Земля из космоса. – 2011. – Вып. 9. – С. 54–56.

4. Герасимов, В.И. Технологии космической съемки в муниципальном управлении (практика) / В.И. Герасимов // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2011. – Вып. 4. – С. 46–53.

К содержанию

УДК 332.85(470.55) + 69.003.15-301 + 338.27

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЦЕН НА РЫНКЕ ЖИЛЬЯ г. ЧЕЛЯБИНСКА

И.В. Малев

По результатам проведенных исследований была получена модель прогнозирования, построенная на основе метода экспоненциального сглаживания в программном комплексе *STATISTICA.* Был сделан прогноз цен на жилье в г. Челябинске на ближайшие три месяца.

Ключевые слова: рынок жилья г. Челябинска, первичное и вторичное жилье, прогнозирование цен.

В настоящее время, когда Россия переживает последствия мирового финансового кризиса, особую важность приобрела проблема прогнозирования основных параметров рынка. Это обусловлено тем, что в периоды системных кризисов, охватывающих все рынки, значимость и эффективность принимаемых решений определяется их будущими результатами, которые невозможно оценить, не предвидев, каким это будущее станет.

Безусловно, любое будущее событие является весьма неопределенным. Поэтому не существует способов, позволяющих точно «распознать» его последствия. Вместе с тем, известно множество приемов, методов и соответствующих средств, позволяющих обнаружить тенденции, логику развития тех или иных процессов и на основе сопоставления с прошлым опытом предсказать характеристики наиболее вероятного развития событий.

Сложность проблемы прогнозирования рынка недвижимости в данный момент обусловлена тем, что развивающиеся кризисные явления, спровоцированные дисбалансом спроса и предложения на одном рынке товара, распространяются на рынки других товаров через взаимосвязанность экономической системы. С точки зрения возможности прогнозирования этот период характеризуется повышенной неопределенностью, когда последующее поведение тех или иных показателей рынка сложно предугадать.

В качестве основы прогноза обычно выступает анализ динамики процессов на рынке, обнаружение и детальное изучение взаимосвязей между показателями, сопровождающих эти процессы, описание их количественных и качественных характеристик и выявление устойчивых закономерностей.

Состояние рынка и его динамику в различных сегментах удобно отслеживать через цены. Дело в том, что цены формируются под действием всех факторов, включая платежеспособный спрос, доступность на рынке разнообразных объектов недвижимости, уровень предложения, сопутствующие условия для приобретения – развитие системы кредитования, процентные ставки и требования к первоначальному взносу. Наконец, на цены влияют ожидания рынка. Таким образом, рыночная цена вбирает в себя всю релевантную информацию об объекте, известную участникам рынка.

С позиций ценообразования отличием рынка первичного и вторичного жилья в том, что на баланс спроса и предложения, определяющего стоимость квадратного метра на первичном рынке, влияет большее количество внешних факторов. Это и реальные доходы населения, и себестоимость строительства и др. В свою очередь, себестоимость строительства зависит от доступности так называемых «длинных денег» – кредитов для строителей, а также от стоимости материалов, сложностей, связанных с получением разрешения на строительство и т.п. Важно также понимать, что цена на новостройки не является самостоятельной, как на квартиры вторичного рынка, а, по сути, есть функция объема продаж. Она может быть заметно ниже, если необходимо быстро распродать большой объем квартир и вернуть кредитные средства, или же, напротив, выше, если есть возможность увеличить срок экспозиции объекта и распродавать жилье по максимально высокой цене. Другими словами, зачастую цена на новостройки определяется не столько рынком, сколько выбранной стратегией продаж.

Вторичный рынок, как более инертный, дольше сохраняет стабильность, менее резко реагирует на изменения окружающих экономических факторов и почти полностью находится под влиянием изменения покупательской способности, а, следовательно, реальных располагаемых доходов населения. Все дело в присутствии на нем большого количества независимых продавцов и покупателей (что, в свою очередь, обеспечивает важное условие конкурентности вторичного рынка недвижимости), многие из которых являются, по своей сути, одним и тем же лицом. Так, продавцы, одновременно выступающие покупателями другого жилья, вынуждены «держать» цену.

С другой стороны, вторичный рынок жилья – это рынок однообразного законченного товара. В отличие от рынка новостроек квартиры не различаются разной степенью готовности дома, уровнем отделки (или степенью подготовки под нее), а также юридическим состоянием.

Таким образом, объекты нового и строящегося жилья, хотя и сильно влияют на рынок недвижимости, все же представляют собой не достаточно хороший ориентир для выявления общерыночных тенденций. Дополнительные «смущения» может также вносить активность продаж, создавая ощущения «бума» в одни периоды и затишья в другие. Однако периоды роста и снижения покупательской активности, в тоже время связаны с множеством других факторов и еще не означают коррекцию цен. Общий уровень цен на жилье, в данном случае, может быть только сглаженной и усредненной реакцией на все подобные локальные изменения.

Приемлемую эффективность прогнозирования можно обеспечить, изучая процессы изменения цен на рынке, выявляя устойчивые тенденции, которые проявлялись в прошлом, и относительно которых имеются основания предполагать, что они сохранятся и в будущем. В качестве основного

инструментария для этого обычно используются модели и статистические методы анализа временных рядов, развитые в рамках традиционной методологии случайных процессов.

Для построения прогнозов нами был применен метод экспоненциального сглаживания. Его отличительной особенностью является то, что членам ряда приписываются веса, экспоненциально убывающие с увеличением давности (возраста) наблюдения. Метод достаточно прост в применении и дает приемлемую точность прогноза.

Формула простого экспоненциального сглаживания имеет следующий вид:

$$S_t = \alpha \cdot X_t + (1 - \alpha) \cdot S_{t-1},$$

где S_t – сглаженное значение периода t;

α – параметр сглаживания;

X_t – фактическое значение временного ряда;

S_{t-1} – сглаженное значение периода (t-1).

Когда эта формула применяется рекурсивно, то каждое новое сглаженное значение (которое является также и прогнозом) вычисляется как взвешенное среднее текущего наблюдения и сглаженного ряда. Очевидно, результат сглаживания зависит от параметра α (*альфа*). Если α равно 1, то предыдущие наблюдения полностью игнорируются. Если α равно 0, то игнорируются текущие наблюдения. Значения α между 0 и 1 дают промежуточные результаты.

В дополнение к простому экспоненциальному сглаживанию были рассмотрены более сложные модели, включающие сезонную компоненту и тренд. Общая идея таких моделей состоит в том, что прогнозы вычисляются не только по предыдущим наблюдениям (как в простом экспоненциальном сглаживании), но и с некоторым запаздыванием, что позволяет независимо оценить тренд и сезонную компоненту.

При этом возможно получить различные модели, например, с учетом сезонности (сезонность отсутствует, присутствует аддитивная сезонность или мультипликативная) или с учетом тренда (тренд отсутствует, линейный тренд, экспоненциальный или демпфированный). Если с перечисленными видами тренда ситуация понятна, то особенности аддитивной и мультипликативной сезонности раскроем более подробно.

Многие временные ряды имеют сезонность. Например, продажи квартир имеют спады в январе, феврале и в августе. Эта периодичность имеет место каждый год. Однако относительный размер продаж может слегка изменяться из года в год. Таким образом, имеет смысл экспоненциально сгладить сезонную компоненту с дополнительным параметром, обычно обозначаемым как δ (*дельта*). Сезонные компоненты, по природе своей, могут быть аддитивными или мультипликативными. Например, в течение декабря продажи определенного вида квартир увеличиваются на 1 милли-

он долларов каждый год. Для того чтобы учесть сезонное колебание, можно добавить в прогноз на каждый декабрь 1 миллион долларов (сверх соответствующего годового среднего). В этом случае сезонность – аддитивная. Альтернативно, пусть в декабре продажи увеличились на 40 %, т.е. в 1,4 раза. Тогда, если общие продажи малы, то абсолютное (в долларах) увеличение продаж в декабре тоже относительно мало (процент роста константа). Если в целом продажи большие, то абсолютное увеличение продаж будет пропорционально больше. В этом случае продажи увеличатся в определенное число раз и сезонность будет мультипликативной (в данном случае мультипликативная сезонная составляющая была бы равна 1,4). На графике различие между двумя видами сезонности состоит в том, что в аддитивной модели сезонные флуктуации не зависят, тогда, как в мультипликативной модели зависит от значений временного ряда.

Кроме сезонной компоненты в процесс экспоненциального сглаживания может дополнительно включаться компонента тренда. Параметр обозначается γ (*гамма*) – для линейного и экспоненциального тренда, φ (*фи*) – для демпфированного тренда (с насыщением). Сглаживание ее производится в каждый момент времени независимо от других компонент. Если γ равно 0, то тренд постоянен для всех значений временного ряда (и для всех прогнозов). Если γ равно 1, то тренд «максимально» определяется ошибками наблюдений. Параметр φ учитывает, как сильно изменяется тренд, т.е. как быстро он «демпфируется» или, наоборот, возрастает.

В качестве объекта прогнозирования нами были выбраны цены на жилье г. Челябинска начиная с 11 ноября 2014 г. по 11 марта 2015 г. с интервалом в 5 дней по всем районам города без учета количества комнат и районов (25 значений) [1]. Временной ряд цен представлен на рис. 1.

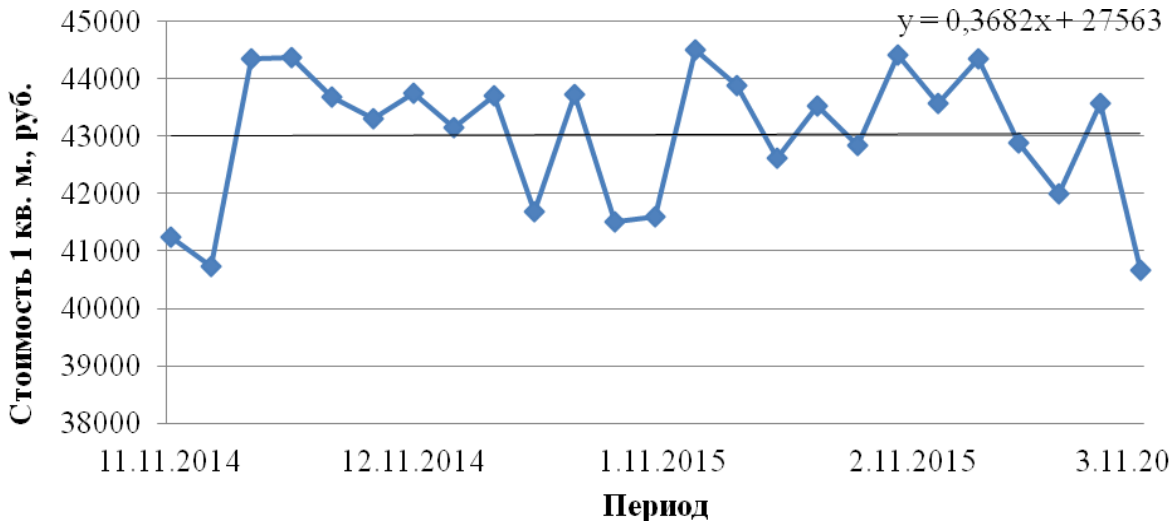


Рис. 1. Временной ряд цен на жилье г. Челябинска

Первым очевидным выводом из представленного графика является констатация того факта, что цены на рынке недвижимости практически монотонно растут. Даже некоторое падение значений в конце периода, не меняет картины и дает положительный наклон прямой тренда *y* с угловым коэффициентом 0,3682.

Если рассмотреть график автокорреляции данных, по лагу временных сдвигов можно выделить сезонность с шагом около трех месяцев (рис. 2).

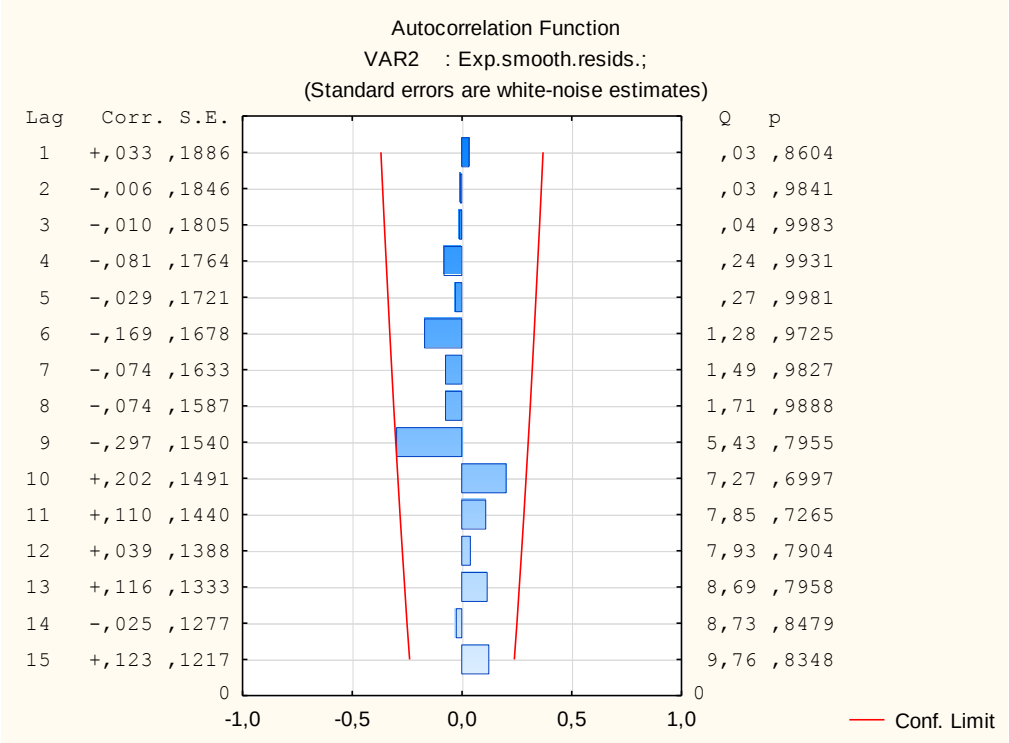


Рис. 2. Автокорреляция временного ряда

Все эти наблюдения относительно колебаний цен с различной амплитудой и трендом помогут нам принять решения относительно параметров модели прогнозирования. Однако однозначный вывод по поводу какого-то определенного тренда и ярко выраженной сезонности сделать нельзя.

Поэтому нами были построены несколько моделей прогнозирования, построенные на основе метода экспоненциального сглаживания. А для окончательного выбора модели и оценки качества подгонки параметра α нами была использована средняя абсолютная относительная ошибка. Она лучше всего подходит для оценки всего ряда в целом. В случае ее применения отрицательные и положительные относительные ошибки не будут подавлять друг друга. Кроме этого данная мера более выразительна, чем среднеквадратическая ошибка.

Численные расчеты и графическое отображение результатов были сделаны в программном комплексе STATISTICA в процедуре *Экспоненциальное сглаживание* модуля *Анализ и прогнозирование временных рядов.* Ре-

зультаты подгонки представлены в таблице. Следует отметить, что найденные ошибки качества модели были сделаны уже после автоматического подбора наилучшего значения параметра α для каждой модели временного ряда.

Таблица

Средняя абсолютная относительная ошибка для моделей, %

Модели, включающие сезонную компоненту и тренд	Сезонность отсутствует	Аддитивная сезонность	Мультипликативная сезонность
Тренд отсутствует	2,39	2,35	2,38
Линейный тренд	2,35	**2,27**	2,33
Экспоненциальный	2,40	2,30	2,42
Демпфированный	2,37	2,84	2,35

Согласно таблице наименьшая ошибка прогноза будет в случае применения модели с линейным трендом и аддитивной сезонностью (расхождение теоретических и фактических значений на уровне 2,27 %). Поэтому свой прогноз цен на три месяца на рынке жилья сделаем по данной модели, а полученные результаты представим графически (рис. 3).

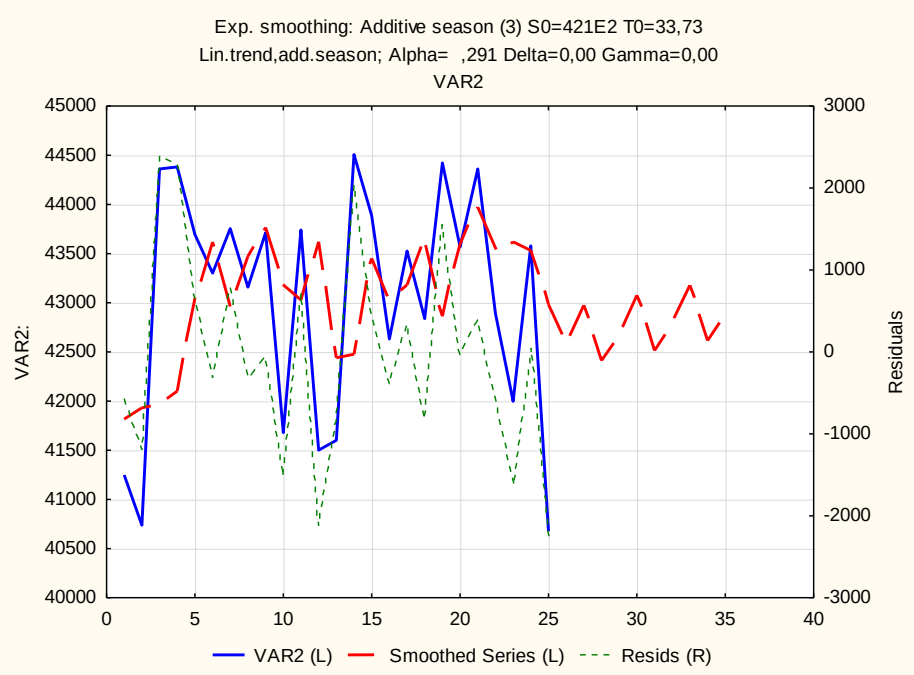


Рис. 3. Результаты прогноза цен

Таким образом, подобрана модель прогнозирования, содержащая линейный тренд с аддитивной сезонностью, дающая ошибку прогнозирования около 2,3 %. На основе нее был сделан прогноз рынка жилья на три месяца вперед, который указывает на диапазон цен, например, в июне 2015 г. на уровне 42600–43100 руб. за квадратный метр.

Библиографический список

1. Статистика изменения показателей стоимости жилья // Информационный портал недвижимости Челябинска и области. – URL: http://chelreal.ru/index/?interface=interface%2Fgraphs&module=Stat.

К содержанию

УДК 69.057 + 693.55/.56

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СКОРОСТНОГО ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА (ПОТОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ)

К.А. Матис

Рассмотрена организация строительного процесса в скоростном режиме поточным методом. Произведен примерный расчет времени строительства этажа при выполнение монолитных работ поточным методом. Произведен примерный расчет экономической выгоды при организации строительства поточным методом. Определены преимущества выполнения строительных работ поточным методом.

Ключевые слова: организационно-технологические основы; поточное производство работ; ритмичный строительный поток.

Практика показывает, что на сегодняшний день основная тенденция развития современной строительной отрасли связана с расширением применения монолитного железобетона. В связи с этим возрастает объем монолитного домостроения, появляется необходимость снижения трудоемкости и стоимости строительства. Основными направлениями для достижения этого, представляется переход на скоростное монолитное домостроение (далее – СМД), а также совершенствование основ технологии производства опалубочных, арматурных, бетонных работ и организации строительного потока [1, 2, 3, 5].

Степень эффективности железобетонных работ неразрывно связанна с календарными сроками и графиком выполнения работ, отражающим последовательность и взаимоувязку различных строительных процессов [1, 4, 5]. Так, звено бетонщиков, приступая к бетонированию, должно найти подготовленный фронт работы: начать укладку бетонной смеси можно лишь только после установки арматуры и опалубки на проектной отметке. Только при таком условии можно работать без простоев. Для достижения этой цели, монолитные работы должны выполняться поточным методом. При этом в СМД наиболее эффективными представляются равноритмичные строительные потоки.

При организации и расчете строительного потока определению подлежат такие параметры потока, которые с учетом рациональной технологии и организации работ на объекте обеспечивают его строительство в пределах нормативной продолжительности, непрерывную загрузку ресурсов (бригад, машин, механизмов) и непрерывность ведения строительно-монтажных работ [4, 5, 7, 8].

Основной задачей оптимизации потока для СМД является сокращение продолжительности строительства, которое обеспечило бы наиболее производительное использование рабочих и механизмов за счет насыщения фронта работ максимальным количеством ресурсов. При этом все расчеты должны базироваться на реальном количестве ресурсов, которые могут быть выделены соответствующими строительными организациями для выполнения объема работ по потоку.

Проектирование поточного производства работ для конкретного объекта должны включать следующие основные действия:

– выделение монтажных зон – частей здания, близких между собой по конструкциям, планировке, этажности, объемам работ и технологии возведения (при строительстве здания большой протяженности);

– расчленение сложных работ, выполняемых в каждой монтажной зоне, на простые процессы, по возможности равной трудоемкости;

– установление целесообразной последовательности процессов возведения объекта и соединение взаимосвязанных процессов в общий совокупный поток. Такое расчленение работ и связка процессов служит предпосылкой непрерывности - одного из важных факторов скоростной организации производства;

– установление необходимого оснащения бригад рабочих строительными инструментами, приспособлениями, что должно обеспечивать высокопроизводительное выполнение закрепленных за бригадами процессов.

При организации и расчете строительных потоков необходимо уделять внимание их технологической увязке. Технологическую увязку потоков выполняют исходя из следующих условий:

– работу на каждой последующей захватке начинают с интервалом, равным шагу потока;

– на одной захватке может работать одна бригада (звено) или несколько бригад с одинаковым ритмом;

– размер каждой захватки (фронт работы) остается неизменным для всех видов работ, выполняемых на захватке;

– после выполнения всего комплекса работ на одной захватке работы на каждой из последующих захваток заканчивают не позднее чем через интервал, равный шагу потока.

Проектирование поточного производства работ неразрывно связано с типами конструкций и качеством их изготовления.

При устройстве монолитных железобетонных конструкций необходимо руководствоваться строительными нормами и правилами (СНиП) и требованиями проекта производства работ (ППР) [13, 14, 15]. Качество выполнения опалубочных, арматурных и бетонных работ определяют общий технологический уровень возведения конструкций, его надежность и долговечность. Использование современных технологий и организации труда, средств комплексной механизации способствуют повышению качества работ и сокращению сроков возведения конструкций.

Как правило, при выполнении монолитных железобетонных работ, возводятся следующие конструкции:

– фундаментная плита, или ростверк;
– колонны или пилоны;
– стены, парапеты;
– балки или ригели;
– перекрытия.

Объем фундамента (монолитная железобетонная плита толщиной 0,6...0,8 м) жилых точечных 22...25 этажных зданий составляет 8...12 % от общего объема бетона, а трудоемкость работ 8...10 %.

Возведение подземной части здания (фундаментной плиты или ростверка) обычно представляет собой отдельный поток. Количество захваток и объемы работ на захватках при этом чаще всего отличаются от принятых для надземной части (в том числе для подземных этажей). Число рабочих при возведении фундаментной плиты должно составлять 24...27 чел.

Для организации поточного ведения работ при изготовлении основных монолитных железобетонных конструкций подземных этажей и надземной части здания целесообразно эти конструкции объединить в две группы: устройство вертикальных и горизонтальных конструкций. В самостоятельный поток также выделить работы по изготовлению лестничных маршей и площадок.

Для поточного возведения зданий в скоростном режиме приемлемы существующие методы организации строительных потоков. Однако строительство зданий в условиях СМД имеет свои существенные особенности.

На сроки строительства и безопасность работ существенно влияет правильная организация и определение монтажных зон. Монтажной зоной обычно считается площадь строящегося здания, находящаяся под обслуживанием одного монтажного крана. Площадь здания точечного типа представляет собой одну монтажную зону, а для зданий имеющих значительную протяженность в горизонтальном направлении, монтажных зон может быть несколько.

Величина монтажной зоны при скоростном возведении жилых зданий в среднем соответствует 600...1100 м^2.

Выбор крана осуществляется с учетом возможностей строительной организации и исходя из необходимости обеспечения подачи материалов (карты опалубки, бадьи с бетонной смесью и т.д.) к наиболее удаленной конструкции. Монтажная зона в отдельных случаях может обслуживаться также и двумя кранами. В зависимости от параметров здания (высота, габаритные размеры) и веса перемещаемых грузов целесообразно использовать современные башенные краны.

Разбивку монтажной зоны на захватки возможно выполнять с помощью принципа основывающегося на следующем:

– для организации ритмичного потока без простоев все конструкции делятся на вертикальные (стены, колонны) и горизонтальные (перекрытия);

– основной критерий при делении на захватки – объем бетона, принимаемый на монтажной зоне (под одним краном) за сутки, который зависит от сроков строительства, конструкций, количества опалубки, количества и квалификации рабочих;

– при выборе захваток для вертикальных конструкций необходимо учитывать дальнейшую раскладку элементов опалубки, во избежание лишних переборок, а также обеспечивать фронт работ для дальнейшего устройства горизонтальных конструкций;

– при делении на захватки, необходимо стремиться к тому, чтобы объемы бетона конструкций были примерно одинаковыми;

– каждая следующая захватка перекрытия должна закрывать предыдущую захватку по стенам (колоннам).

При СМД целесообразно использовать технологию возведения конструкций ступенчатым методом, когда стены и перекрытия возводятся на разных монтажных горизонтах (отметках). При этом за один день возводятся одна захватка стен и одна захватка перекрытия.

Разница между смежными монтажными горизонтами при СМД составляет один этаж. При такой технологии объем бетона, укладываемого в конструкцию в сутки под одним краном, по предварительным расчетам составит 95...145 м^3.

Для организации ритмичного потока, захватки по мере возможности должны быть равновеликими по объемам и трудоемкости. Отклонения трудоемкости процессов между захватками не должны превышать 10...15 %.

При разбивке объекта на захватки и организации работ на монтажных горизонтах, необходимо уделять внимание тому, чтобы было обеспечено удобство доступа рабочих к своим рабочим местам.

Для успешного бесперебойного ведения работ в поточном режиме необходимо комплектовать бригады бетонщиков, арматурщиков, плотников и опалубщиков (монтажников), подбирая их так, чтобы объем выполняе-

мых ими работ на каждом участке-захватке был пропорциональным. Это дает возможность обеспечить планомерный и ритмичный выпуск готовой строительной продукции. В противном случае одна бригада, нагоняя либо опережая другую, не получит достаточного фронта работ, что неизбежно приводит к простоям. Для выполнения каждой из бригад заданного объема работ необходим оптимальный подбор численно-квалификационного состава работников.

Увязки строительного процесса должна выполняется так, что выполнение каждого простого процесса поручается отдельному специализированному звену, которое сохраняя свой неизменный состав, равномерно передвигается по общему фронту работ, переходя с одной захватки на другую, сменяя друг друга, через равные промежутки времени, создавая ритмичный поток. Первое звено всегда выполняет первый по технологической последовательности процесс, последнее – по окончании работы оставляет завершенный конструктивный элемент. На каждой захватке одновременно могут выполняться несколько видов работ, например, опалубочные и арматурные для вертикальных конструкций.

Таким образом, работа может идти одновременно на нескольких захватках и находится на различной стадии готовности.

К примеру, при реализации данной технологии в условиях установившегося потока, во время армирования вертикальных конструкций первой захватки на второй захватке должна начинаться установка опалубки горизонтальных конструкций, а когда на второй захватке производится армирование горизонтальных конструкций, на первой захватке необходимо начинать бетонирование вертикальных конструкций.

Более наглядно, реализация организации строительного ритмичным строительным потоком показана на примере, технологии строительства жилого 22-х этажного монолитного здания точечного типа:

– общая площадь этажа 1100 м^2;

– проектируемые сроки строительства: сентябрь–декабрь, район строительства г. Москва;

– тип используемого бетона: В30 на ШД500 с добавкой НН [12];

– опалубка разборно-переставная щитовая [9, 10];

– выдерживание бетона в опалубке (в соответствии с технологией производства работ) проводится в течение 2-х суток до достижения прочности 40 % R_{28} с дальнейшей распалубкой и выдерживанием на стойках переопирания до 70 % R_{28}, при этом [13]:

а) при прочности бетона 40...50 % R_{28} применяется 100 % стоек;

б) при прочности бетона более 50 % R_{28} стойки можно разредить вдвое (50 %);

в) при прочности бетона более 60 % R стойки можно разредить вчетверо (25 %) или с шагом не более 3 м.

– приняты меры по интенсификации твердения бетона (прогрев);

– основные несущие конструкции вертикальные – стены и пилоны, горизонтальные – безбалочное перекрытие. Процентное соотношение бетона вертикальных и горизонтальных конструкций 40 % и 60 %, общий объем бетона на этаже 372,5 $м^3$.

Объем бетона монолитных конструкций надземной части – 8550 $м^3$.

Для строительства принят 24 часовой рабочий день в 2 смены по 12 часов с 1 выходным в неделю.

Планирование рабочего времени производится из расчета 90 рабочих дней. В этом случае в сутки следует укладывать 95 $м^3$ бетона: вертикальные конструкции толщиной 0,22 м–38 $м^3$, перекрытия толщиной 0,18 м–57 $м^3$.

По предварительному расчету количества опалубки для бетонирования одной захватки вертикальных конструкций необходимо иметь в среднем 420 $м^2$ опалубки. Для обеспечения бесперебойной организации работ необходимо иметь 840 $м^2$ стеновой опалубки (2 захватки).

Для устройства перекрытия необходимо иметь 1400 $м^2$ горизонтальной опалубки (3 захватки).

Общая последовательность работ включает:

а) в дневную смену:

– армирование стен из отдельных стержней;

– установка арматурных каркасов пилонов;

– установка и демонтаж опалубки стен и пилонов;

– установка опалубки перекрытия.

б) в ночную смену:

– армирование перекрытия из отдельных стержней;

– демонтаж опалубки перекрытия;

– бетонирование вертикальных конструкций бадьями и бетонирование горизонтальных конструкций с помощью бетононасоса.

Принципы организации работ в условиях установившегося потока следующие:

– демонтаж опалубки вертикальных конструкций на предыдущей захватке и ее подача на следующую захватку для дальнейшего монтажа. Монтаж опалубки выполняется параллельно с армированием вертикальных конструкций с отставанием на 2 часа;

– на захватке, где производится демонтаж вертикальной опалубки, с небольшим отставанием начинается установка опалубки перекрытия. Завершение установки опалубки перекрытия соответствует началу армирования перекрытия (во время бетонирования вертикальных конструкций);

– после завершения установки вертикальной опалубки начинается бетонирование вертикальных конструкций бадьями, работы по бетонированию перекрытия бетононасосом начинают сразу после завершения бетонирования вертикальных конструкций;

– по окончании бетонирования начинаются работы по выдерживанию и уходу за бетоном. Выдерживание бетона без совмещения с другими работами осуществляется: в течение 8 часов (в том числе 8 часов в опалубке) для вертикальных конструкций (до начала утренней смены), и в течение 24 часов (48 часов в опалубке) для горизонтальных (до начала утренней смены следующего дня).

Далее цикл повторяется до окончания монолитных работ. Распределение работ по бригадам следующее:

– звено арматурщиков вертикальных конструкций выполняет вязку арматуры из отдельных стержней и установку арматурных каркасов пилонов;

– звено опалубщиков вертикальных конструкций выполняет и монтаж, и демонтаж вертикальной опалубки;

– звено бетонщиков – бетонирование вертикальных, а затем горизонтальных конструкций (оператор бетононасоса только на бетонировании перекрытия).

По предварительным расчетам организация строительства подобным образом, позволит возводить этаж из монолитного железобетона со скоростью 2–3 дня. В зависимости от эффективности выполнения опалубочных, арматурных и бетонных работ. Традиционная технология с использованием норм времени ЕНиР 1987 года, имеет среднюю скорость возведения этажа – 6 дней [11].

Помимо преимущества в скорости, данная технологии по предварительным расчетам экономически более выгодна. Стоимость комплекта опалубки под один кран, как правило, в два раза выше стоимости крана (с учетом высокой амортизации опалубки, которая составляет 20 % в год по сравнению с амортизацией крана – 8 %). В связи с этим, возникает необходимость сокращать амортизационные выплаты по арендуемым кранам и опалубке за счет оптимизации и минимизации количества используемой опалубки, повышения ее оборачиваемости и сокращения сроков строительства, что является важной задачей при организации строительства монолитного здания в скоростном режиме.

При экономической оценке вариантов строительства следует учитывать, что на стоимость проекта влияют трудовые ресурсы, используемые машинами и оборудование, материалы, эксплуатационные расходы на строительной площадке. Кроме того, стоимость проекта может возрасти из-за штрафов и простоев.

Таким образом, предварительный подсчет затрат показал:

– затраты на аренду опалубки при СМД сокращаются на 29 % от затрат на аренду опалубки при строительстве по традиционной схеме;

– затраты на аренду башенного крана при СМД сокращаются на 50 % от затрат на аренду башенного крана при строительстве по традиционной схеме;

– затраты на аренду бетононасоса при СМД сокращается на 26 % от затрат на аренду башенного крана при строительстве по традиционной схеме;

– затраты на оплату труда и стоимость $м^3$ бетона сопоставимы по двум технологиям.

Учитывая преимущества строительства поточным методом, возможно его использовать в качестве основного при реализации СМД.

Библиографический список

1. Амбарцумян, С.А. Основы проектирования и производства опалубочных работ: дис. … д-ра техн. наук / С.А. Амбарцумян. – Ереван: ЕрАСИ, 1999.

2. Анпилов, СМ. Опалубочные системы для монолитного строительства: учебное издание / С.М. Анпилов. – М.: Издательство АСВ, 2009. – 280 с.

3. Афанасьев, А.А. Технология строительных процессов / А.А. Афанасьев, Н.Н. Данилов, В.Д. Копылов и др. – М.: Высш. шк., 1999. – 463 с.

4. Афанасьев, В.А. Поточная организация строительства / В.А. Афанасьев. – Л.: Стройиздат, 1990. – 303 с.

5. Данилкин, М.С. Основы строительного производства. Учебник для ВУЗов / М.С. Данилкин, И.А. Мартыненко, С.Г. Страданченко. – Новосибирск: Изд. Феникс, 2011. – 475 с.

6. Красновский, Б.М. Как остывать бетону / Б.М. Красновский // Технологии бетонов. – 2011. – № 4. – С. 58–61.

7. Соколов, Г.К. Технология и организация строительства / Г.К. Соколов. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 528 с.

8. Теличенко, В.И. Технология строительных процессов / В.И. Теличенко, О.М. Терентьев, А.А. Лапидус. – М.: Высш. шк., 2007. – 512 с.

9. Опалубка, строительные леса, инженерное сопровождение: справочник PERI. – Германия, 2008. – 303 с.

10. ГОСТ Р 52085-2003 Опалубка. Общие технические условия. – М., 2003.

11. ЕНиР. Сборник Е-4. Выпуск 1. Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций. Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1987.

12. Руководство по применению химических добавок в бетоне. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1981.

13. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. – М.: ГУП ЦППС, 2004,

14. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции. – М.: Строй издат, 1987.

15. СНиП III. 15-76 Бетонные и железобетонные конструкции монолитные. Правила производства и приемки работ. – М.: Стройиздат, 1977. – 127 с.

К содержанию

УДК 693.557 + 693.547.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЫДЕРЖИВАНИИ БЕТОНА В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

А.А. Мельник

Рассмотрена математическая модель теплообменных процессов в бетоне фундаментной плиты, выдерживаемой в зимних условиях методом термоса. Сопоставлены результаты по температуре и прочности бетона, полученные на основании математического модерирования теплообменных процессов и рассчитанные классическим методом, основанном на регулярном режиме остывания конструкции.

Ключевые слова: зимнее бетонирование, моделирование теплообменных процессов, расчет прочности бетона.

Правильный выбор параметров зимнего бетонирования снижает затраты электроэнергии, трудозатраты, расходы на материалы и оборудование, сокращает сроки строительства, уменьшить его стоимость [1].

Существуют несколько способов расчета параметров зимнего бетонирования. Наиболее широкое применение получил классический метод, основанный на регулярном режиме остывания конструкций [2]. Недостаток метода заключается в неполном учете тепловыделений цемента в процессе твердения бетона. При выдерживании бетона тонкостенных конструкций в зимних условиях термические выделения тепла при гидратации цемента не столь велики, и погрешность расчета классическим методом будет незначительна, однако для расчета массивных конструкций, где экзотермические выделения тепла имеют существенное значение, расчет по классическому методу [2] может иметь приближенный характер.

Для уточнения и корректировки классического метода было предложено выполнять расчет температуры и продолжительности выдерживания бетона с использованием математического моделирования теплообменных процессов. Для решения этой задачи расчет параметров зимнего бетонирования выполнялся двумя методами: классическим [2] и на основании математической модели [3].

Расчетной конструкцией являлась фундаментная плита с модулем поверхности Мп=3,43 м-1, изображенная на рис. 1, выдерживаемая методом термоса в зимних условиях. Класс бетона плиты В15 (ПЦ), температура наружного воздуха, принятая в расчете – минус 10 °С, скорость ветра – 5 м/с.

При математическом моделировании фундаментная плита разбивалась на 300 элементов – симплексов, грунт под фундаментной плитой на 100 симплексов, задавали граничные условия теплообмена с неотогретым грунтом, с окружающим воздухом и получали значение температуры в каждом сим-

плексе через 2 часа. В результате, была получена система уравнений, позволяющая определить температуру произвольного элемента при трехмерном нестационарном температурном поле с учетом экзотермических выделений тепла при твердении цемента [4].

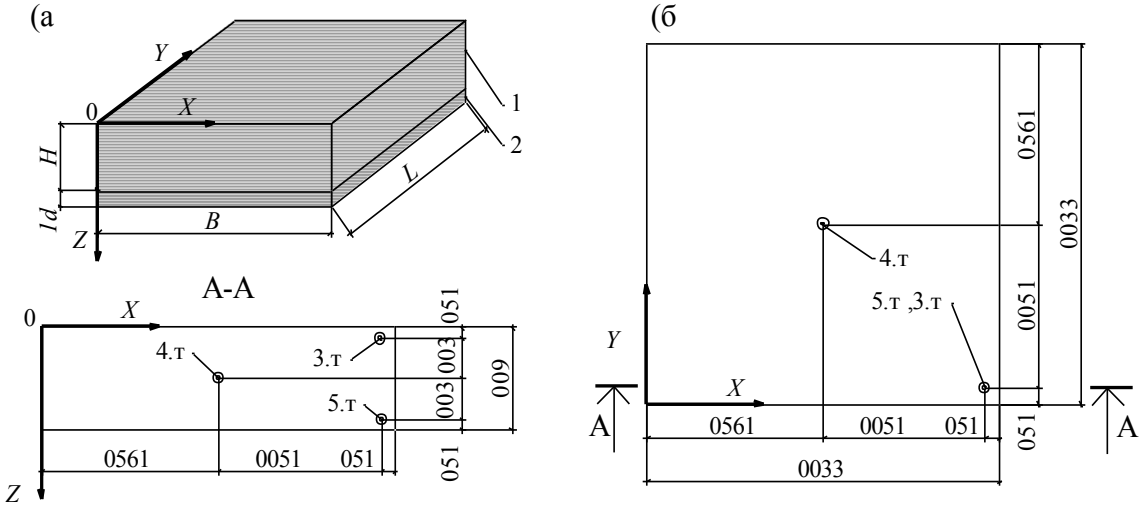


Рис. 1. Рассчитываемая конструкция: а) расчетная схема плиты;
б) схема расположения контрольных точек; 1 – плита;
2 – грунт под плитой; т.3, т.4, т.5 – контрольные точки

Математическая модель трехмерного температурного поля бетонируемой фундаментной плиты имеет следующий вид:

$$\frac{\partial t(x,y,z,\tau)}{\partial \tau}=\frac{\lambda_i}{c_i\cdot\rho_i}\left(\frac{\partial^2 t(x,y,z,\tau)}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 t(x,y,z,\tau)}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 t(x,y,z,\tau)}{\partial z^2}\right)+\frac{\omega(\tau)}{c_1\cdot\rho_1}, \quad (1)$$

для грунта основания $[\omega(\tau)=0]$: $i=2;\ 0\le x\le B;\ 0\le y\le L;$

$$H\le z\le H+d1; 0\le\tau\le\tau_к;\ t(x,y,z,0)=t_{гр}, \quad (2)$$

для плиты $[\omega(\tau)\ne 0]$: $i=1;\ 0\le x\le B;\ 0\le y\le L; 0\le z\le H;$

$$0\le\tau\le\tau_к;\ t(x,y,z,0)=t_0, \quad (3)$$

$$-\lambda_1\frac{\partial t(x=0\vee x=B,y,z,\tau)}{\partial x}=k_{б.о.}\cdot[t(x=0\vee x=B,y,z,\tau)-t_н(\tau)];\ 0\le y\le L;$$

$$0\le z\le H; 0\le\tau\le\tau_к, \quad (4)$$

$$-\lambda_1\frac{\partial t(x,y=0\vee y=L,z,\tau)}{\partial y}=k_{б.о.}\cdot[t(x,y=0\vee y=L,z,\tau)-t_н(\tau)];\ 0\le x\le B;$$

$$0\le z\le H; 0\le\tau\le\tau_к, \quad (5)$$

$$-\lambda_1\frac{\partial t(x,y,z=0,\tau)}{\partial z}=k_{в.о.}\cdot[t(x,y,z=0,\tau)-t_н(\tau)];\ 0\le x\le B;\ 0\le y\le L;$$

$$0\le\tau\le\tau_к, \quad (6)$$

$$-\lambda_1\frac{\partial t(x,y,z=H,\tau)}{\partial z}=-\lambda_2\frac{\partial t(x,y,z=H,\tau)}{\partial z}; 0\le x\le B;\ 0\le y\le L; 0\le\tau\le\tau_к, \quad (7)$$

$$t_1(x,y,H,\tau)=t_2(x,y,H,\tau);\ 0\le x\le B;\ 0\le y\le L; 0\le\tau\le\tau_к, \quad (8)$$

где c_1, c_2 – удельная теплоемкость соответственно бетона и грунта основания, Вт·ч/(кг·°С), (во всех обозначениях индекс «1» относится к бетонируемой конструкции, индекс «2» – к грунту основания под фундаментной плитой); λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С); ρ–плотность, кг/м^3; $t_{гр}$, t_0 – начальная температура соответственно грунта под плитой и свежеуложенного бетона, °С; $\tau_к$ – время термообработки, ч; $k_{б.о.}$, $k_{в.о.}$ – коэффициент теплопередачи поверхности соответственно боковых щитов опалубки и утепления неопалубленных поверхностей фундаментной плиты, Вт/(м^2·°С); $t_н$ – температура наружного воздуха,°С; $\omega(\tau)$ – удельная мощность объемного источника теплоты (экзотермия цемента), Вт/м^3.

Представленная математическая модель состоит из следующих элементов:

(1) – дифференциальное уравнение теплопроводности для возводимой фундаментной плиты, а также для грунта основания под конструкцией;

(2) – начальные условия для грунта под конструкцией;

(3) – начальные условия для бетонируемой фундаментной плиты;

(4), (5) – граничные условия III – рода (теплообмен твердого тела с окружающей воздушной средой, описываемый законом Ньютона – Рихмана) для боковых поверхностей опалубки плиты;

(6) – граничные условия III – рода для верхней неопалубленной поверхности плиты;

(7), (8) – граничные условия IV – рода (условие теплового примыкания двух твердых тел) для нижней поверхности возводимой плиты в зоне контакта свежеуложенного бетона с грунтом основания.

Полученная система уравнений, позволяет определить температуру произвольного элемента при трехмерном нестационарном температурном поле с учетом экзотермических выделений тепла при твердении цемента [4].

Для численного интегрирования приведенная система уравнений аппроксимировалась конечно-разностной схемой, решение которой реализовывалось численным методом тепловых балансов.

Реализация разработанной математической модели была выполнена в программе, составленной в среде «Microsoft Excel », позволяющей выполнить расчет температуры, продолжительности выдерживания, прочности бетона фундаментной плиты.

Расчет параметров зимнего бетонирования по сравниваемым методам производился в трех контрольных точках (рис. 1), одной центральной – т.4 и двум периферийным – т.3, т.5.

Полученные значения температуры в бетоне фундаментной плиты, продолжительность выдерживания бетона, прогнозируемая прочность, найденные по классическому методу расчета [2] и по математической модели [3] приведены на рис. 2.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

1. При классическом методе расчета [2] максимальной является температура бетона при укладке (+15 °С), в процессе выдерживания температура плавно понижается до 0 °С (рис. 2, график 4; 5), при этом значения для верхней т.3 и нижней т.5 контрольной точки совпадают, поскольку влияние граничных условий существующим методом полностью не учитывается (рис. 2, график 5). При расчете температуры бетона по математической модели [3], температурные графики имеют ярко выраженный максимум в интервале 30–50 часов, связанный с пиком экзотермических выделений тепла в процессе гидратации цемента. После прохождения максимума при дальнейшем выдерживании графики изменения температуры имеют ниспадающий характер (рис. 2, графики 1, 2, 3).

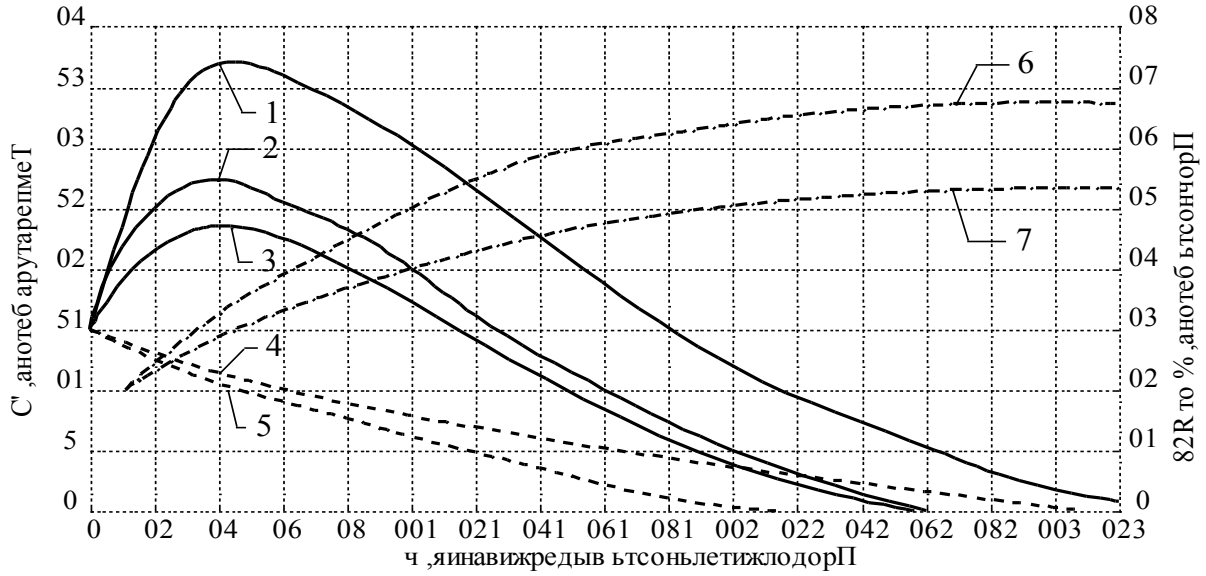


Рис. 2. Температура и прочность бетона плиты в процессе выдерживания: 1, 2, 3 – графики изменения температуры соответственно в центральной, верхней, нижней контрольных точках, полученные по [3]; 4, 5 – график изменения температуры, соответственно, в центральной и верхней (нижней) контрольных точках, полученные по [2]; 6, 7 – графики нарастания прочности для нижней контрольной точки плиты, полученные, соответственно, по [3], по [2]

2. Данные о продолжительности выдерживания бетона в центральной точки конструкции, полученные по сравниваемым методам, имеют хорошую корреляцию: расхождение составляет не более 12 часов (графики 1, 4 рис. 2) при общей продолжительности остывания 321 ч.

3. Прочность бетона нижней контрольной точки, вычисленная на основании математической модели, составляет 67 % от марочной (график 6 рис. 2). Прочность бетона этой же точки, подсчитанная по существующему методу [2], составляет 53 % от марочной (график 7 рис. 2).

Таким образом, расчет параметров зимнего бетонирования массивных конструкций с использованием математического моделирования теплообменных процессов позволяет более точно учитывать влияние граничных условий и экзотермических выделений тепла на температуру бетона, чем классический метод. Результаты вычислений с использованием математической модели позволяют уменьшить период выдерживания бетона, увеличить оборачиваемость опалубки, сократить продолжительность строительства.

Библиографический список

1. Головнев, С.Г. Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов / С.Г. Головнев. – Челябинск.: Изд-во ЮУрГУ, 1999. – 156 с.
2. Руководство по производству бетонных работ в зимних условиях, районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера / ЦНИИОМТП Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1982. – 313 с.
3. Мельник, А.А. Совершенствование технологии конвективного прогрева монолитных тонкостенных конструкций: автореф. дис. … канд. техн. наук / А.А. Мельник. – Челябинск: ЮУрГУ, 2002. – 22 с.
4. Бучко, Н.А. Расчет температур в бетонной кладке плотин / Н.А. Бучко, Г.Н. Данилова. – М.: Энергия, 1971. –105 с.

К содержанию

УДК 693.547.32 + 693.547.3

ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРОГРЕВА БЕТОНА МОНОЛИТНОЙ ФУНДАМЕНТНОЙ ПЛИТЫ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ С ПОМОЩЬЮ ПО «ELCUT»

М.В. Молодцов, Г.А. Пикус, А.Е. Русанов

Рассмотрен опыт авторов статьи в моделировании режимов электропрогрева бетона и связанных с ним тепловых полей по сечению монолитной фундаментной плиты под жилой 10-ти этажный дом. Представлены решения, в основу которых легли технологические особенности возведения данной конструкции.

Ключевые слова: зимнее бетонирование, тепловые поля, нагревательный провод, перепад температур.

Процессы производства бетонных работ на строительной площадке практически на всей территории России выполняются не только в летний, но и в зимний период года. С этим связаны большие расходы на термообработку бетона монолитных конструкций. Современная экономическая ситуация диктует требования к энергосбережению, что, в свою очередь, приводит к потребности в качественных проектных решениях организационно-технологической деятельности подрядных организаций.

Повысить эффективность проектных решений зимнего бетонирования на современном этапе возможно с помощью использования компьютерного моделирования тепловых полей, основанного на методе конечных элементов. В последнее время все большую популярность среди программного обеспечения в области зимнего бетонирования приобретает компьютерная программа «ELCUT». Несмотря на то, что данная программа решает двумерные задачи, она может быть полезна для большинства строительных конструкций.

Для выполнения теплотехнических расчетов, приведенных в статье, использовалось ПО «ELCUT» версии 6.0 (разработчик ООО «ТОР», г. Санкт-Петербург). Расчеты выполнялись в нестационарном режиме с учетом изменения экзотермии цемента во времени.

Авторами статьи была разработана технологическая карта на прогрев монолитной железобетонной фундаментной плиты 1-ой очереди 10-ти этажного жилого дома комплекса жилых домов с встроенным магазином и подземной автостоянкой в Калининском районе города Челябинска. Монолитная железобетонная фундаментная плита высотой 1200 мм сложного в плане очертания общей площадью 941,3 м^2 и объемом бетона 1130 м^3 была разделена на 3 захватки бетонирования. Расчетная температура воздуха в декабре месяце принята -25,8 ^{o}C [1].

Особенностью проекта на фундаментную плиту было требование проектировщика обеспечить укладку следующих порций бетона с разницей во времени не превышающей 2 часа. Поэтому каждая захватка была разделена на 4 карты бетонирования, разделенные между собой сетками-отсекателями (рис. 1).

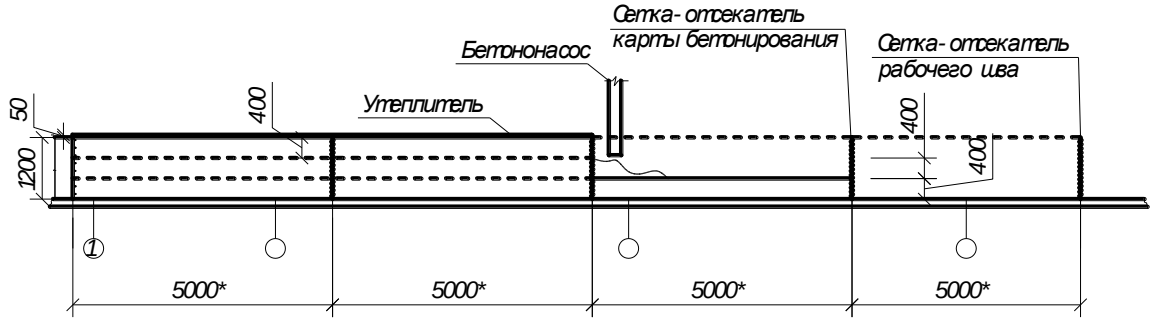


Рис. 1. Схема бетонирования захватки

Технологической особенностью выполнения работ было то, что до начала работы над технологической картой, на строительной площадке уже была выполнена бетонная подготовка толщиной 150 мм, причем при ее изготовлении использовался электропрогрев бетона нагревательным проводом. Для этих целей строители использовали провод ПНСВ-1,2 уложенный на глубине 50 мм с шагом 150 мм.

Учитывая требования п. 5.11.4 [2] для предотвращения замерзания бетонной смеси в зоне контакта с основанием было принято решение до укладки бетона прогреть замерзшую бетонную подготовку, используя для этого уже проложенный в ней нагревательный провод. Компьютерная модель прогрева бетонной подготовки содержала 25620 узлов. Через нагревательный провод моделировалось прохождение электрического тока мощностью 35 Вт/м. Результаты расчета показали, что на 5 сутки прогрева устанавливается стационарный режим распределения тепла, и на этот момент на поверхности бетона наблюдается температура -12,5 ^{o}C, которая в дальнейшем не изменяется. На основе анализа результатов изменения температуры было принято решение осуществлять предварительный прогрев бетонной подготовки за 24 часа до начала бетонирования, что обеспечивало температуру на поверхности бетона -15 ^{o}C.

В дальнейшем, нагревательный провод, находящийся в бетонной подготовке не отключался, а использовался для прогрева днища фундаментной плиты кондуктивно от поверхности бетонной подготовки.

Исходя из условия равномерного прогрева бетона фундаментной плиты, были проработаны несколько вариантов размещения нагревательных проводов и определена оптимальная схема их размещения в конструкции. Провода размещаются по периметру каждой захватки бетонирования в один ряд с шагом 150 мм. На открытом крае бетона (поверхность бетона соприкасается с воздухом) дополнительно устанавливается 2 линии проводов с шагом 100 мм и 200 мм (рис. 2).

Расчетная модель выдерживания бетона фундаментной плиты содержала 45130 узлов. В результате расчетов получены графики изменения тепловых характеристик бетона в течение 10 суток прогрева нагревательным проводом. Замораживание бетона на границе фундамента и бетонной подготовки не происходит, а пик роста температуры приходится на пятый-шестой день, после чего эффект от тепловыделения бетона вследствие экзотермии начинает снижаться.

Полученные скорости подъема температур (0,2 ^{o}C/час) не превышают предельно допустимых значений – 0,5 ^{o}C/час для конструкций с модулем поверхности 1,6 м$^{-1}$. Максимальный градиент температур по сечению бетона на захватке также не превышает нормативных значений 0,1 ^{o}C/см.

Далее были определены продолжительности изотермического выдерживания и остывания конструкций после отключения прогрева с учетом набора к окончанию остывания необходимой прочности бетона в 70 % от проектной прочности. Оценка прочности бетона выполнялась по аналитическим зависимостям на основе данных по температуре и времени твердения бетона. Температурно-прочностные параметры выдерживания бетона приведены в табл.

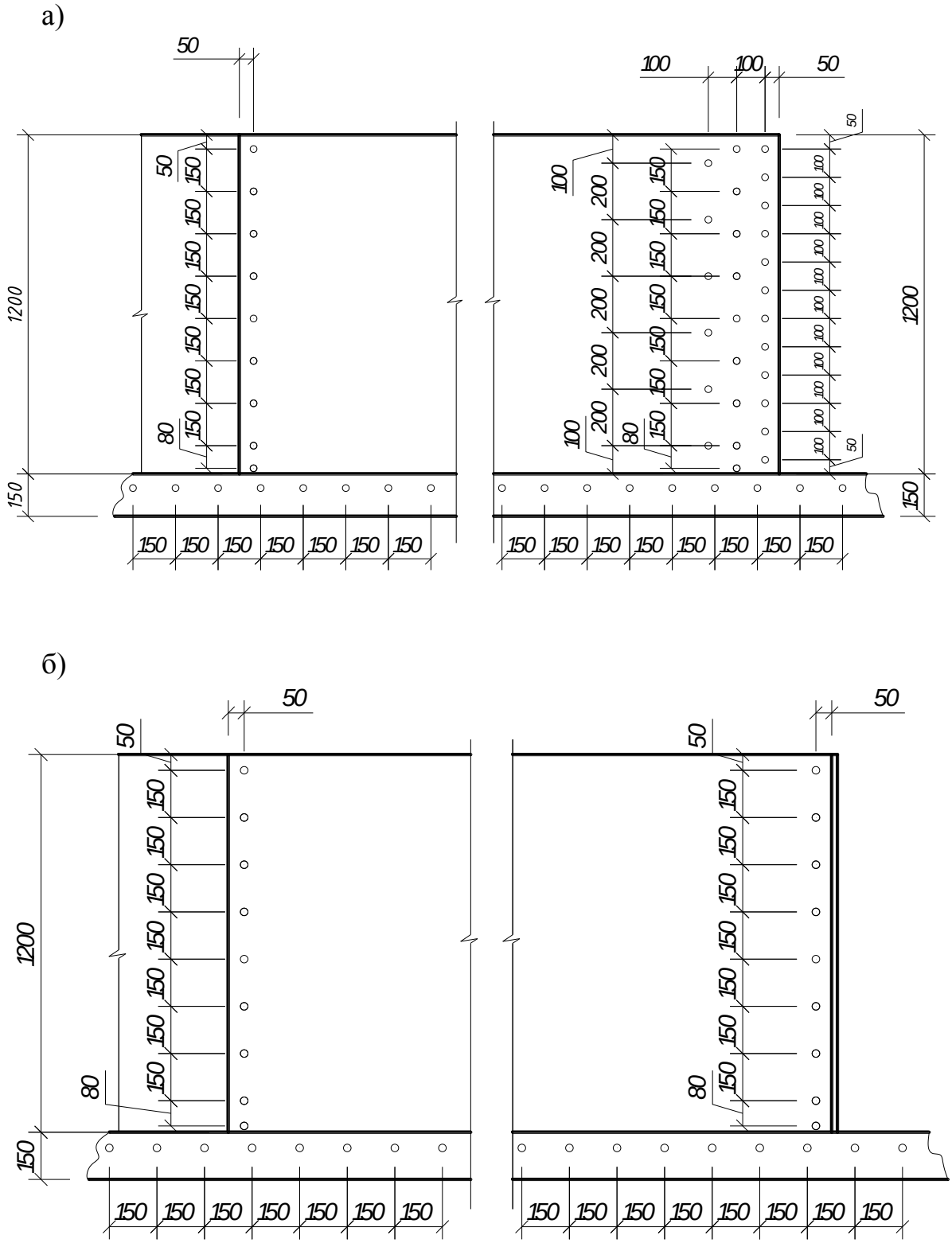


Рис. 2. Размещение нагревательных проводов
а – фундаментная плита на I и II захватках;
б – фундаментная плита на III захватке

Таблица

Температурно-прочностные параметры бетона

Положение точки	Время прогрева, дни	Прочность за период прогрева, %	Время остывания, час.	Средняя температура остывания, °С	Прочность к концу остывания, %
Низ	4	49	91	16	68
	5	58	98	18	76
Верх	4	66	127	26	88
	5	76	129	26	91
Середина	4	69	237	27	96
	5	79	244	27	97

По результатам расчетов конечной прочности различных точек фундаментной плиты определено, что прогрев каждой захватки необходимо выполнять в течение 5 суток (120 часов).

Таким образом, можно сформулировать следующие выводы:

1) использование компьютерного моделирования зимнего бетонирования позволит повысить качество организационно-технологического проектирования и обеспечить строительную площадку точными прогнозами по распределению температур по сечению бетона конструкции;

2) рассмотренный в данной статье подход к моделированию режимов зимнего бетонирования, обеспечивающих достижение монолитной фундаментной плитой заданной прочности при минимизации материальных затрат, может быть применен и для других монолитных конструкций зданий и сооружений.

Библиографический список

1. Р-НП СРО ССК-02-2014 Рекомендации по производству бетонных работ в зимний период. – Челябинск: НП СРО «ССК УрСиб», 2014.

2. СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87».

К содержанию

УДК 624.04.042 + 624.012.45:539.4

РАСЧЕТ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН РАЗЛИЧНЫМИ НОРМАТИВНЫМИ ДОКУМЕНТАМИ

В.А. Мусихин

Рассмотрен генезис формулы ширины раскрытия трещин в изгибаемых железобетонных конструкциях. Представлены различные модификации этой формулы в строительных нормативных документах разных лет. Даны объяснения получения эмпирических и комбинированных формул. Подробно рассмотрен переход от реального объекта к расчетной схеме.

Ключевые слова: трещинообразование, эмпирические и комбинированные формулы, формализация, корреляция.

Стальная арматура, применяемая в большепролетных железобетонных конструкциях (ЖБК) мостов и промышленных сооружений, постоянно подвергается интенсивному воздействию агрессивной внешней среды. В результате возникает опасность коррозионного поражения арматуры.

В плотном бетоне на портландцементе при достаточной толщине защитного слоя бетона стальная арматура теоретически надежно защищена от возникновения коррозии, так как высокая щелочность поровой жидкости бетона (pH ≈ 12,5) обеспечивает пассивирование поверхности стали. Но практически при изготовлении и эксплуатации ЖБК существует комплекс факторов, приводящих к нарушению пассивного состояния металла и возникновению интенсивной коррозии стальной арматуры.

Факторы, приводящие к возникновению и развитию коррозии:

1) повышенная пористость бетона, возникающая из-за нарушений в технологии изготовления ЖБК, например, из-за увеличения водоцементного отношения с целью повышения удобоукладываемости и облегчения процесса уплотнения бетонной смеси;

2) недостаточная толщина защитного слоя бетона;

3) трещинообразование в растянутой зоне изгибаемых ЖБК;

4) постоянное воздействие агрессивных природных факторов внешней среды, то есть дождя, ветра, солнца, низких температур, переменных температур, морской воды и других;

5) присутствие агрессивных компонентов в окружающей среде вследствие воздействия различных антропогенных факторов, например, использование *NaCl* или специальных химических растворов-антиобледенителей на автомобильных мостах, химически активные испарения разнообразных производственных процессов в промышленных зданиях;

6) наличие механических дефектов бетона, возникающих из-за различных нарушений в сложной технологии транспортировки и монтажа ЖБК.

Основным фактором, приводящим к развитию коррозионного процесса, является трещинообразование в растянутой зоне изгибаемых ЖБК. Избавиться от трещин практически невозможно, но, точно зная ширину раскрытия трещин, можно значительно увеличить эксплуатационные характеристики изгибаемой ЖБК.

После того как изгибаемая ЖБК установлена в проектное положение, она начинает воспринимать внешнюю полезную (эксплуатационную) нагрузку. При этом бетон в нижней зоне сечения начинает растягиваться. Бетон плохо работает на растяжение, и в нем сразу образуются трещины. Когда они раскрываются до предельно допустимой ширины, то на этом нагружение надо заканчивать, хотя до разрушения ЖБК (обрушения) может пройти еще много времени.

Из-за раскрытия трещин конструкция сразу не обрушится. Но дело в том, что при наличии трещин в них попадают агрессивные внешние воздействия, и с течением времени начинается процесс коррозии арматуры, вследствие чего нарушается сцепление между арматурой и бетоном. Конструкция из железобетона распадается на два отдельных строительных материала: арматуру и бетон. Железобетон как конструктивный единый материал перестает существовать. Происходит обрушение конструкции.

В изгибаемых ЖБК малого пролета проверка на ширину раскрытия трещин обычно выполняется с первого раза. Но в большепролетных ЖБК для выполнения этой проверки обычно ставится дополнительная арматура. В дополнение к арматуре, необходимой из условия несущей способности по изгибающему моменту, добавляется еще 5..15 % армирования.

В большепролетных ЖБК детерминирующим критерием максимума (предела) величины внешней полезной (эксплуатационной) нагрузки является предельно допустимая ширина раскрытия трещин. Она достигается тогда, когда напряжения в арматуре еще далеки от предельной величины (сопротивления растяжению R_s). Критерием работоспособности (предельной нагрузки) изгибаемой ЖБК является a_{crc} (ширина раскрытия трещины) (рис. 1), а не M_{int} (несущая способность по изгибающему моменту).

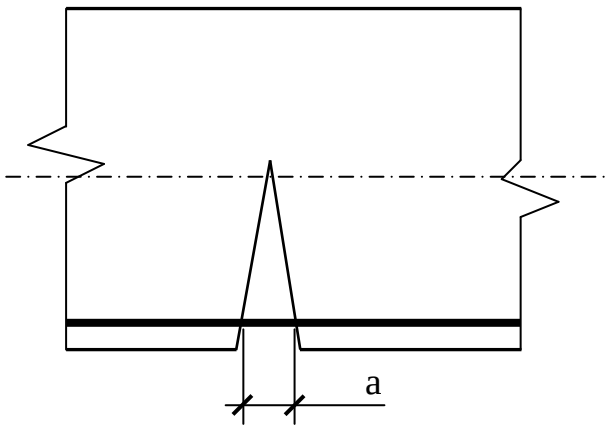


Рис. 1. Трещина, нормальная к продольной оси элемента

Когда в ЖБК появляются первые трещины, до полного использования прочностных свойств арматуры на растяжение очень далеко. Если нагружать конструкцию до разрушения в течение короткого времени, то арматура будет сохранять свою целостность очень долго, даже тогда, когда бетон между трещинами в нижней зоне сечения весь выкрошится. Разумеется, ЖБК в таком состоянии (с обнаженной арматурой) будет абсолютно не пригодной к долговременной работе.

Трещинообразование в ЖБК объясняется разными деформационными характеристиками исходных материалов, составляющих железобетон. Значение предельной относительной деформации бетона при растяжении при нормальной влажности воздуха $\varepsilon_{bt0} = 0{,}00024$ согласно табл. 6 СП [1], что в 22,8 раза меньше значения предельной относительной деформации стальной арматуры, например для А800 $\varepsilon_{s0} = 0{,}005475$ согласно формуле (12) СП [1]. Поэтому при совместном растяжении со стальной арматурой целостность бетона сохраняется только в начальной стадии растяжения.

Таким образом, точно посчитанная ширина раскрытия трещин в изгибаемых ЖБК значительно влияет на расход дорогостоящей высокопрочной арматурной стали.

Согласно п. 4.14 СНиП [2] ширину раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента, определяют по СНиП [2, формула 144]:

$$a_{crc} = \delta \cdot \varphi_l \cdot \eta \frac{\sigma_s}{E_s} 20(3{,}5 - 100\mu)\sqrt[3]{d_s},$$

где a_{crc} – ширина раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента, мм; δ – коэффициент, учитывающий вид напряженного состояния ЖБК (изгиб, внецентренное сжатие, растяжение); φ_l – коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки; η – коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры; σ_s – напряжение в стержнях крайнего ряда арматуры или (при наличии предварительного напряжения) приращение напряжений от действия внешней нагрузки; E_s – модуль упругости арматуры; μ – коэффициент армирования сечения; d_s – диаметр арматуры, мм.

Формула из СНиП [2] эмпирическая.

Эмпирические формулы получаются на основе статистической обработки большого количества практических (натурных) экспериментов (опытов). Они получили свое название от греческого слова **empirie** – опыт, испытание. Эмпиризм – это учение в теории познания, считающее опыт единственным источником знаний, утверждающее, что все знание обосновывается в опыте и посредством опыта.

Отличительной особенностью эмпирических формул является наличие в них эмпирических поправочных коэффициентов, полученных из опытов. По мере появления новых опытных данных эмпирические поправочные коэффициенты могут меняться.

Обычно после эмпирической формулы представлен список членов этой формулы и у каждого члена указана размерность.

В рассматриваемой выше формуле a_{crc} сомножители (эмпирические поправочные коэффициенты) δ, φ_l, η и μ безразмерны. Размерности σ_s и E_s одинаковы и, таким образом, сокращаются. В итоге в правой части остается кубический корень из мм. Если в расчете подставить d_s в см – результат вычислений будет неправильный.

Ни в одном из учебников, изданных в период действия основного строительного нормативного документа СНиП [2], автор не нашел логического обоснования этой формулы. В прикладных науках, например, в теории железобетона, такие труднообъяснимые эмпирические формулы встречаются очень часто [3].

Согласно п. 4.2.3.1 СП [1] ширину раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента, определяют по СП [1, формула 88]:

$$a_{crc} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{s} l_s,$$

где a_{crc} – ширина раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента, мм; φ_l – коэффициент, учитывающий продолжительность действия нагрузки; φ_2 – коэффициент, учитывающий профиль продольной арматуры; φ_3 – коэффициент, учитывающий характер нагружения; ψ_s – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительных деформаций растянутой арматуры между трещинами; σ_s – напряжение в продольной растянутой арматуре в нормальном сечении с трещиной от соответствующей внешней нагрузки; E_s – модуль упругости арматуры; l_s – базовое (без учета влияния вида поверхности арматуры) расстояние между смежными нормальными трещинами.

Формула ширины раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента, выглядит очень сложной, как и большинство формул в курсе железобетона. Не все понимают, откуда берутся такие непростые формулы. Попытаемся объяснить генезис эмпирических формул.

Формула a_{crc} из СП [1] является комбинированной формулой – это эмпирическая формула, в основе которой лежит теоретическая формула.

Полностью эмпирических формул мало. Большинство эмпирических формул получаются из канонических теоретических формул фундаментальных наук посредством добавления эмпирических поправочных коэффициентов. Комбинированные формулы в нормативно-технической литературе скоррелированы с базовыми (исходными) теоретическими формулами математики, физики, теоретической механики, сопротивления материалов, теории упругости и других фундаментальных наук.

В фундаментальных науках исследуются свойства и характеристики идеализированных конструкций, сделанных из сплошных изотропных материалов, работающих в нейтральной окружающей среде. Из реальной

конструкции выкристаллизовываются ее атрибутивные признаки, совокупность которых представляет собой расчетную схему (идеализированную конструкцию). **Формализация** – это процесс перехода от реального объекта к расчетной схеме (рис. 2). Имея расчетную схему, можно использовать математический аппарат для решения прикладных задач. Все формулы для расчетных схем выводятся логически с помощью математических преобразований. Получив расчетные теоретические формулы, мы возвращаемся к реальному объекту, и коррелируем полученные формулы к существующим особенностям реального объекта. **Корреляция** (соотнесение, распознавание, учет существующих обстоятельств) – это процесс перехода от расчетной схемы к реальному объекту (рис. 2).

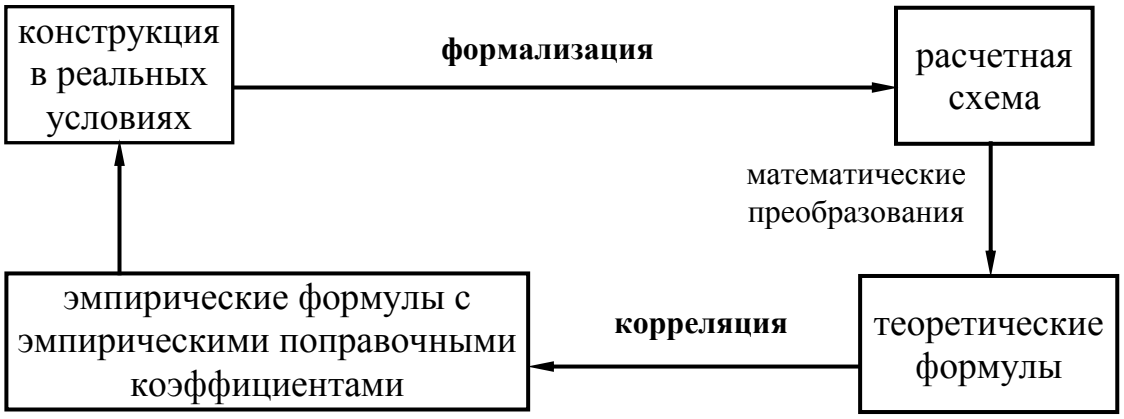


Рис. 2. Переход от реального объекта к расчетной схеме и обратно

В прикладной строительной науке производится учет всех особенностей работы настоящих конструкций, изготовленных из реальных материалов, воспринимающих различные агрессивные внешние воздействия.

Например, в ЖБК. Длительность действия нагрузки влияет на прочность бетона. Влажность окружающей среды влияет на долговечность конструкции. Вид поверхности арматуры влияет на сцепление арматуры с бетоном. Диаметр арматуры влияет на длину анкеровки арматуры l_{an}. Наличие преднапряжения влияет на трещиностойкость и так далее.

Отброшенные при переходе к расчетной схеме второстепенные (не атрибутивные) признаки конструкции суммируются и оказывают влияние на результат расчетов. Если отброшенных второстепенных признаков много, то есть реальный объект сложный, то их влияние очень значительно. Эти второстепенные признаки учитываются посредством эмпирических поправочных коэффициентов. Другими словами, для практического учета (корреляции) особенностей работы настоящих строительных конструкций, сделанных из реальных строительных материалов и находящихся в агрессивных средах, к теоретическим формулам фундаментальных наук добавляются эмпирические поправочные коэффициенты.

Внимательно посмотрев на формулу ширины раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента, мы увидим **закон Гука**. Каноническое представление фундаментального закона Гука выглядит так:

$$\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s,$$

где σ_s – напряжение образца; E_s – модуль упругости; ε_s – относительное удлинение образца.

Преобразовав базовый закон Гука, получаем формулу для ε_s:

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} .$$

Именно это выражение находится в правой части формулы a_{crc}. Умножив ε_s на величину l_s (базовое расстояние между смежными нормальными трещинами) мы получаем значение абсолютного удлинения стальной арматуры, то есть ширину раскрытия трещины a_{crc}.

Сомножители (эмпирические поправочные коэффициенты) φ_1, φ_2, φ_3 и ψ_s безразмерны. Размерности σ_s и E_s одинаковы и, следовательно, сокращаются. В итоге левая и правая части формулы соразмерны. Считая a_{crc} согласно СП [1, формула 88] мы можем подставить величину l_s в метрах, в сантиметрах, в миллиметрах и это никак не повлияет на правильность результата вычислений.

Эмпирическими поправочными коэффициентами φ_1, φ_2, φ_3 и ψ_s производится учет продолжительности действия нагрузки и особенностей работы железобетона как конструктивного композитного материала. То есть производится соотнесение (корреляция) теоретической формулы (обобщенного закона Гука, применимого к сплошным изотропным материалам) к объективной реальности (конкретному существующему материалу).

Таким образом, формула a_{crc} в СП [1] это фундаментальный **закон Гука, скоррелированный для железобетонной конструкции,** то есть учитывающий особенности действия нагрузки на конструкцию и особенности работы (профиль продольной арматуры, распределение относительных деформаций) этой конструкции, состоящей из двух разнородных конструктивных материалов.

Вникнув в теорию построения эмпирических формул, необходимо понять, что **истина конкретна** (истина является таковой только при определенных условиях). У каждой строительной конструкции свои особенности работы, то есть свои эмпирические поправочные коэффициенты к базовой теоретической формуле.

Таким образом, строительный нормативный документ СП [1] представляет понятную научно обоснованную формулу для определения a_{crc}.

Формула a_{crc} меняется от одного строительного нормативного документа к другому. В строительных нормах [4, 5] другие формулы a_{crc}. Эти формулы были получены опытным (эмпирическим) путем для тех конкретных материалов (бетона и арматуры), которые использовались в те годы.

Но строительная наука не стоит на месте, она постоянно развивается. Появляются новые композиционные материалы. И тогда при использовании старой эмпирической формулы может быть получен абсолютно неадекватный результат (флуктуация – резкое отклонение от среднестатистических значений), то есть возникает потребность в новой формуле. Эта формула должна учитывать особенности новых материалов посредством замены устаревших эмпирических поправочных коэффициентов на новые.

Через какое-то время возможна дальнейшая корреляция последней комбинированной формулы для a_{crc} в СП [1]. И фундаментальный закон (закон Гука), положенный в основу этой формулы, будет подвергаться новым корректировкам, учитывающим новые изменения физико-механических свойств строительных материалов.

На примере постоянного изменения формул ширины раскрытия трещин в изгибаемых железобетонных конструкциях проще понять диалектику конкретности истины. В прикладных науках любые изменения объективной реальности приводят к изменению расчетных формул.

Поняв диалектику конкретности истины, специалист легче ориентируется в области строительства. Двух абсолютно одинаковых строительных объектов не существует. Даже у типовых зданий различаются рабочие характеристики, длина, место подсоединения различных коммуникаций (электроэнергии, водопровода, канализации). Под каждым зданием своя геологическая обстановка (состав грунтов, уровень грунтовых вод), в разных местностях различаются температура воздуха, вес снегового покрова, ветровое давление, солнечная инсоляция, количество осадков и т.д.

Мы живем в постоянно меняющемся мире, и готовые решения должны постоянно пересматриваться с учетом изменений этого мира.

Библиографический список

1. СП 52-102-2004 Предварительно напряженные железобетонные конструкции / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2005. – 37 с.

2. СНиП 2.03.01-84* Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 79 с.

3. Мусихин, В.А. Комплексное изучение курса «Строительные конструкции» студентами строительных специальностей / В.А. Мусихин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2010. – Вып. 11. – № 33 (209). – С. 52–56.

4. СНиП II-В.1-62 Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования / Государственный комитет СМ СССР по делам строительства. – М.: Госстройиздат, 1962. – 100 с.

5. СНиП II-21-75 Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1976. – 90 с.

К содержанию

УДК 624.042.8:534.1

СООТНОШЕНИЯ ОРТОГОНАЛЬНОСТИ В УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ ДИССИПАТИВНЫХ СИСТЕМАХ

А.Н. Потапов

Показано, что в отличие от упругих колебаний собственные формы упругопластической системы подразделяются на два вида: колебательные и апериодические (монотонные). Приведены соотношения обобщенной ортогональности собственных форм упругопластической диссипативной системы. Результаты иллюстрируются на примере упругопластических колебаний трехэтажного каркаса.

Ключевые слова: упругопластическая система, диссипативная система, собственная форма, колебание, ортогональность, вектор, матрица, уравнение.

Вводная часть. Формы собственных колебаний определяются деформированным состоянием системы, вызванным действием инерционных и диссипативных сил. В линейно-деформируемой системе формы остаются неизменными в процессе колебаний, то есть их конфигурация не зависит от времени. Это означает, что отношение двух любых ординат k-й собственной формы есть постоянная величина: $p_{jk} / p_{ik} = \text{const}$ (рис. 1*а*).

При колебаниях конструкции за пределом упругости в наиболее опасных сечениях (элементах) возникают пластические деформации. Появление текучести влечет за собой изменение несущей способности системы и снижение ее упругого потенциала. Вследствие изменения жесткостных свойств системы действие инерционных и диссипативных сил, приложенных к массам сооружения, сопровождается перераспределением внутренних усилий. Это приводит к изменению конфигурации собственных форм. Поэтому отношение ординат p_{jk} и p_{ik} произвольной k-й собственной формы упругопластической системы, взятое в различные моменты времени, уже не будет постоянной величиной: $p_{jk} / p_{ik} \neq \text{const}$ (рис. 1*б*).

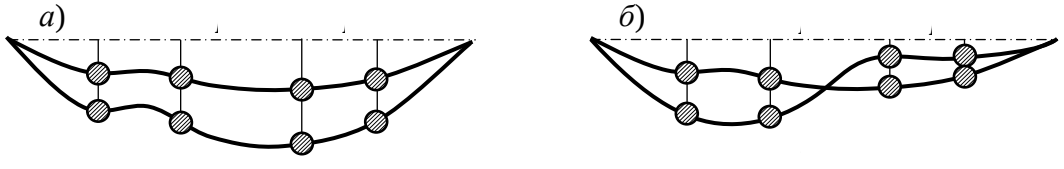


Рис. 1. k-я собственная форма в процессе колебаний:
а – упругой системы; *б* – упругопластической системы

Обозначим через P_k (k = 1, ... , n) формы собственных колебаний дискретной системы. Эти формы обладают замечательными свойствами, известными как условия ортогональности. Для упругой консервативной системы эти условия записываются в виде скалярных соотношений [1]:

$$P_l^{\mathrm{T}} M P_k = 0, \qquad P_l^{\mathrm{T}} K P_k = 0 \ (k, l = 1, \ldots , n; k \neq l), \tag{1}$$

где $M = \mathrm{diag}\ (m_1, \ldots, m_n)$, $K = K^{\mathrm{T}}$ – матрицы масс и жесткости системы.

Соотношения (1) показывают, что формы колебаний ортогональны как по отношению к матрице масс, так по отношению к матрице жесткости.

При колебаниях дискретных диссипативных систем (ДДС) матрицу демпфирования C обычно выбирают так, чтобы уравнения движения можно было привести к нормальным координатам. Тогда матрица C соответствует модели пропорционального демпфирования, а условия ортогональности принимают такой же вид, как и для консервативной системы, с той лишь разницей, что к равенствам (1) добавляется еще одно условие:

$$P_l^{\mathrm{T}} C P_k = 0 \ (k \neq l), \tag{2}$$

в котором формы колебаний ортогональны по отношению к матрице C. Наличие условий (1), (2) является следствием разделения всех трех сил в уравнении движения: инерции, упругости и демпфирования.

В реальных условиях колебаний трение в строительных конструкциях не подчиняется модели пропорционального демпфирования, поэтому уравнения движения в общем случае не приводятся к нормальным координатам и соотношения ортогональности имеют более сложный вид [2, 3].

В [4] выведены матричные соотношения обобщенной ортогональности собственных форм упругих колебаний ДДС с произвольной симметрической матрицей демпфирования C. В основу разработанной теории положен математический аппарат, связанный с анализом характеристического матричного квадратного уравнения, представляющего собой уравнение движения форм собственных колебаний. Данное уравнение и его аналог, полученный путем разложения в базисе из собственных векторов, имеют вид:

$$MS^2 + CS + K = 0, \qquad MP\Lambda^2 + CP\Lambda + KP = 0, \tag{3}$$

где $S = P\Lambda P^{-1}$ – матрица внутренних динамических характеристик системы; $P = [P_1, \ldots , P_n]$ – матрица собственных векторов (форм колебаний); $\Lambda = \mathrm{diag}\ (\lambda_1, \ldots , \lambda_n)$ – диагональная матрица спектральных характеристик.

Вектор P_k определяет k-ю собственную форму демпфированных колебаний; ему соответствует характеристическое число λ_k. При малой диссипации и упругих колебаниях это число – комплексное: $\lambda_k = -\varepsilon_k + i\omega_k$, где ε_k – коэффициент демпфирования, ω_k – частота собственных колебаний.

Решение уравнения (3) записывается в виде корневой пары:

$$S_{1,2} = M^{-1}(-C + V \pm U)/2, \tag{4}$$

где матрицы V и U обладают свойствами $V = -V^{\mathrm{T}}$, $U = U^{\mathrm{T}} = (PP^{\mathrm{T}})^{-1}$.

Обобщенная ортогональность собственных форм упругой ДДС. Уравнение (3) в базисе собственных векторов матрицы S сводится к системе двух эквивалентных матричных уравнений:

$$\Lambda P^{\mathrm{T}} M P + P^{\mathrm{T}} M P \Lambda + P^{\mathrm{T}} C P = E, \qquad \Lambda P^{\mathrm{T}} M P \Lambda - P^{\mathrm{T}} K P = \Lambda. \qquad (5)$$

Первое уравнение в (5) суть соотношение обобщенной ортогональности матрицы P, второе – диагональная форма уравнения движения (3).

Переходя в первом уравнении (5) к системе n^2 скалярных уравнений, получим соответственно $n(n–1)$ условий ортогональности собственных форм P_k, P_l (при $k \neq l$) и n условий их нормирования (при $k = l$):

$$\left.\begin{aligned} P_l^{\mathrm{T}}[M(\lambda_l + \lambda_k) + C]P_k = 0, & \qquad (6) \\ P_k^{\mathrm{T}}[2M\lambda_k + C]P_k = 1 \ (k, l = 1, \ldots, n). & \qquad (7) \end{aligned}\right\}$$

Аналогично из условия диагонализации второго уравнения в (5) получим

$$\left.\begin{aligned} \text{при } n(n–1): \quad P_l^{\mathrm{T}}[M\lambda_l\lambda_k - K]P_k = 0; & \qquad (8) \\ \text{при } k = l: \quad P_k^{\mathrm{T}}[M\lambda_k^2 - K]P_k = \lambda_k \ (k, l = 1, \ldots, n). & \qquad (9) \end{aligned}\right\}$$

В частном случае консервативной системы ($C = 0$, $\varepsilon_l = \varepsilon_k = 0$) формулы (6), (8), ввиду $(\lambda_l + \lambda_k) = i(\omega_k + \omega_l) \neq 0$, приводят к соотношениям (1).

Ниже показаны условия, при которых соотношения ортогональности (6), (8) становятся применимыми к упругопластической системе.

Теоремы состояний в упругопластических системах. В [4] предложены математические модели, реализующие диаграмму деформирования идеально-упругопластического материала Прандтля и позволяющие в рамках теории пластического течения использовать вычислительную схему промежуточных состояний. В соответствии с этой схемой весь процесс реакции разбит на ряд интервалов (t_i, t_{i+1}), внутри которых динамические параметры (в частности элементы матрицы жесткости $K(t_i)$) расчетной модели неизменны, а на границах (в моменты возникновения или закрытия пластических шарниров) происходит их скачкообразное изменение. Такой подход позволил на квазиупругих интервалах (между временными критическими точками) использовать теорию упругих систем.

Снижение жесткостных параметров расчетной модели при текучести удобно отслеживать с помощью определителя матрицы жесткости. В качестве критерия невырожденного и вырожденного состояний упругопластической системы на квазиупругом интервале $t \in [t_i, t_{i+1}]$ приняты, соответственно, условия $\det K(t_i) > 0$ и $\det K(t_i) = 0$, позволяющие сформулировать теоремы состояний. Теоремы дают качественную оценку состояния системы в зависимости от свойств ее внешних и внутренних динамических параметров. К внешним динамическим параметрам относятся жесткостные характеристики расчетной модели (в строгом смысле к ним также относят-

ся параметры инерции и демпфирования). К внутренним динамическим параметрам – ее спектральные характеристики: собственные частоты ω_k, коэффициенты демпфирования ε_k и собственные формы P_k, являющиеся собственными значениями матриц корневой пары (4): S_m (m = 1, 2).

Теорема 1 (об условии невырожденного состояния квазиупругой системы). *Матрица жесткости* $K(t_i)$ *квазиупругой системы невырожденна тогда и только тогда, когда невырожденны обе матрицы* S_1, S_2 *в корневой паре* (4):

$$\det K(t_i) > 0 \quad \Leftrightarrow \quad \det S_m \neq 0 \ (m = 1, 2). \qquad (10)$$

Факт невырожденности обеих матриц S_m выражают графики частотных спектров упругопластической системы на всем интервале ее реагирования (рис. 2*а*), а также при $t \notin [t_i, t_j]$ (рис. 2*б, в*). Согласно (10) количество пластических шарниров в системе еще не достигло такого числа, при котором образуется пластический механизм. Поэтому поведение системы характеризуется чисто количественными изменениями динамических параметров.

Теорема 2 (об условии вырожденного состояния квазиупругой системы). *При полной диссипации матрица жесткости* $K(t_i)$ *квазиупругой системы вырожденна тогда и только тогда, когда одна из матриц* S_1, S_2 *в корневой паре* (4) *вырожденна, а другая – нет:*

$$\det K(t_i) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \det S_m = 0, \det S_r \neq 0 \ (m, r = 1, 2; m \neq r). \qquad (11)$$

В вырожденном состоянии образуется пластический механизм. Система становится кинематически изменяемой, а часть ее частотного спектра – нулевой: интервалы $t \in [t_i, t_j]$ (рис. 2 *б*), $t \in [t_i, t_q]$, $t \in [t_{q+1}, t_j]$ (рис. 2*в*).

С ростом текучести возможно образование избыточного пластического механизма и полное исчерпание упругого потенциала ДДС. Матрица жесткости и весь частотный спектр упругопластической системы становятся равными нулю. Это соответствует достижению *предельно вырожденного состояния* (ПВС) системы (см. частотные кривые на временном отрезке $t \in [t_q, t_{q+1}] \subset [t_i, t_j]$, рис. 2*в*).

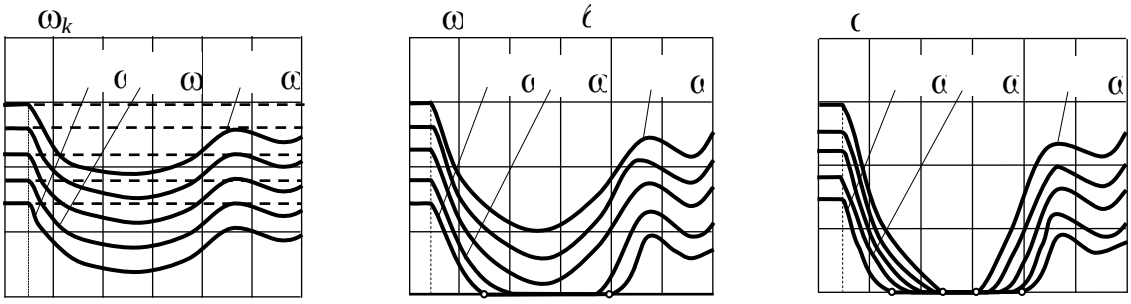


Рис. 2. Частотные спектры упругопластической системы при:
а – невырожденном состоянии на всем интервале реагирования системы (пунктирные прямые – при упругой реакции системы);
б – вырожденном состоянии (пластический механизм на интервале $t \in [t_i, t_j]$);
в – ПВС на интервале $t \in [t_q, t_{q+1}] \subset [t_i, t_j]$

Теорема 3 (об условии ПВС квазиупругой системы). *Пусть матрица демпфирования положительно определена. Матрица жесткости квазиупругой системы принимает нулевое значение тогда и только тогда, когда один из матричных корней в* (4) *нулевой, а другой – невырожден:*

$$K(t_q) = 0 \quad \Leftrightarrow \quad S_m = 0,\ S_r = -M^{-1}C\ (m, r = 1, 2;\ m \neq r). \qquad (12)$$

Согласно теоремам 2 и 3 в вырожденном состоянии квазиупругой системы спектр матрицы S_m содержит хотя бы одно нулевое характеристическое число, например $\lambda_j^{(m)} = 0$ (т.е. $\varepsilon_j^{(m)} = \omega_j^{(m)} = 0$). Тогда соответствующее ему число $\lambda_j^{(r)}$ из спектра матрицы S_r может быть только вещественным (т.е. $\lambda_j^{(r)} = -\varepsilon_j^{(r)}$). Это означает, что с образованием пластического механизма часть собственных форм (хотя бы одна собственная форма), соответствующая нулевым частотам $\omega_k(t) = 0$ (частотные кривые при $t \in [t_i, t_j]$, рис. 2*б*), не является колебательной (закон движения: $\varphi_k(t) = A_k + B_k e^{-\varepsilon_k t}$). При ПВС ввиду нулевого спектра: $\lambda_j^{(m)} = 0$ ($j = 1, \ldots, n$) для всех собственных форм упругопластической системы на интервале $t \in [t_q, t_{q+1}]$ характерно апериодическое движение (рис. 2*в*).

Следовательно, в вырожденном состоянии упругопластической ДДС можно выделить два равноправных и качественно отличающихся друг от друга вида собственных форм. Это формы с колебательным движением, соответствующие ненулевым значениям частот, и формы с апериодическим движением, соответствующие нулевой части частотного спектра. Во всех случаях характер движения – затухающий.

Обобщенная ортогональность собственных форм упругопластической ДДС. *Условия теоремы 1.* При невырожденном состоянии в частотном спектре упругопластической системы отсутствуют нулевые значения (рис. 2*а*). Поэтому все собственные формы – колебательные и $2n(n–1)$ соотношений ортогональности имеют вид, аналогичный (6), (8).

Условия теоремы 2. По условию вырожденного состояния частотный спектр упругопластической системы содержит нулевые значения (рис. 2*б*), поэтому матрица P собственных форм заключает в себе векторы как колебательных, так и монотонных собственных форм. Отсюда имеем условия ортогональности трех видов. Первый вариант: обе собственные формы P_k, P_l ($k \neq l$) в соотношении ортогональности являются колебательными; второй: обе собственные формы – монотонные. Наконец, третий вариант – смешанный, когда одна форма колебательная, другая – монотонная.

В случае первого варианта соотношения ортогональности идентичны выражениям (6), (8). При втором варианте векторам монотонных собственных форм P_k, P_l ($k \neq l$) будут соответствовать нулевые частоты $\omega_k = \omega_l = 0$. Поэтому соотношения ортогональности примут вид:

$$P_l^{\mathrm{T}}[-M(\varepsilon_l + \varepsilon_k) + C]P_k = 0, \qquad P_l^{\mathrm{T}}[M\varepsilon_l\varepsilon_k - K(t_i)]P_k = 0. \qquad (13)$$

Для третьего варианта, полагая k-ю собственную форму (вектор P_k) монотонной, а l-ю (вектор P_l) колебательной, будем иметь: $\omega_k = 0$, $\omega_l \neq 0$. Тогда соотношения ортогональности смешанных форм запишутся так ($k \neq l$):

$$\left.\begin{aligned} P_l^{\mathrm{T}}[M(\lambda_l - \varepsilon_k) + C]P_k = 0, \\ P_l^{\mathrm{T}}[M\lambda_l\varepsilon_k + K(t_i)]P_k = 0. \end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

Условия теоремы 3. В ПВС весь частотный спектр упругопластической системы – нулевой на интервале $t \in [t_q, t_{q+1}]$ (рис. 2*в*). Поэтому имеем $2n(n–1)$ соотношений ортогональности собственных форм движения монотонного типа. Учитывая, что в (13) $\varepsilon_l\varepsilon_k \neq 0$, получим ($k \neq l$):

$$P_l^{\mathrm{T}}MP_k = 0, \qquad P_l^{\mathrm{T}}CP_k = 0. \qquad (15)$$

Эти формулы совпали с соотношениями ортогональности (1), (2) для упругой ДДС, в которой матрица C удовлетворяет условиям разделимости. При этом условие $P_l^{\mathrm{T}}K(t_i)P_k = 0$ выполняется тождественно, ввиду $K(t_i) = 0$.

В отношении собственных форм P_k, P_l, входящих в выражения (13)–(15), необходимо сделать замечания. В отличие от упругих колебаний, где обе матрицы S_1, S_2 в (4) невырождены и имеют простой спектр, при упругопластических колебаниях диссипативной конструкции структура матричных корней усложняется. Согласно условиям (11), (12), только один корень S_r – всегда невырожден, второй – S_m либо вырожден, либо нулевой.

Для вырожденной матрицы S_m базис из собственных векторов может не существовать [3], что обусловлено наличием кратных (нулевых) собственных значений. Поэтому приведенные выше соотношения ортогональности (13)–(15) необходимо строить в базисе из собственных векторов (форм) P_k, P_l ($k \neq l$) невырожденной матрицы $S_r = P\Lambda P^{-1}$ в (11) и (12). Проиллюстрируем это на примере.

Пример. Рассмотрим упругопластические колебания 3-этажного здания под действием импульсов: $P(t) = P_0 \sin\theta t$, где $\theta = \pi/t_a$, $t_a = 0{,}8\ c$ – продолжительность импульсов, $P_0 = [8, 5, 5]^{\mathrm{T}}$ (кН) – вектор амплитуд (рис. 3). Коэффициенты жесткости колонн k_j равны: $k_1 = k_2 = 2{,}4$ кН/см, $k_3 = 3$ кН/см. Более подробная информация по этой задаче приведена в [4].

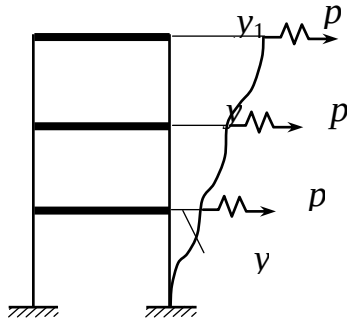


Рис. 3. РДМ 3-этажного каркаса

Матрицы масс, жесткости и демпфирования составили:

$$M = \mathrm{diag}\,(0.1,\ 0.2,\ 0.2)\ (\text{кНс}^2/\text{см}),$$

$$K = \begin{bmatrix} 4.8 & -4.8 & 0 \\ -4.8 & 9.6 & -4.8 \\ 0 & -4.8 & 10.8 \end{bmatrix} (\text{кН/см}),$$

$$C = \begin{bmatrix} 2.205 & -2.205 & 0 \\ -2.205 & 4.4106 & -2.142 \\ 0 & -2.142 & 4.678 \end{bmatrix} 10^{-2}\ (\text{кНс/см}).$$

На интервале $t \in [0, 0{,}424]$ *c* рама совершает упругие колебания. В этом состоянии матрицы внутренних динамических характеристик имеют вид:

$$S_{1,2} = \begin{bmatrix} -0.110266 \pm i6.319492 & 0.110165 \mp i3.971045 & 0.000093 \mp i0.567763 \\ 0.055183 \mp i1.985523 & -0.110266 \pm i6.035622 & 0.054483 \mp i1.914593 \\ -0.000047 \mp i0.283882 & 0.052630 \mp i1.914593 & -0.116955 \pm i7.082126 \end{bmatrix} (c^{-1}).$$

Спектральные характеристики матрицы S_1 (матрица собственных форм P и диагональная форма Λ) принимают значения:

$$P = \begin{bmatrix} 0.572633 - i0.572716 & 0.342044 - i0.342623 & 0.284308 - i0.283444 \\ 0.485181 - i0.485234 & -0.027902 + i0.028873 & -0.252555 + i0.252344 \\ 0.249624 - i0.249426 & -0.337819 + i0.337444 & 0.164600 - i0.165666 \end{bmatrix},$$

Λ = diag (–0.016712+*i*2.707579, –0.114922+*i*7.208907, –0.205852+*i*9.520754) (c^{-1}).

Значения P и Λ удовлетворяют соотношениям (5) при их подстановке в левую часть этих уравнений.

При t_1 = 0,424 *c* начинается текучесть в концевых сечениях колонн верхнего этажа. Матрица жесткости становится вырожденной:

$$K(t_1) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4.8 & -4.8 \\ 0 & -4.8 & 10.8 \end{bmatrix} \text{ (кН/см)}.$$

Согласно условию (11), матрицы внутренних динамических характеристик обладают свойством: det S_1 = 0, det $S_2 \neq 0$, поэтому одна из собственных частот матрицы S_1 равна нулю. Для невырожденной матрицы S_2 значения матрицы форм P и диагональной матрицы спектра Λ составили:

$$P = \begin{bmatrix} i6.733832 & -0.034777 + i0.038104 & 0.004982 - i0.005192 \\ -i0.012284 & 0.540215 + i0.541914 & -0.191738 - i0.186680 \\ -i0.005455 & 0.301343 + i0.298127 & 0.340080 + i0.342882 \end{bmatrix},$$

Λ = diag (–0,220934, –0.066242 – *i*3.267352, –0.16078 – *i*8.201663) (c^{-1}).

Вектор P_1 определяет монотонную, векторы P_2, P_3 – колебательные формы.

Проводя вычисления левой части соотношений в (5), имеем:

$$\Lambda P^{\mathrm{T}} M P + P^{\mathrm{T}} M P \Lambda + P^{\mathrm{T}} C P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\Lambda P^{\mathrm{T}} M P \Lambda - P^{\mathrm{T}} K P =$$

$$= \begin{bmatrix} -0.220934 & 0 & 0 \\ 0 & -0.066242 - i3.267352 & 0 \\ 0 & 0 & -0.16078 - i8.201663 \end{bmatrix}.$$

Диагональные элементы полученных матриц совпадают с соответствующими элементами матриц E и Λ. Для внедиагональных элементов реализуются условия обобщенной ортогональности. Причем ортогональность монотонной формы P_1 и колебательной P_2 (и P_3) выполняется в соответствии с (14). Ортогональность колебательных форм P_2 и P_3 реализуется по формулам (6) и (8).

При t_3 = 0,5260 c имеет место текучесть в несущих конструкциях всех этажей каркаса. Матрица жесткости равна: $K(t_3) = 0$ и уравнения (5) принимают упрощенный вид: $P^{\mathrm{T}}MP = \Lambda^{-1}$, $P^{\mathrm{T}}CP = -E$. По условию ПВС (12) имеем: $S_1 = 0$, $S_2 = -M^{-1}C$ и тогда все собственные формы матрицы S_2 являются монотонными, а характеристики спектра – вещественными:

$$P = i\begin{bmatrix} -10.24991 & 3.743058 & -2.819849 \\ -8.698355 & -0.154101 & 2.447962 \\ -4.646285 & -3.840181 & -1.472498 \end{bmatrix}, \Lambda = \begin{bmatrix} -0.033382 & 0 & 0 \\ 0 & -0.229611 & 0 \\ 0 & 0 & -0.411979 \end{bmatrix} (c^{-1}).$$

Условия обобщенной ортогональности собственных векторов в ПВС подчиняются соотношениям (15): $P_l^{\mathrm{T}}MP_k = 0$, $P_l^{\mathrm{T}}CP_k = 0$ ($k, l = 1, 2, 3; k \neq l$).

Таким образом, данный пример подтверждает справедливость полученных формул (13)–(15) и позволяет использовать эти соотношения в задачах упругопластических колебаний конструкций.

Выводы. На основе теорем состояний показано, что собственные формы диссипативной системы при упругих и упругопластических колебаниях качественно отличаются друг от друга. Из приведенного анализа следует, что традиционные (классические) соотношения ортогональности собственных форм есть частный случай более общих соотношений, проявляющихся в динамической системе независимо от характера колебаний конструкции (как при наличии, так и отсутствии пластических деформаций), условий демпфирования и вида внешнего воздействия.

Библиографический список

1. Клаф, Р. Динамика сооружений / Р. Клаф, Д.Ж. Пензиен. – М.: Стройиздат, 1979. – 320 с.

2. Харрис, С.М. Справочник по ударным нагрузкам / С.М. Харрис, Ч.И. Крид. – Л.: Судостроение, 1980. – 360 с.

3. Пашков, И.А. Метод разложений по собственным формам колебаний упругого тела с внутренним и внешним трением / И.А. Пашков, И.Е. Трояновский // Прикладная математика и механика. – 1991. – Т. 55, Вып. 6. – С. 972–981.

4. Потапов, А.Н. Динамический анализ дискретных диссипативных систем при нестационарных воздействиях / А.Н. Потапов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. – 167 с.

К содержанию

УДК 699.86 + 692.23

КРАЕВЫЕ ЗОНЫ ПРИ УСТРОЙСТВЕ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ФАСАДОВ

М.М. Рыбаков

В данной статье рассмотрены основные краевые зоны при устройстве светопрозрачных фасадов. Оценены степени их влияния на теплозащитные свойства гражданских зданий. Приведены величины дополнительных потерь теплоты через краевые зоны. Обоснована необходимость учета данных краевых зон при проведении теплотехнического расчета.

Ключевые слова: светопрозрачные конструкции; светопрозрачные фасады; энергоэффективность; краевые зоны; сопротивление теплопередаче.

В настоящее время все большую популярность приобретают светопрозрачные фасады. Их используют как для локальной облицовки участков фасада, так и для облицовки всего здания. Но такие решения, выглядящие эффектно с точки зрения архитектуры, могут привести к плохим показателям по энергоэффективности и значительно снизить сопротивление теплопередачи ограждающей оболочки здания. Особенно, это касается краевых зон, которые зачастую не учитываются при проведении теплотехнического расчета.

Для исследования был выбран стоечно-ригельный светопрозрачный фасад с однокамерным стеклопакетом из стекла без покрытий с заполнением воздухом, с расстоянием между стеклами 16мм. Согласно [1] условное сопротивление теплопередачи такого стеклопакета $R_0^{усл}$=0,35(м$^{2.o}$С)/Вт.

С учетом особенностей конструкции и теплотехнического расчета светопрозрачных фасадов были определены следующие основные краевые зоны:

1. Вертикальная несущая стойка фасада (горизонтальный ригель).
2. Сопряжение вертикальной стойки и горизонтального ригеля.
3. Сопряжение фасада на внешнем углу здания.
4. Сопряжение фасада на внутреннем углу здания;.

5. Узел крепления светопрозрачного фасада к основанию (межэтажному перекрытию).

Для выбранных краевых зон были построены картины распределения температур и определены дополнительные потери теплоты. Для определения плотности теплового потока однородного участка стены была выбрана конструкция, состоящая только из части стеклопакета размерами 1х1 м.

Расчетные характеристики материалов конструкций приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные характеристики материалов стеновых конструкций

№ п.п.	Материал	Толщина, м	Плотность материала, кг/м^3	Расчетный коэффициент теплопроводности*, Вт/(м·^{o}С)
1	Минеральная вата	0,1	130	0,041
2	Штукатурка	0,015	1800	0,93
3	Монтажная пена	–	80	0,05
4	Алюминий	–	2710	221
5	Стеклопакет	–	–	0,14
6	Воздушная прослойка	–	1,3	0,15
7	Пенобетон	0,3	400	0,15
8	Резина	–	1200	0,163

* – для условий эксплуатации Б.

Расчет температурных полей производится в следующей последовательности:

1. Создается геометрия конструкции.
2. Задаются материалы для блоков.
3. Задаются граничные условия:
   а) температура наружного воздуха: -34 ^{o}С;
   б) температура внутреннего воздуха: 22 ^{o}С;
   в) коэффициент теплоотдачи наружной поверхности: 23 Вт/(м$^{2.o}$С);
   г) коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности для стены: 8,7 Вт/(м$^{2.o}$С);
   д) коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности для окна: 8 Вт/(м$^{2.o}$С);
4. Производится разбиение конструкции на конечные элементы.
5. Производится расчет.

Краевая зона 1: Вертикальная несущая стойка фасада

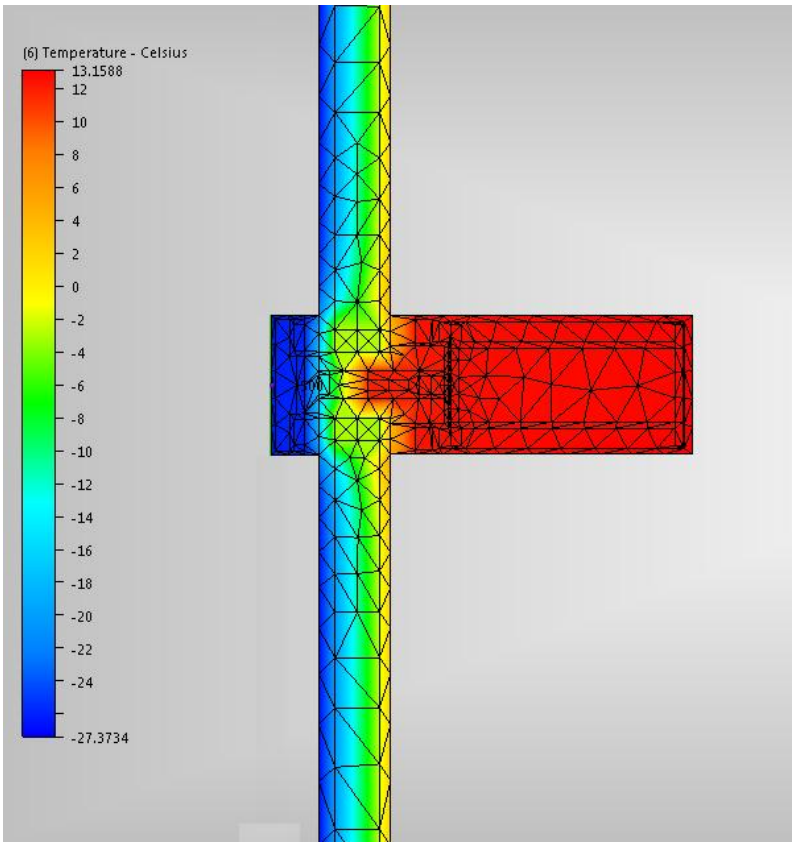


Рис. 1. Распределение температур в краевой зоне 1

Таблица 2

Результаты расчета дополнительной потерь теплоты для краевой зоны 1

№ п.п.	Определяемая величина	Краевая зона 1
1	Дополнительная мощность теплового потока через узел оконного откоса, приходящаяся на 1м стойки, $Q_{доп}$, Вт/м	16,178
2	Дополнительная плотность теплового потока, обусловленная данным теплопроводным включением, $q_{доп}$, Вт/м^2	16,178
3	Количество расчетных участков, приходящееся на расчетную площадь, L, м/м^2	1,0
4	Плотность теплового потока однородного участка стены, q, Вт/м^2	158,106
5	Приведенное сопротивление теплопередаче рассматриваемого фасада здания $R_0^{пр}$, (м$^{2.o}$С)/Вт	0,321
6	Условное сопротивление теплопередаче данной конструкции $R_0^{усл}$, (м$^{2.o}$С)/Вт	0,35
7	Расхождение $R_0^{усл}$ и $R_0^{пр}$, %	8,3

Расхождение условного сопротивления теплопередаче и приведенного составляет 8,3 %.

Краевая зона 2: Сопряжение вертикальной стойки и горизонтального ригеля

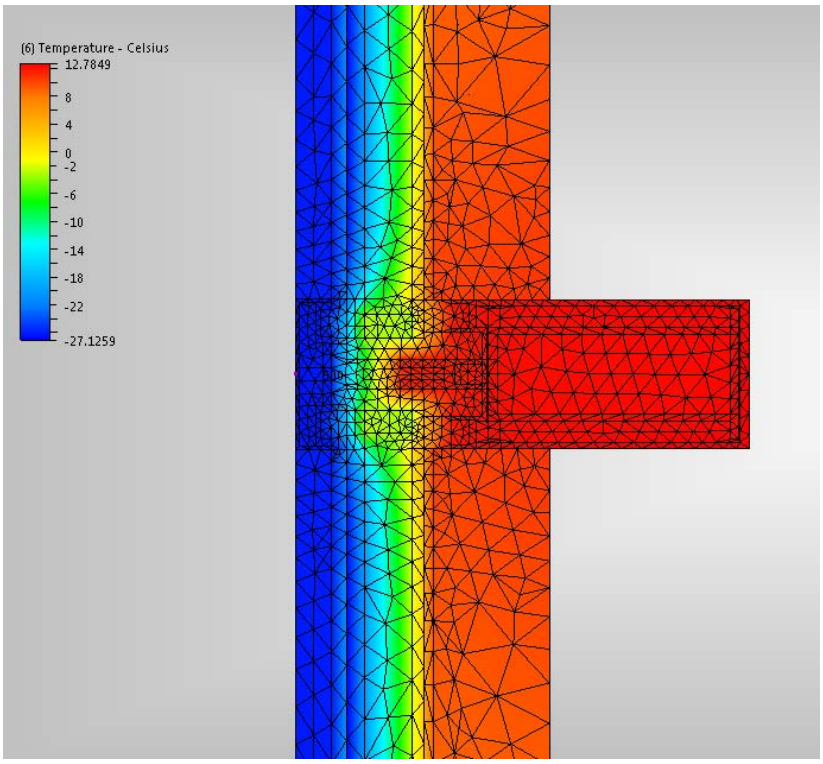


Рис. 2. Распределение температур в краевой зоне 2

Таблица 3

Результаты расчета дополнительной потерь теплоты для краевой зоны 2

№ п.п.	Определяемая величина	Краевая зона 2
1	Дополнительная мощность теплового потока через узел оконного откоса, приходящаяся на 1м стойки, $Q_{доп}$, Вт/м	33,994
2	Дополнительная плотность теплового потока, обусловленная данным теплопроводным включением, $q_{доп}$, Вт/м^2	33,994
3	Количество расчетных участков, приходящееся на расчетную площадь, L, 1/м^2	1,0
4	Плотность теплового потока однородного участка стены, q, Вт/м^2	158,106
5	Приведенное сопротивление теплопередаче рассматриваемого фасада здания $R_0^{пр}$, (м$^{2.o}$C)/Вт	0,292
6	Условное сопротивление теплопередаче данной конструкции $R_0^{усл}$, (м$^{2.o}$C)/Вт	0,35
7	Расхождение $R_0^{усл}$ и $R_0^{пр}$, %	16,6

Расхождение условного сопротивления теплопередаче и приведенного составляет 16,6 %.

Краевая зона 3: Сопряжение фасада на внешнем углу здания

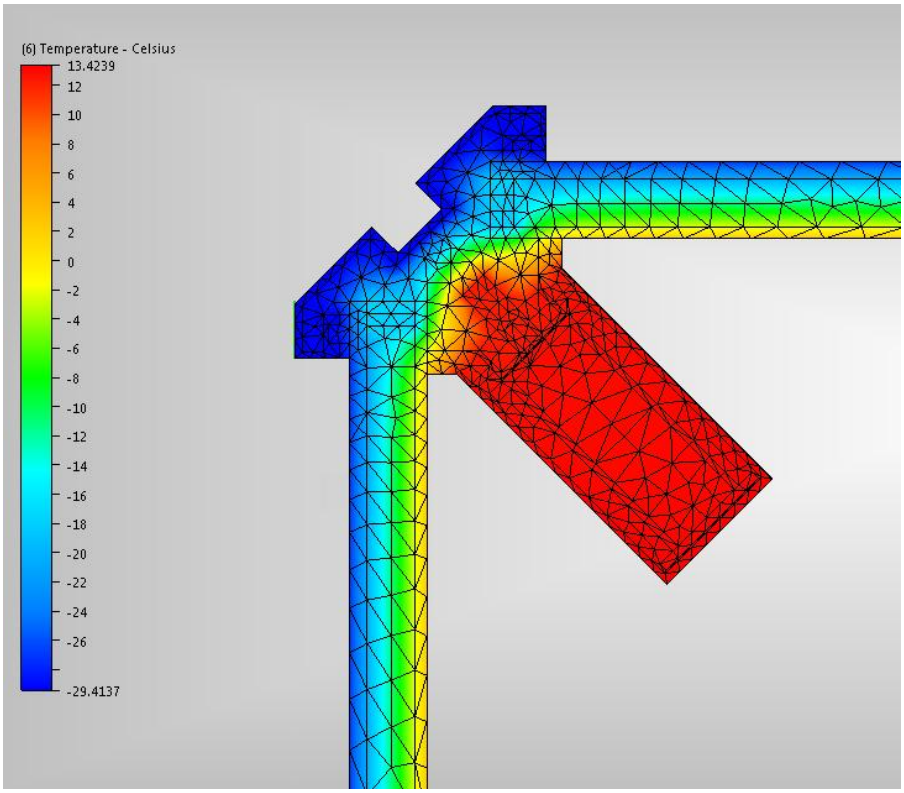


Рис. 3. Распределение температур в краевой зоне 3

Таблица 4

Результаты расчета дополнительной потерь теплоты для краевой зоны 3

№ п.п.	Определяемая величина	Краевая зона 3
1	Дополнительная мощность теплового потока через узел оконного откоса, приходящаяся на 1м стойки, $Q_{доп}$, Вт/м	0,613
2	Дополнительная плотность теплового потока, обусловленная данным теплопроводным включением, $q_{доп}$, Вт/м^2	0,104
3	Количество расчетных участков, приходящееся на расчетную площадь, L, м/м^2	0,17
4	Плотность теплового потока однородного участка стены, q, Вт/м^2	158,106
5	Приведенное сопротивление теплопередаче рассматриваемого фасада здания $R_0^{пр}$, (м$^{2.o}$C)/Вт	0,35
6	Условное сопротивление теплопередаче данной конструкции $R_0^{усл}$, (м$^{2.o}$C)/Вт	0,35
7	Расхождение $R_0^{усл}$ и $R_0^{пр}$, %	0

Расхождение условного сопротивления теплопередаче и приведенного составляет 0 %. Данная конструкция внешнего угла практически не влияет на уменьшение приведенного сопротивления теплопередаче.

Краевая зона 4: Сопряжение фасада на внутреннем углу здания

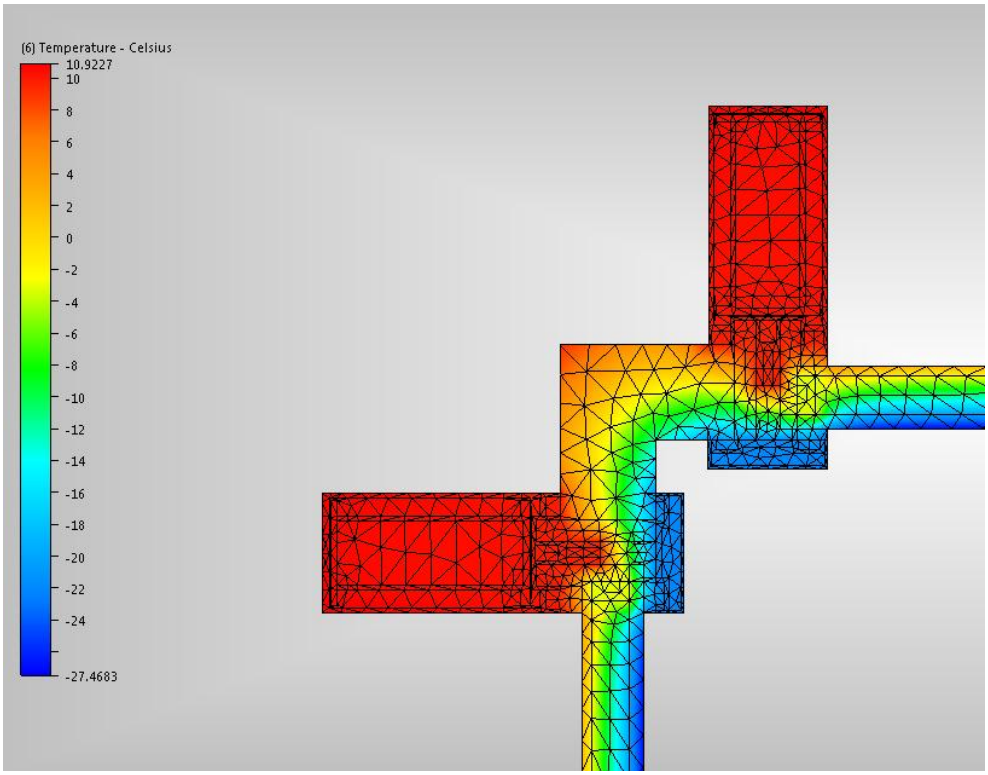


Рис. 4. Распределение температур в краевой зоне 4

Таблица 5

Результаты расчета дополнительной потерь теплоты для краевой зоны 4

№ п.п.	Определяемая величина	Краевая зона 4
1	Дополнительная мощность теплового потока через узел оконного откоса, приходящаяся на 1м стойки, $Q_{доп}$, Вт/м	42,686
2	Дополнительная плотность теплового потока, обусловленная данным теплопроводным включением, $q_{доп}$, Вт/м^2	7,26
3	Количество расчетных участков, приходящееся на расчетную площадь, L, м/м^2	0,17
4	Плотность теплового потока однородного участка стены, q, Вт/м^2	158,106
5	Приведенное сопротивление теплопередаче рассматриваемого фасада здания $R_0^{пр}$, (м$^{2.o}$С)/Вт	0,339
6	Условное сопротивление теплопередаче данной конструкции $R_0^{усл}$, (м$^{2.o}$С)/Вт	0,35
7	Расхождение $R_0^{усл}$ и $R_0^{пр}$, %	3,14

Расхождение условного сопротивления теплопередаче и приведенного составляет 3,14 %.

Краевая зона 5: Узел крепления светопрозрачного фасада к основанию

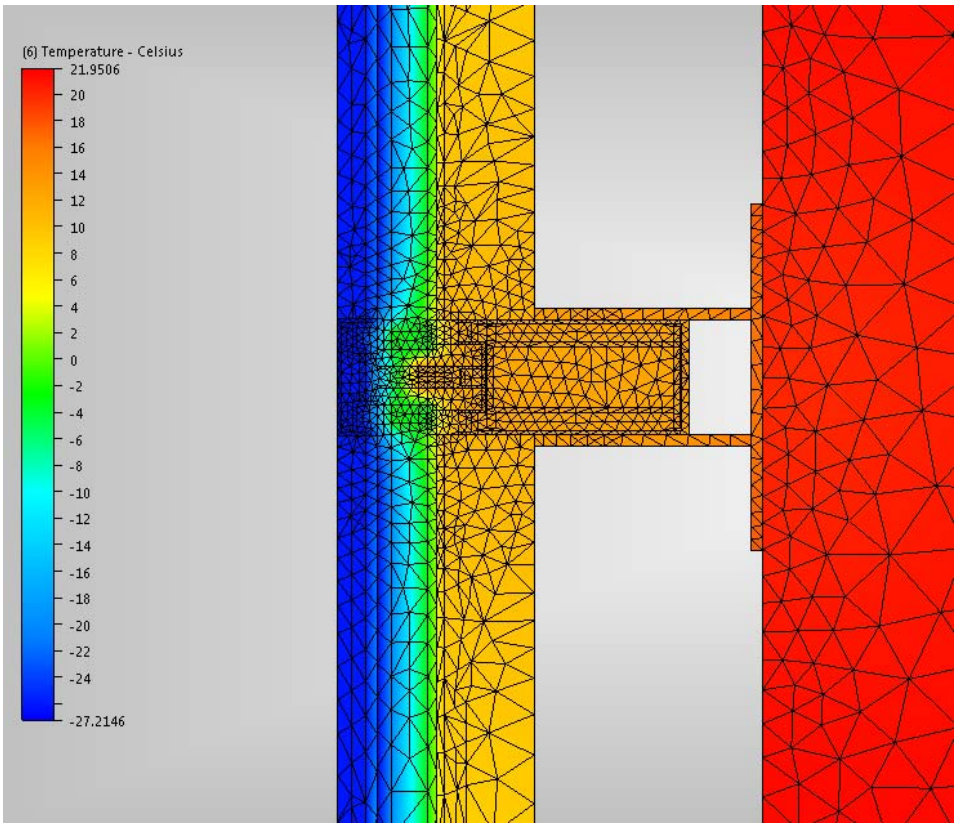


Рис. 5. Распределение температур в краевой зоне 5

Таблица 6

Результаты расчета дополнительной потерь теплоты для краевой зоны 5

№ п.п.	Определяемая величина	Краевая зона 5
1	Дополнительная мощность теплового потока через узел оконного откоса, приходящаяся на 1м стойки, $Q_{доп}$, Вт/м	48,019
2	Дополнительная плотность теплового потока, обусловленная данным теплопроводным включением, $q_{доп}$, Вт/м^2	14,41
3	Количество расчетных участков, приходящееся на расчетную площадь, L, 1/м^2	0,3
4	Плотность теплового потока однородного участка стены, q, Вт/м^2	158,106
5	Приведенное сопротивление теплопередаче рассматриваемого фасада здания $R_0^{пр}$, (м$^{2.o}$С)/Вт	0,325
6	Условное сопротивление теплопередаче данной конструкции $R_0^{усл}$, (м$^{2.o}$С)/Вт	0,35
7	Расхождение $R_0^{усл}$ и $R_0^{пр}$, %	7,14

Расхождение условного сопротивления теплопередаче и приведенного составляет 7,14 %.

Библиографический список

1. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. – М.: Госстрой России, 2012.
2. Корниенко, С.В. Оценка влияния краевых зон ограждающих конструкций на теплозащиту и энергоэффективность зданий / С.В. Корниенко // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 8 (30). – С. 5–12.
3. Крайнов, Д.В. Расчет дополнительных теплопотерь через теплопроводные включения ограждающих конструкций (на примере узла оконного откоса) / Д.В. Крайнов, И.Ш. Сафин, А.С. Любимцев // Инженерно-строительный журнал. – 2010. – № 6 (16). – С. 17–22.
4. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М., Стройиздат, 1973. – 278 с.

К содержанию

УДК 539.3

К ВОПРОСУ О РЕШЕНИИ ОДНОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ В ПОЛИНОМАХ

В.Ф. Сбитнев

Решается плоская задача теории упругости в полиномах; рассматривается полоса, нагруженная распределенной треугольной нагрузкой.

Ключевые слова: полином, бигармоническое уравнение, функция напряжений, нормальные и касательные напряжения, нагрузка, производная.

В целях более глубокого освоения уравнений механики твердого деформируемого тела применим их к решению поставленной задачи, имеющей как научное, так и методическое назначение.

В учебной литературе [1, 2] решение плоской задачи теории упругости в полиномах в основном рассматривается как обратная задача.

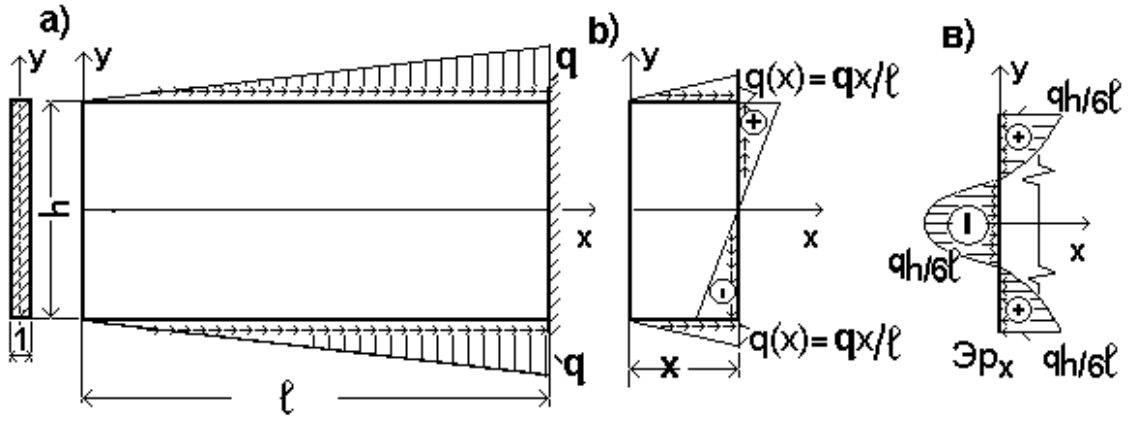
При решении этой задачи функцией напряжений **φ** задаются и выясняют, какому случаю напряженного состояния она соответствует. Мы попытаемся решить прямую задачу, т.е. отыскать такую функцию.

Решается следующая задача: на балку-полосу прямоугольного сечения шириной равной единице, длиной ***l*** и высотой h, у которой правый конец защемлен, а левый свободный, действует по верхней и нижней поверхностям касательная нагрузка, изменяющаяся по закону треугольника, как показано на рис. Полосу будем считать невесомой.

В курсе сопротивления материалов − это задача центрального сжатия. При ее решении предполагается, что в поперечном сечении полосы возникают только нормальные напряжения $\sigma_x(x) = -qx^2/h\boldsymbol{l}$, равномерно распре-

деленные по высоте сечения. Касательных напряжений в поперечном сечении отсутствуют, продольные волокна друг на друга не давят.

Задачу решаем в системе координат, показанной на рис.



Расчётная схема полосы и её нагружение

Сразу заметим, что предлагаемое решение не удовлетворяет уравнениям теории упругости. Взяв производную $\partial\sigma/\partial x = (-2x/h\boldsymbol{l})$ и подставив ее в уравнения равновесия, приходим к выводу, что первое уравнение не удовлетворяется, а второе тождественно равно нулю.

Условия равновесия на контуре заставляют нас искать такое решение, при котором верхняя и нижняя поверхности консоли не несут вертикальной нагрузок, а левый торец ни горизонтальной, ни вертикальной нагрузки. Следовательно, для них $p_y = 0$ (при $y = \pm h/2$); $p_y = 0$, $p_x = 0$ (при $x = 0$). Касательная нагрузка в произвольном сечении будет равна $q(x) = q \cdot x/h\boldsymbol{l}$.

1. На свободном конце нет касательной и нормальной нагрузок. Тогда в выражениях при вычислении касательных и нормальных напряжений координата x может находиться в любой степени. Т. к. $\tau_{xy} = -\partial^2\varphi/\partial x\partial y$, то искомая функция напряжений должна иметь координату x минимум в квадрате. Пусть степень этой координаты равна m (m = 2, 4, 6, …).

В произвольном сечении согласно закону о парности касательных напряжений касательные напряжения вверху (при $y = h/2$) должны принимать значение $\tau_{xy} = qx/\boldsymbol{l}$, а внизу (при $y = -h/2$) $\tau_{xy} = -qx/\boldsymbol{l}$; т.е. касательные напряжения τ_{xy} знакопеременные (эпюра τ_{xy} показана на рис. b). Поэтому в выражении для τ_{xy} координата y должна быть в нечетной степени, а в искомой функции напряжений в четной. Пусть степень этой координаты будет n (n = 2, 4, 6,…).

Эпюра нормальных напряжений $\sigma_x(x,y)$ симметричная, так как сама задача симметричная; поэтому в выражении при вычислении нормальных напряжений координата y должна быть в четной степени. Функция напряжений, связанная с напряжением σ_x зависимостью $\sigma_x(x,y) = \partial^2\varphi/\partial y^2$, тоже будет иметь координату y в четной степени.

2. Итак, напрашивается такой полином: $\varphi(x,y) = Cx^m y^n$. По этой зависимости в точках балки-полосы возникают нормальные напряжения σ_x, σ_y и касательные τ_{XY}. Предлагаемая функция удовлетворяет уравнениям равновесия теории упругости. Убедимся в этом, имея выражения напряжений.

$$\sigma_x = Cn(n-1)x^m y^{n-2},\ \sigma_y = Cm(m-1)x^{m-2}y^n,\ \tau_{XY} = -Cmnx^{m-1}y^{n-1} \qquad (1)$$

Теперь необходимые производные имеют такой вид:

$$\frac{\partial\sigma_x}{\partial x} = Cmn(n-1)x^{m-1}y^{n-2}, \qquad \frac{\partial\tau_{XY}}{\partial y} = -Cmn(n-1)x^{m-1}y^{n-2},$$

$$\frac{\partial\tau_{XY}}{\partial x} = -Cn(m-1)x^{m-2}y^{n-1} \qquad \frac{\partial\sigma_y}{\partial y} = Cm(m-1)nx^{m-2}y^{n-1}$$

Подставляя получившиеся производные в первое уравнение равновесия, получаем:

$$\frac{\partial\sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{XY}}{\partial y} = Cmn(n-1)x^{m-1}y^{n-2} - Cmn(n-1)x^{m-1}y^{n-2} \equiv 0.$$

Уравнение удовлетворяется тождественно при любых m и n.

Подставляя производные во второе уравнение равновесия, имеем

$$\frac{\partial\tau_{XY}}{\partial x} + \frac{\partial\sigma_y}{\partial y} = -Cmn(m-1)x^{m-2}y^{n-1} + Cm(m-1)nx^{m-2}y^{n-1} \equiv 0.$$

Это уравнение тоже удовлетворяется тождественно.

Принимаем m = 2 и n = 2. Тогда функция напряжений будет иметь вид:

$$\varphi(x,y) = Cx^2y^2. \qquad (2)$$

3. Эта функция не удовлетворяет бигармоническому уравнению. Чтобы бигармоническое уравнение удовлетворялось, необходимо в функцию напряжений добавить еще дополнительное решение. В качестве такового примем полином $\varphi(x,y) = -Cy^4/3$.

Предлагаемая функция теперь будет иметь вид:

$$\varphi(x,y) = Cx^2y^2 - Cy^4/3. \qquad (3)$$

Данный полином удовлетворяет бигармоническому уравнению.

Получим нужные производные:

$$\frac{\partial^4\varphi}{\partial x^4} = 0; \qquad \frac{\partial^4\varphi}{\partial x^2\partial y^2} = 4C; \qquad \frac{\partial^4\varphi}{\partial y^4} = -8C. \qquad (4)$$

Теперь имеем:

$$\frac{\partial^4\varphi}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4\varphi}{\partial x^2\partial y^2} + \frac{\partial^4\varphi}{\partial y^4} = 2\cdot 4C - 8C \equiv 0. \quad (5)$$

4. Полином (3) не удовлетворяет условию задачи; на левом торце балки, появляются горизонтальные силы, которые не дают момента (из-за симметрии). Для уничтожения этих сил необходимо приложить на этом торце силы противоположного направления. Тогда торец балки будет свободен от всяких усилий. Следовательно, к полученному решению необходимо добавить еще одно – дополнительное решение.

В качестве такого введем полином, чтобы напряжения σ_y и τ_{XY} при этой добавке не изменялись, а напряжения σ_x остались бы симметричными. Это слагаемое можно представить в таком виде $\varphi_3 = By^2$, так как другие полиномы не удовлетворяет бигармоническому уравнению.

5. Таким образом, получаем:

$$\varphi = 2Cx^2 + 2B - 4Cy^2. \quad (6)$$

Так как при x = 0 в каждой точке торцевого сечения (y произвольное) выражение (5) для σ_x не может обеспечить равенства $p_x = 0$, то воспользуемся приемом смягчения граничного условия, т.е. потребуем, чтобы продольная сила на торце равнялась нулю.

Параметр B выразим через C из условия равенства площадей нагрузок, направленных в разные стороны. Имеем:

$$\int_{-h/2}^{h/2} (2B - 4Cy^2)dy = 0 \quad (7)$$

$$\int_{-h/2}^{h/2}(2B - 4Cy^2)dy = [2By - 4Cy^3/3]_{-h/2}^{h/2} = 2B(h/2 + h/2) - 4C/3\cdot(h^3/8 + h^3/8) = 0.$$

Тогда:

$$B = Ch^2/6. \quad (8)$$

Площадь полученной эпюры p_X равна нулю, что не противоречит статическому условию $N_X = 0$.

6. Теперь найдем параметр C. Заметим: а) с одной стороны, в сечении с координатой x из формулы (2) при y = h/2 касательные напряжения равны $\tau_{XY} = -4Cxh/2 = -2Cxh$; б) с другой стороны, (по закону парности касательных напряжений) $\tau_{XY} = qx/\boldsymbol{l}$. Приравнивая эти напряжения, получаем:

$$-2Cxh = qx/\boldsymbol{l}. \quad (9)$$

$$C = -q/2h\boldsymbol{l}. \quad (10)$$

Следовательно, функция напряжений теперь будет иметь такой вид:

$$\varphi(x,y) = -\,q\,x^2y^2/2hl - qy^2h^2/12l + qy^4/6hl. \quad (11)$$

Поэтому окончательные напряжения:

$$\sigma_x = -\,qx^2/hl - qh/6l + 4qy^2/3hl\,,\ \sigma_y = -\,qy^2/hl,\ \ \tau_{XY} = -\,2qxy/hl. \quad (12)$$

Эпюра нагрузки p_X на левом торце балки показана на рис. 1в.

Эпюра касательного напряжения в произвольном сечении на рис.1, b.

7. В сечении с координатой x, спроецировав все силы на горизонтальную ось, получаем зависимость, известную в сопротивлении материалов:

$$N_X = \int_{-h/2}^{h/2}\sigma_x dy = -\,1/2\cdot 2\cdot qx/l\cdot x = -\,qx^2/l. \quad (13)$$

Отсюда следует, что в произвольном сечении на достаточном удалении от торца напряжения σ_x от координаты y не зависят, они по высоте постоянные. Тогда:

$$N_X = \sigma_x\cdot h = -\,qx^2/l. \quad (14)$$

Откуда следует

$$\sigma_x = -\,qx^2/hl. \quad (15)$$

Такому решению соответствует задача из курса сопротивления материалов. Как видим, оно не соответствует действительности.

8. Из формулы (12) следует: вертикальные напряжения при **y** = h/2 $\sigma_y = -\,qh/4l$, что противоречит условию задачи. Чтобы его исключить, введем в формулу слагаемое, которое бы уничтожало эти напряжения.

В качестве такового примем решение, которое соответствует растяжению в вертикальном направлении. Оно выглядит следующим образом:

$$\sigma_y = qh^2/4hl. \quad (16)$$

Подставив это выражение в формулу напряжений σ_y, после элементарных преобразований, получаем окончательно:

$$\sigma_y = q/hl\,(h^2/4 - y^2). \quad (17)$$

Это означает, что волокна полосы испытывают растяжение в вертикальном направлении, которые, например, в сечении y = 0 равны $\sigma_y = qh/4l$.

Проведем некоторые исследования. Во-первых, опасное сечение находится в сечении, расположенном около заделки. Во-вторых, полученные зависимости (12) и (17) указывают на, что напряжения существенно зависят от размеров полосы h, ***l*** и их отношения. В-третьих, очевидно, что наиболее опасными будут точки с координатами x = ***l***, y = ± h/2 и y = 0.

Какая из этих точек будет опасной, ответить сразу нельзя. Нужно провести исследования.

Пусть $\boldsymbol{l} = 5h$. Тогда в точках при $y = \pm h/2$:

$\sigma_X = -q\boldsymbol{l}/h - qh/6\boldsymbol{l} + 4\cdot qh^2/4\cdot 3h\boldsymbol{l} = -5q + q/30 = -149q/30$. $\tau_{XY} = q$, $\sigma_Y = 0$.

Эквивалентные напряжения по 3-й теории прочности:

$\sigma_{ЭКВ} = \sqrt{(149/30)^2 + 4\cdot 1^2}\, q = 5{,}354q$; это на 7,08 % больше, чем напряжения, вычисляемые по формулам сопротивления материалов.

В точках при $y = 0$:

$\sigma_X = -q\boldsymbol{l}/h - qh/6\boldsymbol{l} = -5q - q/30 = -151q/30$. $\tau_{XY} = 0$, $\sigma_Y = qh/4\cdot 5h = q/20$.

Тогда $\sigma_{ЭКВ} = q/20 - (-151/30)\, q = 5{,}083q$.

Т.е. первая точка опасней.

Если $\boldsymbol{l} = h$, то в точках при $y = \pm h/2$:

$\sigma_X = -q\boldsymbol{l}/h - qh/6\boldsymbol{l} + 4\cdot qh^2/4\cdot 3h\boldsymbol{l} = -q + q/6 = -5q/6$. $\tau_{XY} = q$, $\sigma_Y = 0$.

$\sigma_{ЭКВ} = \sqrt{(5/6)^2 + 4\cdot 1^2}\, q = 2{,}167q$; это расхождение более, чем в 2 раза.

В точках при $y = 0$:

$\sigma_X = -q\boldsymbol{l}/h - qh/6\boldsymbol{l} = -q - q/6 = -7q/6$. $\tau_{XY} = 0$, $\sigma_Y = qh/4\cdot h = q/4$.

Тогда $\sigma_{ЭКВ} = q/4 - (-7/6)\, q = 1{,}417q$; тоже больше (около 42 %).

Снова первая точка опаснее.

Итак, приведенное исследование показало, что в опасном сечении опасной будет точка с координатой $y = \pm h/2$.

Библиографический список

1. Жемочкин, Б.Н. Теория упругости: учебное пособие для строительных вузов и факультетов / Б.Н. Жемочкин. – М.: Госстройиздат, 1957. – 256 с.

2. Киселев, В.А. Плоская задача теории упругости: учебное пособие для вузов / В.А. Киселев. – М.: Высшая школа, 1976. – 152 с.

К содержанию

УДК 69.057.4 + 624.078 + 693.554.22

УСТОЙЧИВОСТЬ РИГЕЛЕЙ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ВОЗВЕДЕНИЯ

К.О. Семенов

В статье рассматриваются особенности работы горизонтальных элементов многоэтажных каркасных зданий в процессе монтажа, в частности на этапе их подъема и временного закрепления. Рассмотрен расчет монтажной устойчивости ригеля по упрощенной формуле с учетом податливости узлов.

Ключевые слова: каркасы, усилия, последовательность монтажа, строповка, податливость узлов.

Очевидно, что безопасность зданий и сооружений с процессе возведения может быть обеспечена только при условии, что монтажные усилия не будут превышать проектных. Однако, проблема расчета монтажной устойчивости конструкций заключается в том, что существующие методы (например, широко распространенный метод конечных элементов), становятся слишком трудоемкими при учете отдельно каждого этапа каждой последовательности. Использование принципа независимого действия сил невозможно из-за изменяющейся расчетной схемы, что также увеличивает трудоемкость расчета.

Упрощение может быть достигнуто путем предварительной оценки усилий, точность которой не требуется столь же высокой, как при расчете здания на проектные состояния. В этом случае, возможно определить несколько близких к оптимальной последовательностей возведения и в дальнейшем выполнять проверку только для них.

В статически неопределимых рамах с шарнирными узлами последовательность монтажа и нагружения влияет только на работу конструкций в процессе возведения здания. В рамах с жесткими узлами часть нагрузки (собственный вес) прикладывается на шарнирную схему, что приводит к снижению опорных моментов уже на стадии эксплуатации. Поскольку чаще на практике встречается случай, когда опорные моменты в жестких рамах больше пролетных, для ригелей постоянного сечения потенциально возможно снизить расход материала, выравнивания моменты за счет изменения порядка расстроповки и технологии выполнения временного закрепления. Это особенно актуально для металлических рам с узлами на накладках с высокопрочными болтами. Такой узел предположительно будет работать при незатянутых болтах по стенке без болтов по поясам – как шарнирный, при незатянутых болтах по стенке и полкам – как узел с ограниченной жесткостью, при затянутых на проектное усилие болтах – как жесткий.

Особенности расчета конструкций на монтажную устойчивость обуславливаются следующими факторами.

1) в стадии эксплуатации усилия от постоянной нагрузки с разными знаками компенсируют друг друга, чего не происходит на стадии монтажа, когда еще не вся постоянная нагрузка приложена к раме;

2) усилия, которые должны быть восприняты еще не смонтированными элементами, перераспределяются на соседние, а после включения элемента в работу он берет на себя только часть проектных усилий,

3) податливость узлов снижает опорные моменты, значительно изменяя напряженно-деформированное состояние элемента [1], при этом на разных стадиях монтажа жесткость узла разная.

Действие первого фактора удобно рассмотреть на примере многопролетной многоэтажной рамы, показанной на рисунке. Предположим, что нагрузка есть только на одном этаже в двух смежных пролетах (I и II). Если жесткости ригелей равны, колонна между пролетами I и II не изгибается. Узлы крепления ригеля к крайней колонне и к колонне между нагруженным и еще не нагруженным пролетом поворачиваются в противоположных направлениях, вызывая изгиб колонн, ригеля в ненагруженном пролете, а также сжатие ригелей вышележащего этажа и растяжение ригелей нижележащего этажа.

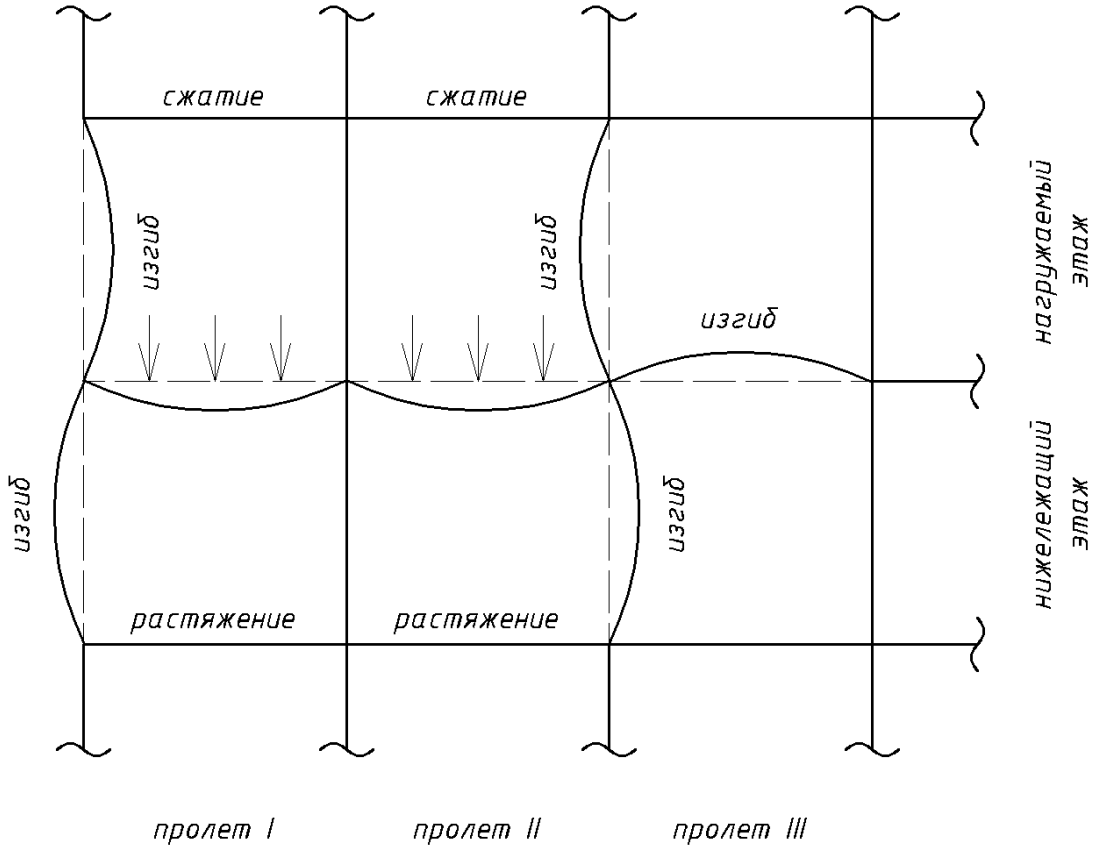


Схема части многопролетной многоэтажной рамы

В стадии эксплуатации растяжение/сжатие ригелей от постоянной нагрузки компенсируется на всех этажах, кроме крайних, за счет разности знаков моментов. Таким образом, при монтажном расчете для всех промежуточных этажей желательно поверить ригель на внецентренное сжатие от нагружения нижележащего этажа (при величине продольной силы более 5 % прочности элемента на сжатие).

Ранее в рамках исследования монтажной устойчивости была произведена оценка ошибки при упрощающем предположении о нулевом повороте узлов, отстоящих дальше одного элемента от нагруженных. Используя полученный коэффициент $k_1 = 0{,}8$ для учета ошибки вычисления поворотов узлов, получаем следующие упрощенные формулы для сжимающей силы N в верхнем ригеле:

1) для шарнирного закрепления:

$$N = ql\frac{i_{в.р.}}{16\sum i_{н.э.}}k_1; \quad (1)$$

2) для жесткого закрепления:

$$N = ql\frac{i_{в.р.}}{8\sum i_{н.э.}}k_1, \quad (2)$$

где q – нагрузка на ригель этажа под монтажным горизонтом;

l – величина рассматриваемого пролета;

$i_{в.р.}$ – погонная жесткость ригеля на монтажном горизонте;

$\sum i_{н.э.}$ – сумма погонных жесткостей элементов, приходящих в крайний узел нагруженных пролетов.

Дальнейший расчет ведется по формулам СП на соответствующие конструкции (металлические или деревянные). Нетрудно заметить, что при шарнирном временном закреплении верхнего ригеля усилие значительно меньше, чем при жестком закреплении.

Второй фактор учитывается в формуле путем приравнивания жесткостей еще не смонтированных элементов к нулю. Это снижает жесткости соответствующих узлов, снижая опорные моменты и увеличивая продольную силу в вышерасположенных ригелях.

Включение элемента в работу по его проектной схеме возможно осуществить только в случае, если не будет производиться расстроповка конструкции до проектного закрепления или будет обеспечена проектную жесткость узла на стадии временного закрепления с помощью специальной монтажной оснастки. Иначе, вся нагрузка, действующая на элемент до его монтажа (собственный вес самого элемента и всех примыкающих к нему конструкций укрупненного блока) будет прикладываться на шарнирную схему. До определенного предела это выгодно с точки зрения более равномерного распределения моментов, однако, требуется проверка фактического снижения опорных моментов.

Податливость узлов снижает величину передаваемого момента, увеличивая пролетные моменты. Учет ее влияния на напряженно-деформированное состояние элементов можно произвести, используя коэффициенты, выведенные Б.С. Васильковым и Н.М. Володиным [2]. Тогда формулы (1) и (2) окончательно примут вид:

1) для шарнирного закрепления:

$$N = ql\frac{i_{в.р.}}{16\prod k_2 \sum i_{н.э.}}k_1; \quad (3)$$

2) для жесткого закрепления:

$$N = ql\frac{i_{в.р.}}{8\prod k_2 \sum i_{н.э.}}k_1, \quad (4)$$

где $\prod k_2$ – произведение коэффициентов, учитывающих податливости всех стыков на пути передачи усилий от нагруженного элемента до рассматриваемого. Для симметричного стыка ригель колонна:

$$k_2 = (2i/c + 1),$$

где c – коэффициент жесткости соединения;

i – погонная жесткость элемента.

Формулы (3) и (4) следует использовать для верхней оценки продольных усилий в ригеле многоэтажного каркасного здания при проверке на совместное действие с моментом от монтажной нагрузки.

Таким образом, при любой последовательности возведения здания существует негативный фактор в виде дополнительных не учитывавшихся ранее сжимающих усилий в ригелях на монтажном горизонте. Податливости узлов вначале положительно влияют на безопасность, но после снижения опорных моментов до значения $(1/16)ql$ также ухудшают работу горизонтальных элементов. Следовательно, основное внимание при дальнейших исследованиях необходимо уделить экспериментальной проверке коэффициентов жесткостей временных закреплений.

Библиографический список

1. Пикус, Г.А. Устойчивость строительных конструкций зданий с учетом податливости узлов в процессе возведения / Г.А. Пикус // Наука ЮУрГУ. Секции технических наук: материалы 63-й научной конференции – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – Т. 1. – С. 166-169.

2. Васильков, Б.С. Расчет сборных конструкций зданий с учетом податливости соединений / Б.С. Васильков, Н.М. Володин. – М.: Стройиздат, 1985. – 144 с.

К содержанию

УДК 624.041.5 + 692.297:666.982

АНАЛИТИЧЕСКИЙ (БЕЗИТЕРАЦИОННЫЙ) МЕТОД РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОСТИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ БЕТОНА

Г.Ф. Сидоров

Разработан аналитический способ расчета железобетонных колонн, исключающий необходимость составления системы нелинейных уравнений и ее решения с помощью итерационных процедур. Решение представимо в формульном виде, позволяющем в прямой математической постановке ставить задачи оптимизации железобетонного изделия.

Ключевые слова. Железобетон, деформационная нелинейность, безитерационный метод расчета.

Железобетонные колонны являются несущими элементами в современном каркасном строительстве. Программные комплексы, применяемые для их расчетов, основаны на предпосылках о линейной упругости материалов, что не соответствует действительности применительно к бетонной матрице железобетонного композита.

Регламентирующие документы, такие как СНиП [1] и СП [2], призывают определять усилия в железобетонных конструкциях, принимая во внимание нелинейный характер деформирования железобетона. Но проектировщик не имеет такой возможности, поскольку соответствующих компьютерных программ пока не создано. Поэтому обычно расчет усилий выполняется в линейной постановке, а при расчете арматуры учитываются диаграммы деформирования бетона и арматуры по эмпирическим зависимости, происхождение которых, как правило, не поясняется [3]. Расчет производится по недеформированной схеме.

В.И. Соломиным [4] разработана деформационная теория состояния железобетонной колонны, реализуемая методом последовательных приближений в вариационно-разностной постановке. В порядке актуализации проблемы оптимизации конструкторских решений отметим, что итерационные методы расчетов не позволяют проектировщику в прямой постановке решать задачи оптимизации.

Рассмотрим аналитическую расчетную модель железобетонной колонны, основанную на методе парциальных жесткостей [5].

Примем следующие предпосылки:

1. Бетон – это нелинейно деформируемый материал. Закон нелинейного деформирования бетона примем согласно рекомендации European Standart Eurocod 2 [6], рис.1, формула (1).

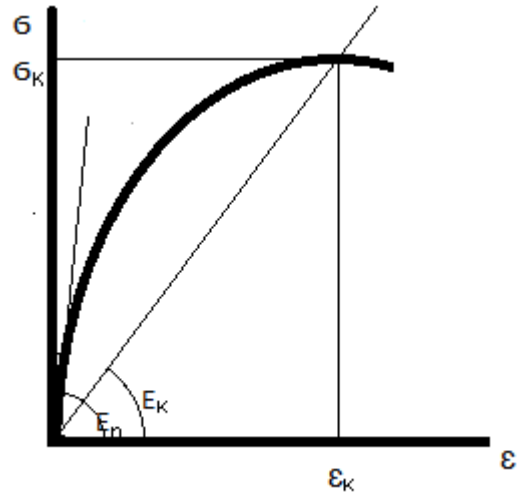


Рис. 1. Диаграмма сжатия бетона

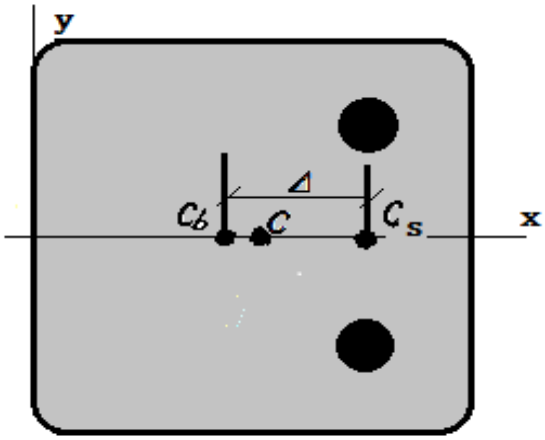


Рис. 2. Сечение колонны

$$\sigma = \frac{\left(K - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_k}\right)\varepsilon}{1+(K-2)\frac{\varepsilon}{\varepsilon_k}} E_k \qquad (1)$$

$K = \frac{E_n}{E_k}$ (параметр нелинейности)

2. Арматура – идеально упруго-пластический материал (Диаграмма Прандтля).

3. В целях большей полноты исследования рассмотрим ассиметрично армированную колонну согласно рис. 2:

C_b – центр жесткости бетона;

C_s – центр жесткости стали;

C – центр жесткости.

Согласно гипотезе плоских сечений относительные деформации при сжатии бетона ε_b и стальной арматуры ε_s будут равны: $\varepsilon_b = \varepsilon_s = \varepsilon$. Подставим в формулу (1) на место ε его выражение согласно закону Гука для стали:

$$\sigma_b = \frac{\left(K - \frac{\sigma_s}{E_s \varepsilon_k}\right)\frac{\sigma_s}{E_s}}{1+(K-2)\frac{\sigma_s}{E_s \varepsilon_k}} E_k. \qquad (2)$$

Обращает на себя внимание то, что в этой формуле в явном виде отсутствует внешняя нагрузка; ее влияние опосредовано величиной достигнутой деформации, если положить $\varepsilon_k = \varepsilon$. Следовательно, пропорция между напряжениями бетона и арматурной стали, изменяющаяся в силу нелинейного характера деформирования бетона, может быть установлена не по факту нагружения той или иной величины силой, а по величине, закладываемой в расчет допустимой деформации. В первом случае нам пришлось бы подключать итерационный процесс решения нелинейных уравнений. В последнем случае открывается возможность решить задачу расчета колонны аналитически.

Положение центра жесткости определяется условием баланса жесткостей:

$$E_s A_s (x_{cs} - x_c) = \tilde{E}_b A_b (x_c - x_{cb}). \qquad (3)$$

Выразим координату центра жесткости x_c через относительный параметр нелинейности p:

$$p = \frac{E_b A_b}{E_s A_s}, \quad x_c = \frac{p x_b + x_s}{p+1}. \qquad (4)$$

Смещение центра жесткости за счет изменения секущего модуля деформации бетона в процессе увеличения нагрузки на колонну будет иметь вид:

$$\delta_F = x_c - x_{co} = \frac{\Delta(p_o - p)}{(p_o+1)(p+1)}. \quad (5)$$

Здесь $\Delta = x_s - x_b$, $p_o = \frac{E_{bo}A_b}{E_sA_s}$.

Чтобы колонна находилась в состоянии центрального сжатия, главный вектор внешней нагрузки должен находиться в этой смещенной точке с координатой $x_c + \delta_F$. В противном случае сжатие будет сопровождаться изгибом.

Пример

Определить необходимые и достаточные площади сечений железобетонной колонны под нагрузку $F = 2$МН с соотношением площадей 20:1.

Допустимая деформация бетона $[\varepsilon] = 2 \cdot 10^{-3}$, начальный модуль деформации бетона $E_{bo} = 4 \cdot 10^4$ МПа, $E_s = 2 \cdot 10^5$ МПа.

По формуле (1) вычисляем напряжения в бетоне:

$$\sigma_b = \frac{(2-1)2 \cdot 10^{-3}}{1} 2 \cdot 10^4 = 40 \text{ МПа}.$$

Напряжения в арматуре при деформации более 10^{-3}в случае применения мягкой стали соответствуют пределу текучести $\sigma_s = 200$ МПа. Из условия равновесия следует:

$$\sigma_b A_b + \sigma_s A_s = F, \quad A_s = \frac{F}{\sigma_b n + \sigma_s} = \frac{2}{40 \cdot 20 + 200} 10^4 = 20 \text{ см}^2.$$

$$A_b = 400 \text{ см}^2.$$

Согласно рис. 2, принимаем размеры сечения 20×20 (см), расстояние до центра жесткости арматуры 15 см. При этих размерах $p_o = 4,\ p = 2$.

Смещение центра жесткости $\delta_F = \frac{50 \cdot 2}{5 \cdot 3} = 6{,}7$мм.

Библиографический список

1. СНиП 2.03.01-84*. Строительные нормы и правила. Бетонные и железобетонные конструкции. Введены в действие 1 января 1986 г.

2. СП 52-101-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. Дата введения 2004-03-01. – 136 с.

3. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52 – 101 – 2003), ЦНИИПромзданий, НИИЖБ. – М.: ОАО «ЦНИИПромзданий, 2005. – 214 с.

4. Соломин, В.И. Напряженно-деформированное состояние и прочность железобетонной колонны / В.И.Соломин, В.П. Хомяк // Строительная механика и расчет сооружений. – 2013. – № 2. – С. 11–17.

5. Сидоров, Г.Ф. Раскрытие статической неопределимости методом парциальных жесткостей / Г.Ф. Сидоров, Е.О. Позднышев // Сб. науч. тр. «Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки». Вып. 5. – Гомель: БелГУТ, 2011. – С. 120–123.

6. European Standart Eurocod 2: Design of concrete structures – part 1.1: general rules for buildings. – Aprel 2003; Brussels.

К содержанию

УДК 696.463 + 697.328

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ

А.А. Февралев, В.В. Гибадуллина

Разработана модель пластинчатого теплообменника, позволяющая определять его основные характеристики. На основе модели разработана программа, позволяющая исследовать работу пластинчатого теплообменника. Построены графики различных эксплуатационных режимов.

Ключевые слова: математическое моделирование, пластинчатый теплообменник, метод последовательных приближений.

Введение

На сегодняшний день современный индивидуальный тепловой пункт (далее ИТП), чаще всего оборудуется пластинчатыми теплообменниками (далее ПТО). Федеральный закон от 27.07.2010 N 190-ФЗ «О теплоснабжении» гласит, применение ПТО на горячее водоснабжение (далее ГВС) обязательно, открытые схемы запрещены к использованию. К тому же использование независимых схем на системы отопления и вентиляции, также имеет множество достоинств по сравнению с открытыми схемами. Соответственно качественная математическая модель ПТО необходима для исследования работы ИТП в комплексе.

1. Моделирование ПТО

Моделирование ПТО осуществляется с помощью метода последовательных приближений (далее МПП). Для расчетов используют формулу, в которую входит не средняя разность температур между теплообменивающимися потоками (средний логарифмический температурный напор $\Delta\bar{t}_{\ln}$), а разность температур греющего и нагреваемого теплоносителя на входе в теплообменник [1].

Для этого используют противоточный коэффициент Z, выведенный из уравнения теплового баланса и уравнения теплопередачи.

Рассматривается элементарный участок dF (рис. 1):

Из уравнения теплопередачи:

$$dQ = q * dF = K * \Delta t * dF. \quad (1)$$

где, dQ – количество теплоты, передаваемое от первичного теплоносителя ко вторичному в единицу времени dt; k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м*К); Δt – разность температур теплоносителей, πС.

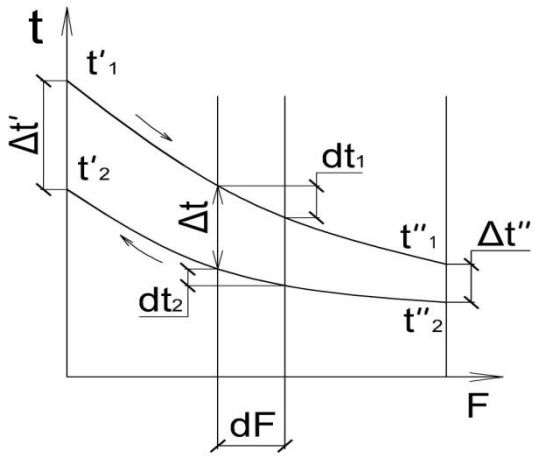


Рис. 1. График изменения температуры теплоносителей по площади ПТО

Из закона сохранения энергии:

$$\begin{cases} dQ = -C_1 \cdot dt_1 \\ dQ = -C_2 \cdot dt_2 \end{cases}, \quad (2)$$

где $C = G_m \cdot \overline{Cp}$ – полная теплоемкость массового расхода, Дж/К.

Определяется отношение:

$$\frac{d(\Delta t)}{\Delta t} = m \cdot K \cdot dF, \quad (3)$$

здесь $m = \left(\frac{1}{C_1} - \frac{1}{C_2}\right)$ – введенная замена. Далее интегрируют (3) и получают:

$$\ln(\Delta t) = -m \cdot K \cdot F + C^* . \quad (4)$$

Подставляя граничное условие F_o=0 в уравнение (4), получают:

$$\frac{\Delta t''}{\Delta t'} = e^{-m \cdot K \cdot F} ; \quad (5)$$

причем: $\begin{cases} \Delta t' = t_1' - t_2'' \\ \Delta t'' = t_1'' - t_2' \end{cases}$,

где $\Delta t'$ – максимальная разность температур греющего теплоносителя на входе и на выходе ПТО, πС; $\Delta t''$ – максимальная разность температур нагреваемого теплоносителя на входе и на выходе ПТО,πС.

Уравнение (5) переписывают следующим образом:

$$\frac{(t_1'-t_2')\cdot(1-e^{-(1-\frac{C_1}{C_2})\cdot\frac{K*F}{C_1}})}{1-\frac{C_1}{C_2}\cdot e^{-(1-\frac{C_1}{C_2})\cdot\frac{K*F}{C_1}}} = t_1' - t_1'' \,. \quad (6)$$

Полученное отношение:

$$\frac{\left(1-e^{-\left(1-\frac{C_1}{C_2}\right)*\frac{K*F}{C_1}}\right)}{1-\frac{C_1}{C_2}\cdot e^{-\left(1-\frac{C_1}{C_2}\right)*\frac{K*F}{C_1}}}, \quad (7)$$

называют противоточным коэффициентом «Z».

Следовательно, мощность определяется по формуле:

$$Q = C_1 \cdot Z \cdot (t_1' - t_2''). \quad (8)$$

2. Описание метода последовательных приближений.

В процессе подбора ПТО невозможно выбрать в точности соответствующий заданным параметрам. К тому же, во время эксплуатации реальные параметры (расход и температуры на входе в ПТО) будут отличаться от расчетных. Для определения эксплуатационных характеристик ПТО (мощность и температуры на выходе из ПТО) используют метод последовательных приближений (далее МПП).

Далее приведена методика расчета основных характеристик ПТО с помощью МПП:

1. Рассчитывается противоточный коэффициент «Z», по формуле (7).
2. Определяется действительная мощность ПТО по формуле (8).
3. Действительные температуры теплоносителей на выходе:

$$t_1'' = t_1' - \frac{Q}{C_1}; \quad (9)$$

$$t_2'' = t_2' + \frac{Q}{C_2}. \quad (10)$$

4. С учетом изменения температур, находятся коэффициенты теплоотдачи по эмпирической формуле.

5. По найденным коэффициентам теплоотдачи находится новое значение коэффициента теплопередачи:

$$K_{new} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1}+\frac{\delta}{\lambda}+\frac{1}{\alpha_2}}. \quad (11)$$

После нахождения новых значений $К_{new}$, цикл МПП повторяют. При равенстве значений $К = К_{new}$, цикл МПП прекращают, значения, полученные на данном шаге, считаются действительными характеристиками теплообменного аппарата при данных параметрах.

3. Алгоритм программы

По описанной методике разработана программа, помогающая смоделировать работу ПТО. На основании входных параметров теплоносителей G_1, G_2 и t_1’, t_2’ определяются Q – действительная мощность, К – коэффициент теплопроводности, t_1", t_2" – выходные параметры теплоносителя.

Алгоритм программы (рис. 2) разработан в соответствии с методикой МПП, используя только 4 входных параметра. Программа производит полный расчет ПТО, на основании стандартных и эмпирических расчетных формул, технических характеристик ПТО, а также используются табличные значения теплоемкостей и плотностей воды.

В результате работы программы определяются значения выходных температур теплоносителей, а также действительная мощность и коэффициент теплопроводности.

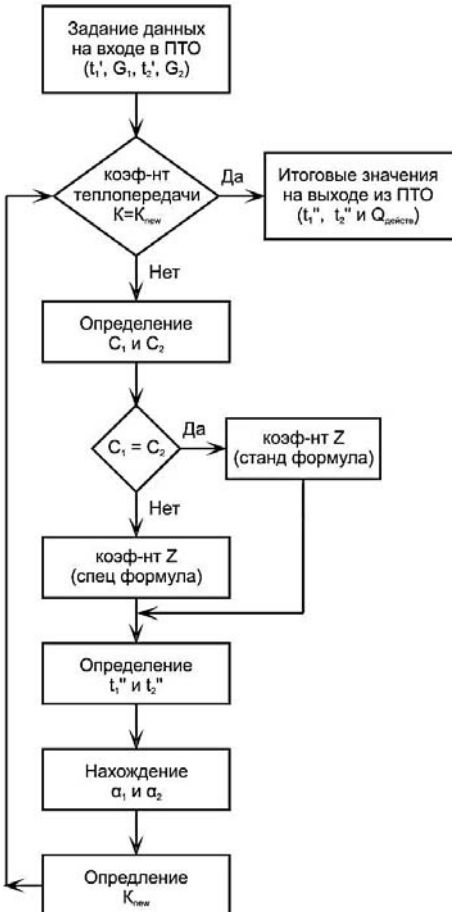


Рис. 2. Алгоритм программы моделирования ПТО

4. Анализ данных получаемых с помощью модели теплообменника

На основе полученных в программе данных, построены графики зависимости Q, k, t_1'' и t_2'' от расходов первичного и вторичного теплоносителей (рис. 3 и рис. 4, соответственно).

Полученные графики отлично соотносятся с реальностью. При увеличении расхода греющего теплоносителя, происходит увеличение мощности, температуры греющего и нагреваемого теплоносителя на выходе.

При увеличении расхода нагреваемого теплоносителя, происходит увеличение мощности и уменьшение температуры греющего и нагреваемого теплоносителя на выходе.

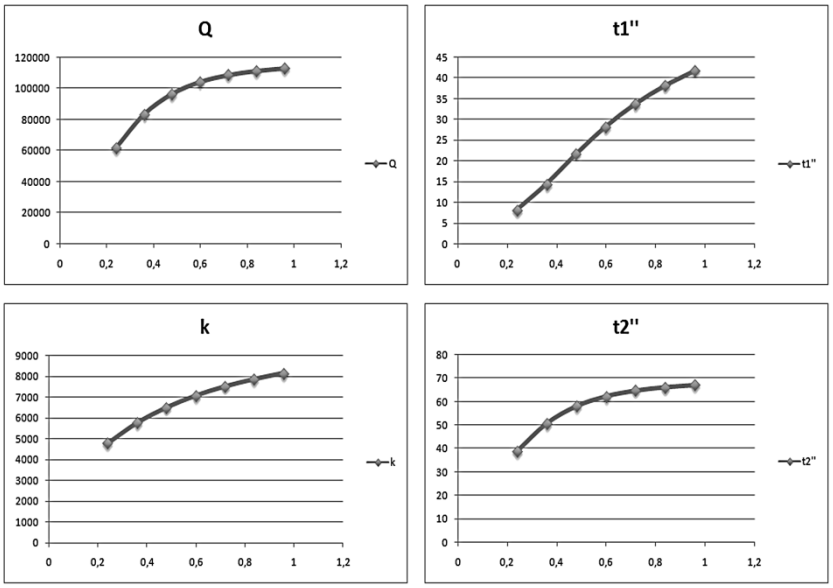


Рис. 3. Графики зависимости Q, K, t_1'' и t_2'' от G_1

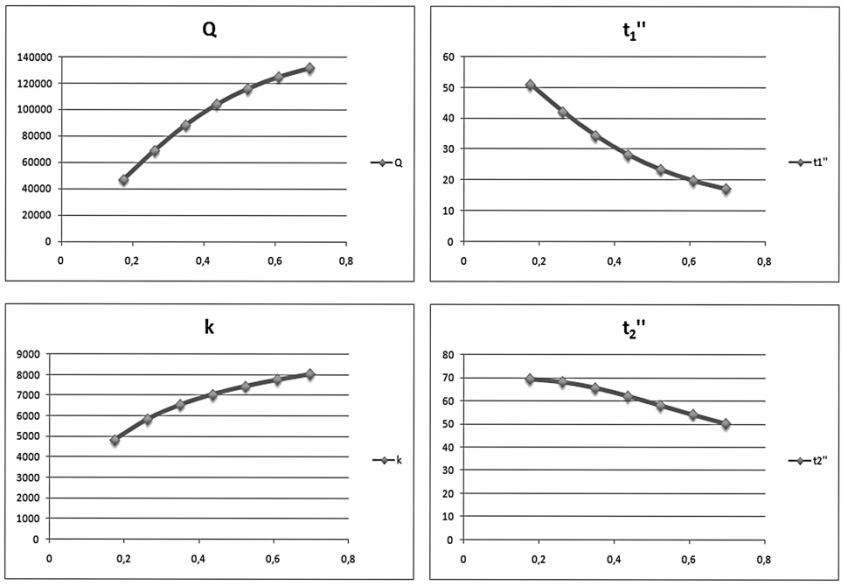


Рис. 4. Графики зависимости Q, K, t_1'' и t_2'' от G_2

5. Эксплуатационное моделирование работы ПТО

Наибольший интерес представляет качественное моделирование работы ПТО в реальных эксплуатационных ситуациях. В данной работе произведено моделирование работы ПТО на ГВС жилого здания в течение суток в летний или переходный период года. Для этого использовалась модель ПТО и агентная модель неравномерности водоразбора ГВС жилым зданием [2].

Для расчетов использовались следующие исходные данные:

- G_2 – секундный расход на ГВС жилым зданием (определяется с помощью агентной модели) – это расход нагреваемой среды в ПТО;
- t_1’ – температура греющей среды на входе принимается 70 °С, что соответствует летнему температурному графику ТС для Челябинской области;
- t_2’ – температура нагреваемой среды на входе принимается 5 °С, стандартная температура ХВС на вводе в жилой дом;
- G_1 – определяется по результатам моделирования. По сути это работа контроллера на ГВС, т.е. при высоком водоразборе увеличивается G_2, снижается t_2”. Далее идет сигнал, приоткрывается регулирующий клапан, увеличивается G_1 и наоборот.

Изменение расходов теплоносителей напрямую связано с неравномерностью нагрузки на ГВС. На рис. 5 приведен дневной график работы ПТО в системе ГВС. График представляет собой посекундный расход теплоносителей на ГВС и из ТС. Можно заметить, что пики нагрузки на ПТО приходятся преимущественно в утренние и вечерние часы. Однако амплитуда расхода ГВС в один и тот же момент времени значительно больше амплитуды расхода ТС.

Графики изменения температуры теплоносителей в течение суток будут аналогичными (рис. 6). Температура ГВС в течение суток изменяется в допустимых пределах, график не имеет резких пиков и впадин. Температура ТС на выходе из ПТО также имеет практически монотонный характер, но уже больший разброс температур в течение суток, в сравнении с графиком изменения температуры ГВС.

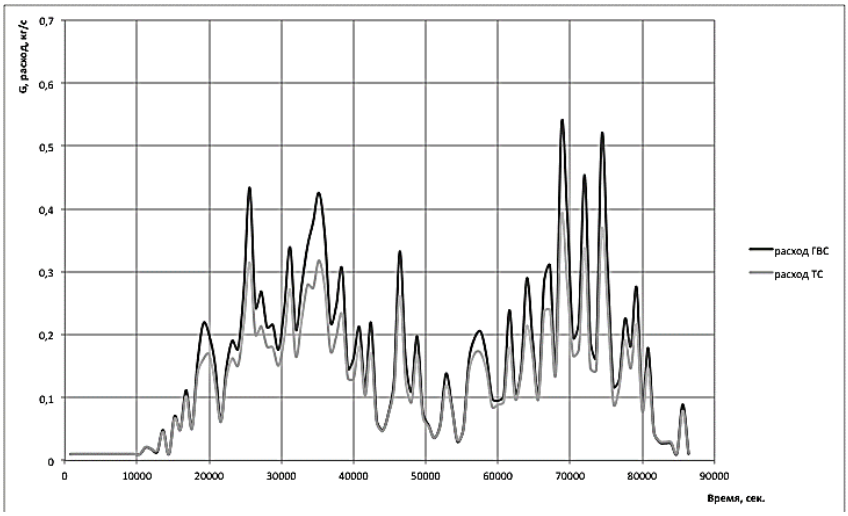


Рис. 5. Дневной график работы пластинчатого теплообменника ГВС

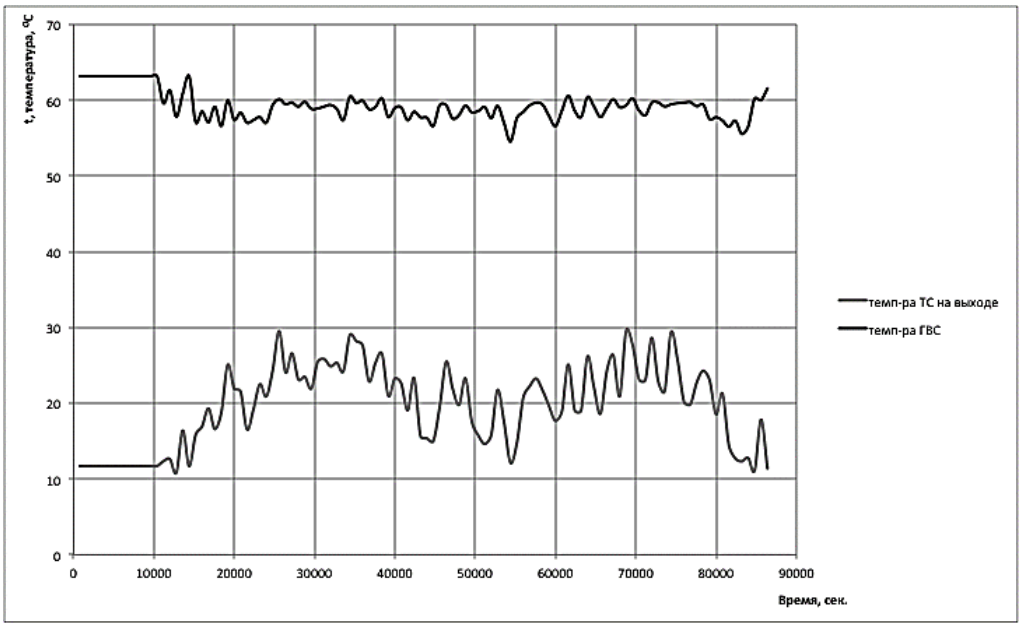


Рис. 6. График суточного изменения температуры теплоносителей

Заключение

Предложена математическая модель пластинчатого теплообменника, на основе которой разработана программа, позволяющая не только моделировать работу ПТО, но и анализировать реальные эксплуатационные ситуации. На основе полученных данных построена серия графиков, которые хорошо соотносятся с реальностью. Данная работа может быть использована для более глубокого исследования и моделирования индивидуального теплового пункта.

Библиографический список:

1. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов / Е.Я. Соколов. – 7-е изд. стер. – М.: МЭИ, 2001.

2. Февралев, А.А. Имитационное моделирование неравномерности водоразбора жилым зданием агентным методом / А.А. Февралев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». – 2014. – Т. 14. – № 2. – С. 39–43.

3. Авчухов, В.В. Задачник по процессам тепломассообмена: учеб. пособие для вузов / В.В. Авчухов, Б.Я. Паюсте. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 102 с.

4. Федеральный закон от 27.07.2010 N 190-ФЗ (ред. от 03.02.2014) «О теплоснабжении» // СПС «Гарант».

К содержанию

УДК 378.016:744 + 378.14

КОНЦЕПЦИЯ ГРАФИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ СТУДЕНТОВ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Л.И. Хмарова

При стремительном развитии информатизации производства существенно возрастает роль инженерного образования. Графические дисциплины на технических специальностях вуза являются первыми профессионально ориентированными дисциплинами, активно влияющими на формирование компетенций будущих специалистов. Особую актуальность приобретает совершенствование методики обучения графическим дисциплинам путем внедрения в учебный процесс компьютерного 3d-моделирования. Предложена новая форма организационно-педагогического обеспечения графической подготовки студентов путем интеграции классического курса и компьютерной 3D-технологии выполнения чертежа.

Ключевые слова: компьютерные 3d-моделирование, профессиональная компетенция, графические дисциплины, инновации в образовании.

Современные высокотехнологичные производства используют инновационные информационные технологии, основой которых является объединение всех этапов жизненного цикла изделия в единый целостный цикл. Технологии изготовления изделий с использованием современных станков, позволяющих получать изделия по электронной 3d-модели, применение на производстве различных 3d-сканеров и 3d-принтеров сделали 3d-моделирование основным инструментом при разработке конструкторской документации. Поэтому в новых условиях развитие системы инженерного образования требует подготовки специалистов технического профиля качественно нового уровня [1].

Модернизация системы высшего профессионального образования основана на общепринятой в большинстве развитых стран общей концепции компетентностного подхода к определению требований, формируемых в результате освоения дисциплины. В результате изучения дисциплин графического цикла сформированы определенные профессиональные компетенции. В соответствии с новыми образовательными стандартами (ФГОС-3 и 3+) для различных направлений подготовки и специальностей помимо традиционных знаний, умений и навыков, таких как знание и умение анализировать и моделировать форму предметов по их чертежам, выполнять и читать чертежи, решать инженерно-геометрические задачи на чертежах, применять нормативные документы и государственные стандарты для оформления чертежей и другой конструкторско-технологической доку-

ментации, составляющими профессиональных компетенций являются способности применять интерактивные графические системы для выполнения изображений и чертежей, владение современными программными средствами геометрического моделирования и подготовки конструкторской документации, что позволит в дальнейшем решать профессиональные задачи с помощью современных средств автоматизированного проектирования и разработки проектно-конструкторской документации. Успешное внедрение 3d-моделирования в различные области техники и технологии выдвигает в качестве обязательных требований к подготовке специалистов одновременное владение достаточной теоретической базой геометрических знаний и хорошими практическими навыками в области применения новейших технологий компьютерного моделирования [2].

Графические дисциплины (начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика, строительное черчение) на технических специальностях вуза являются первыми профессионально ориентированными дисциплинами, которым обучаются студенты. Успехи в освоении этих предметов служат индикатором будущей профессиональной квалифицированности инженера, так как невозможно представить себе технического специалиста, не владеющего графическим языком. Компьютерная графика при изучении графических дисциплин становится новым, прогрессивным, удобным инструментом создания чертежей и другой конструкторской документации [3]. Однако внедрение в учебный процесс компьютерной графики в рамках прежних часов, отведенных на графические дисциплины, требуют пересмотра традиционной методики геометро-графической подготовки студентов [4]. Изучение графического пакета в рамках учебной дисциплины отнимает время от теоретических вопросов изучаемого предмета, приходится чем-то жертвовать в пользу практики. Следовательно, использование новых информационных технологий приводит к переориентации предмета в практическую сторону обучения. Однако при недостатке у обучаемых основной базы геометрической знаний, формирующей особое пространственное мышление, у будущего выпускника вряд ли сформируется требуемый потенциал для эффективной творческой деятельности при проектировании технических объектов в своей профессиональной области. Именно поэтому, поиск интеграции преподавания графических дисциплин и современных компьютерных технологий приобретает особую актуальность в общей структуре профессиональной компетенции.

Актуальность развития и применения инновационных методик при изучении графического цикла дисциплин обусловлена самой спецификой предмета, требующей специальной подготовки для его освоения. Любая проектно-конструкторская деятельность предполагает знание основ геометрических построений, умение воспринимать и воспроизводить графическую информацию, владение пространственным мышлением. Примене-

ние инновационных форм обучения графическим дисциплинам заключается в обучении студентов выполнению чертежей изделий с помощью компьютерной графики, в чтении видеолекций с использованием мультимедийного оборудования, разработке и внедрении компьютерного тестирования для контроля качества обучения, создании учебно-методического фонда дисциплин на электронных носителях для самостоятельного изучения, использовании имеющихся методических резервов путем перевода в электронный вид основных методических разработок кафедры и др. [4, 5].

Кафедра графики ЮУрГУ – сервисная общеобразовательная кафедра, на которой проводятся занятия по дисциплинам графического цикла у студентов всех технических направлений вуза. Дисциплины «Начертательная геометрия» и «Инженерная графика» – общеобразовательные, поэтому главная цель этих дисциплин заключается в том, чтобы научить студента основным правилам построения и оформления чертежа, которые состоят в изучении теоретических и практических основ проекционного черчения и основных стандартов ЕСКД. Несмотря на то, что на производстве компьютерные технологии в графике завоевали прочное положение и вытеснили ручные методы, преподавание компьютерных технологий в графических дисциплинах происходит в рамках основных часов, выделяемых на курс, причем общий объем часов все время сокращается. Правила построения и оформления чертежа абсолютно не зависят от технологии его исполнения: «ручной» и электронный чертежи должны подчиняться одним и тем же стандартам [3]. Для выполнения электронного чертежа студент дополнительно должен изучить еще и графическую компьютерную программу, в этом случае получается, что в рамках одной дисциплины изучаются две: к инженерной графике добавляется компьютерная. Умение работать хотя бы в одном пакете графической компьютерной программы – это необходимое и обязательное условие подготовки современных востребованных технических специалистов. Поэтому в процессе обучения необходимо оптимально сочетать «ручной» и компьютерный варианты. Для того, чтобы студенты приобрели навыки геометрического мышления, научились правильно читать и выполнять чертежи, используя современные информационные технологии, предварительно им необходимо почувствовать и «потрогать» детали, эскизируя их вручную. При компьютерном 3D-моделировании студенты обычно углубляются в решение геометрической части задачи, что достигается посредством изучения графического пакета и его основных базовых команд, оформление чертежа согласно стандартам и основным правилам проекционного черчения отодвигается ими на второй план. Глубокое изучение графических пакетов, какие-то уникальные команды и опции требуют от студента определенной графической компьютерной подготовки, для этого обычно не хватает времени в семестре, да и не каждому студенту это по силам: нужно учитывать, что современные студенты имеют очень различный базовый уровень знаний.

Большим недостатком у многих студентов является отсутствие достаточных навыков самостоятельной работы. Сегодня самостоятельная работа студентов играет значительную роль в процессе обучения: в новых стандартах на самостоятельную работу отводится более 50 % от общей трудоемкости. При организации самостоятельной работы студентов необходимо учитывать их индивидуальные способности и различные потребности в познавательной деятельности. Особую актуальность приобретает контроль качества индивидуальных заданий, выполняемых студентами самостоятельно с использованием компьютерных технологий, в связи с предполагаемой вариативностью выполнения заданий и распространенного в студенческой среде «плагиатства».

В курсе «Инженерная графика» для различных направлений подготовки и специальностей преподаватели кафедры графики при обучении студентов используют следующие графические программы: AutoCAD, Компас-3D, Solid Works и др. В первом задании эскиз реальной модели студент выполняет вручную для того, чтобы можно было рассмотреть («потрогать») деталь, определить из каких простых геометрических фигур она состоит, а затем правильно выполнить чертеж на бумаге. Во втором задании, изучив основы трехмерного моделирования, студент по карточке уже сам строит на компьютере объемную 3D-модель детали с учетом ее размеров и конструктивных особенностей. Современные графические пакеты позволяют рассмотреть полученную модель из любой точки трехмерного пространства, выполнить по твердотельной модели ортогональные и аксонометрические проекции, а также получить необходимые изображения: виды, разрезы, сечения, служащие для создания чертежей деталей и сборочных узлов. Последующие задания студенты выполняют в соответствии со своей будущей специальностью: построение чертежей машиностроительных, электротехнических или приборостроительных деталей, или строительные чертежи. На кафедре регулярно пополняется электронная база данных трехмерных моделей различного уровня сложности, варианты заданий графических работ, электронная база стандартных изделий и др.

Выполнение графических заданий выстроено в зависимости от трудоемкости и сложности их выполнения с учетом знаний и умений студентов, а также их профессиональной направленности [6, 7]. Изучение начертательной геометрии и инженерной графики с применением компьютерных технологий способствует активизации учебно-творческой деятельности студентов вуза, что обязательно повлечет за собой ускоренное накопление ими профессиональных компетенций.

Использование разнообразных современных технологий преподавания необходимо и актуально для подготовки инженеров, компетентных в работе с интеллектуальными интерактивными графическими информационными технологиями и системами автоматизированного проектирования, что, в свою очередь, значительно повышает уровень востребованности выпускников университета на рынке труда.

Библиографический список

1. Волошилов, Д.В. Конструктивное геометрическое моделирование как перспектива преподавания графических дисциплин / Д.В. Волошинов, К.Н. Соломонов // Геометрия и графика. – 2013. – Т. 1. – № 2 (2). – С. 10–13.

2. Кайгородцева, Н.В. Анализ геометро-графической составляющей образовательных стандартов бакалавриата третьего поколения / Н.В. Кайгородцева, К.Л. Панчук // Омский научный вестник. Серия «Приборы, машины и технология». – 2012. – № 1 (107). – С. 6–10.

3. Короткий, В.А. Начертательная геометрия на экране компьютера / В.А. Короткий, Л.И. Хмарова // Геометрия и графика. – 2013. – V.1. I.1. – С. 32–34.

4. Хмарова, Л.И. Применение компьютерных технологий при изучении графических дисциплин / Л.И. Хмарова, Е.А. Усманова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование и педагогика». – 2014. – Т. 6. – № 2. – С. 59–64.

5. Хмарова, Л.И. Оптимальное сочетание ручной и компьютерной графики // Л.И. Хмарова, Е.А. Усманова // Информационные технологии и технический дизайн в профессиональном образовании и промышленности: сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – С. 104–108.

6. Логиновский, А.Н. Задание «Графическая модель автомобиля» как средство развития творческих способностей студентов в курсе начертательной геометрии / А.Н. Логиновский, Л.И. Хмарова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование и педагогика». – 2014. – Т. 6. – № 4. – С. 50–57.

7. Короткий, В.А. Архитектурная оболочка на замкнутом контуре / В.А. Короткий, Е.А. Усманова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2015. – Т. 15. – № 2. – С. 47–51.

К содержанию

УДК 696.11 + 696.4 + 697.3

РАЗРАБОТКА ТИПОВОЙ СХЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ

Т.В. Ярина, М.С. Бондарь

Рассматривается задача нагрева воды до требуемой температуры 60 °С как в летний, так и в зимний период. Приводятся схемы горячего водоснабжения офисных помещений предприятия, а также технические характеристики водопроводов, теплообменников, насосов, используемых в схемах. В результате расчетов, была предложена новая схема горячего водоснабжения, которая соответствует требованиям по расходу и температуре горячей воды. Результаты могут быть использованы при проектировании горячего водоснабжения в офисных зданиях различных предприятий.

Ключевые слова: проектирование горячего водоснабжения, энергоэффективность, тепловая схема, технические характеристики.

В данной работе проектируется система горячего водоснабжения (ГВС) для офисных зданий предприятия, предназначенное для удовлетворения гигиенических и бытовых нужд, работает по системе закрытого типа и находится под постоянным давлением 4–6 атм.

В ходе использования горячей воды, подпитка системы осуществляется холодной водой посредством насосной станции хозяйственно-бытового водоснабжения из накопительной пожарной емкости, объемом 500 м^3. Во время пиковых расходов горячей воды, при пересменке, ее температура в течении 15–20 минут использования падает с 40–50 °С до 20–30 °С. Регулировка температуры в системе ГВС осуществляется в ручном режиме по рисунку 1.

Вода из насосной станции хозяйственно-бытового водоснабжения поступает по трубопроводу 1 в трубопровод 2, для подачи холодной воды в сеть и 3 для нагрева в теплообменниках 14 и 13. Нагретая вода поступает в накопительную емкость 12, а из нее уходит к потребителям, по трубам 9.

Температура воды, поступающей из насосной станции, составляет около 5℃ зимой и около 10℃ летом. После прохождения по трубопроводам. она нагревается естественным путем до температуры 10-15℃, а дальше ее нагрев осуществляется в пластинчатом теплообменнике 14. Температура теплоносителя на входе в пластинчатый теплообменник составляет $t_{подача}$=90 °С, на выходе $t_{обратн.}$=70 °С:

$$t_{ср}=(70+90)/2=80\ °C.$$

Таким образом, вода, предназначенная для нужд ГВС, может прогреться максимум до температуры:

$$t_{max\ ГВС} = (80+10)/2=45\ °C.$$

Нормативная температура горячей воды (в местах водоразбора) должна составлять 60 °С, в соответствии с [1].

В существующей системе ГВС, температура горячей воды, прошедший через теплообменник составляет 30–45 °С. В связи с этим дополнительно приходится использовать индукционный электронагреватель 13, в который холодная вода, с температурой 10–15 °С, поступает по трубопроводу 5. После него вода направляется в накопительную емкость 12 по трубопроводу 6.

Средняя температура воды, на выходе из нагревателя, составляет $t_{ср\ ВИН}$=70 °С. Из накопительной емкости 12 вода, по трубопроводу 7, попадает в трубопровод 8, смешиваясь в нем с водой, поступающей через пластинчатый теплообменник 14 и уходит к потребителям, по трубопроводам 9, со средней температурой:

$$t_{ср}=(70+45)/2=57{,}5\ °С.$$

Подпитка воды, в случае ее разбора, происходит из трубопровода 4, тем самым, постепенно, охлаждая воду в емкости до своей температуры, 10–15 °С. При интенсивном разборе, всеми душевыми лейками, горячей воды хватает максимум на 15–20 минут, чего не достаточно для помывки всей смены (15–16 человек). При этом, иногда, душевыми пользуются и подрядчики, это еще 3–6 человек.

Расход горячей воды на одного человека составляет 0,14 л/с [1], продолжительностью помывки в среднем составляет 25–40 минут. Таким образом, максимальная потребность в горячей воде составляет: G=11 м^3/ч.

Предприятие состоит из 3 корпусов, в которых имеются:

- умывальники – 20 шт.;
- душевые лейки – 16 шт.

Количество сотрудников в день составляет 40 человек. Из них 16 в конце каждой смены (утром и вечером) принимают душ. Расход горячей воды на предприятии должен составлять при напоре воды 30 м водяного столба:

$$G_o = 11 + 0{,}025 = 11{,}025\ м^3/ч.$$

Из расчета видно, что общая потребность в горячей воде больше 2 м^3, а накопительная емкость бака всего 2,5 м^3. На основании расчета необходимо увеличить накопительную емкость до двух баков по 2–2,5 м^3 и установить их по рисунку 2.

В целях поддержания температуры воды 60 °С на входе в душевую необходимо поменять расположение трубопроводов по рисунку 2 с диаметрами труб из таблицы 2 и предусмотреть изоляцию баков 12.

Новая схема предусматривает раздельный подогрев воды зимой и летом. Зимой вода из насосной станции хозяйственно-бытового водоснабжения поступает по трубопроводу 1 в трубопровод 2, для подачи холодной воды в сеть и 3 для нагрева в теплообменнике 14. При этом шаровой кран А зимой закрыт, а кран Б открыт. Холодная вода с температурой 5–10 °С, нагревается в пластинчатом теплообменнике 14 до 40–45 °С [2].

Температура теплоносителя на входе в теплообменник составляет $t_{подача}$=90 °С, на выходе $t_{обратн.}$= 70 °С, тогда средняя температура ГВС:

$$t_{ср}=(70+90)/2=80\ °С.$$

Таким образом, вода, предназначенная для ГВС, со скоростью 0,8–0,95 м/с поступает в накопительные баки с одновременным нагревом и заполняет их за 8 часов, что удовлетворяет времени между сменами. Вода может догреваться в накопительных баках до температуры:

$$t_{ГВС}= (80+45)/2=67,5\ °С.$$

С этой температурой вода поступает по трубопроводу 7 в душевые.

Внутри баков устанавливается змеевик по всей высоте, с шагом между витками 5–10 см.

Количество тепла необходимое для догрева воды составит:

$$Q = \sigma \times c \times (t_2 - t_1) = 7{,}7\text{кВт}.$$

Для того, чтобы не происходило потерь тепла от бака, емкость необходимо изолировать изоляционным материалом типа Energoflex, толщиной не менее 1–1,5 см. Для поддержания необходимого напора воды в душевых во время максимального водоразбора, необходимо поставить дополнительный насос 15 производительностью не менее 4 $м^3$/ч, напором не менее 5 м. Летом, подача холодной воды осуществляется аналогично зимнему варианту (шаровой кран А открыт, а кран Б закрыт). Вода по трубопроводу 4 поступает для нагрева в теплообменник 13, мощностью 30кВт. Холодная вода, с температурой 5–10 °С, нагревается в нем до 70 °С и поступает в баки накопители за 5 часов, где за счет утеплителя баков потери тепла не наблюдаются, Горячая вода подходит к душевым с температурой 60 °С.

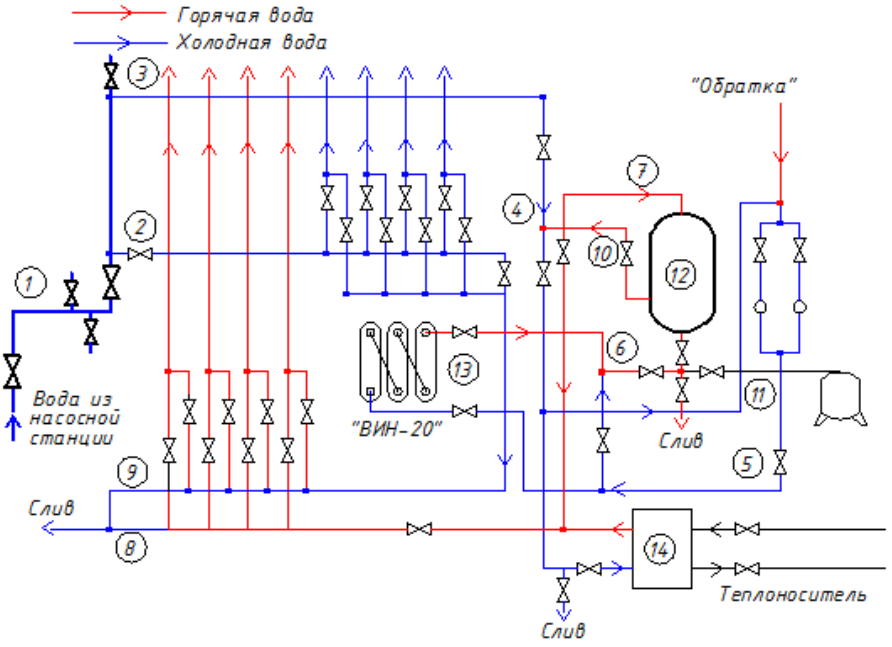


Рис. 1. Существующая схема водоснабжения предприятия

Таблица 1

Техническая характеристика
существующей схемы водоснабжения предприятия

Поз.	Наименование и техн. характеристика	Ед. изм.	Показатель
1	трубопровод	мм	Ø89
2	трубопровод		Ø60
3	трубопровод		
4	трубопровод		
5	трубопровод		Ø40
6	трубопровод		
7	трубопровод		Ø50
8	трубопровод		
9	трубопровод		Ø32
10	трубопровод		
11	трубопровод		Ø25
12	Накопительная емкость	$м^3$	2.0
13	Вихревой индукционный нагреватель «ВИН-20»	кВт	20
14	Пластинчатый теплообменник ТПР S07-016-044	$м^2$	7,067

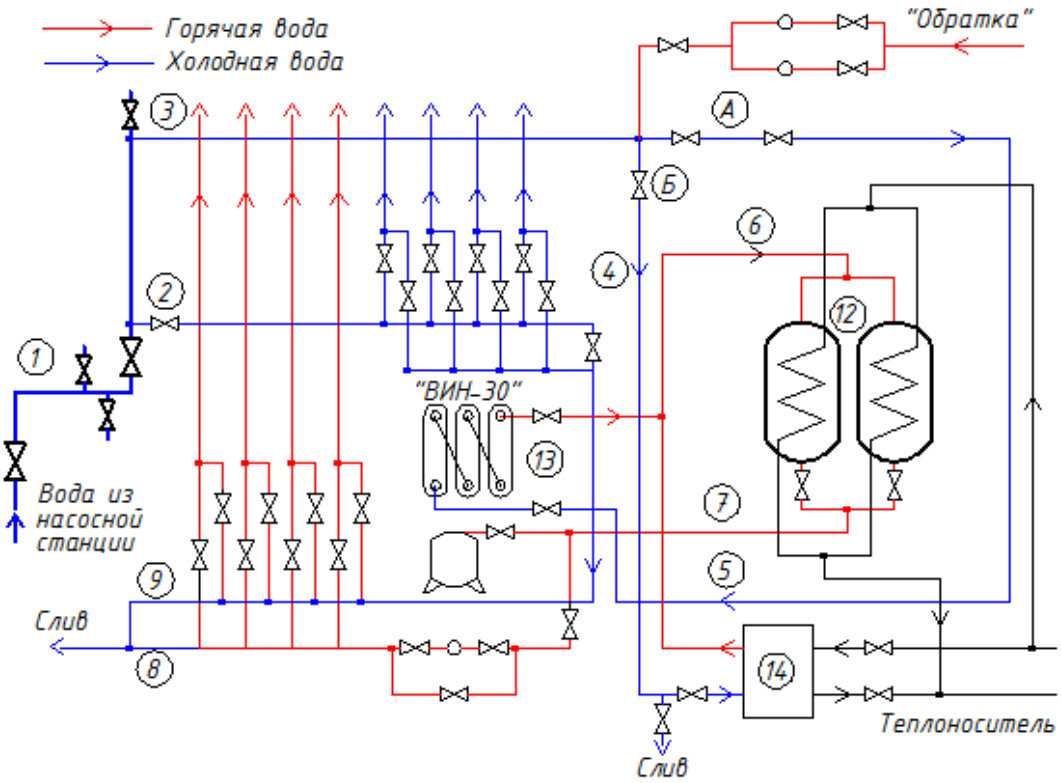


Рис. 2. Разработанная схема водоснабжения предприятия

Таблица 2

Техническая характеристика
разработанной схемы водоснабжения предприятия

Поз.	Наименование и техн. характеристика	Ед. изм.	Показатель
1	трубопровод	мм	Ø89
2	Трубопровод		Ø40
3	трубопровод		
4	трубопровод		Ø40
5	трубопровод		
6	трубопровод		Ø40
7	трубопровод		
8	трубопровод		Ø60
9	трубопровод		Ø32
12	Накопительная емкость	$м^3$	2,0
13	Вихревой индукционный нагреватель «ВИН-20»	кВт	20
14	Пластинчатый теплообменник ТПР S07-016-044	$м^2$	7,067
15	Насос (напор 5 м)	$м^3/ч$	4

В результате предложенных мероприятий потребитель получает горячую воду круглый год с температурой 60 °С зимой, где нагрев происходит за счет котла, а летом за счет электрических нагревателей, что позволяет значительно экономить топливо и электричество. Дополнительный насос позволяет подавать горячую воду с требуемым расходом без перебоев.

Библиографический список

1. СанПиН 2.1.4.2496-09 «Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения».

2. Гамбург, П.Ю. Таблицы и примеры для расчета трубопроводов отопления и горячего водоснабжения / П.Ю. Гамбург. – М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961. – 196 с.

К содержанию

АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УДК 532.542 + 519.63

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЯ

В.В. Кириллов, А.О. Шульц

Предлагается математическая модель электрического воздухоподогревателя, предназначенного для нагрева воздуха на испытательном стенде микрогазотурбинной установки.

Ключевые слова: подогреватель, математическая модель, численный метод.

Подогреватель предназначен для проточного нагрева сжатого воздуха в диапазоне температур от 20 до 500 °С.

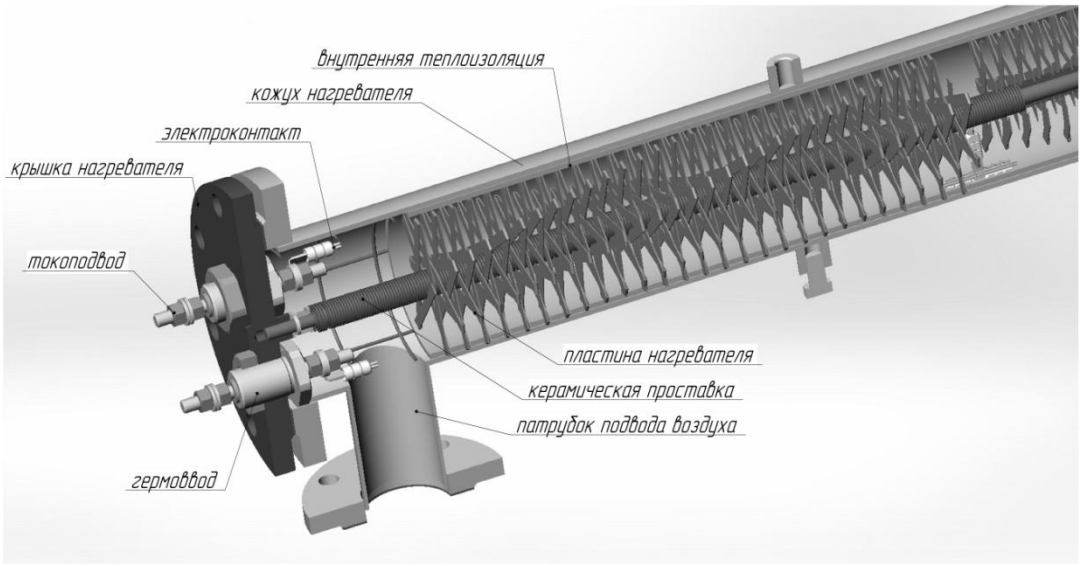


Рис. 1. Конструкция подогревателя

Теплообменник представляет собой кожух с фланцами, крышками и патрубками подвода и отвода воздуха, внутри которого расположен специальным образом уложенный и закрепленный ленточный нихромовый нагреватель (рис. 1). Дистанцирование пластин нагревателя друг относительно друга производится при помощи керамических втулок, расположенных на металлическом стержне в центре кожуха.

Подвод электропитания к нагревателю производится через высокотемпературные гермовводы, расположенные на одной из крышек. Весь нагреватель разделен на три секции, каждая из которых питается от одной фазы трехфазного переменного тока.

Регулирование выходной температуры воздуха производится с помощью ПИД-регулятора с обратной связью по температуре.

Для минимизации тепловых потерь в окружающую среду, а также для теплозащиты преобразователей температуры, кожух нагревателя и воздушные патрубки закрыты теплоизоляцией.

На рис. 2 показано взаимное расположение пластин нагревателя.

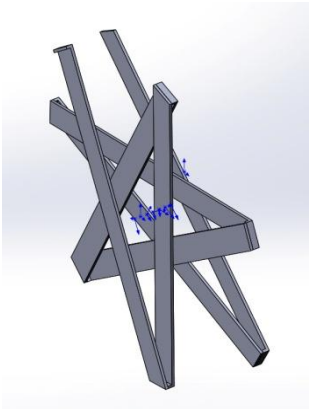


Рис. 2. Взаимное расположение пластин

При формировании математической модели приняты следующие допущения.

1. При обтекании пакета пластин воздушный поток турбулизуется, в результате температура потока в сечении выравнивается и может быть принята одинаковой по радиусу теплообменника в каждом сечении. Таким образом, температуру воздуха можно считать постоянной для каждой пластины.

2. Теплофизические свойства материала пластины и ее удельное электрическое сопротивление не зависит от температуры.

Пакет пластин можно представить в виде стержня с длиной, равной суммарной длине пластин пакета, обтекаемого поперечным потоком воздуха. При этом в пределах каждой пластины температура воздуха, коэффициент теплоотдачи, скорость воздуха будет постоянны.

Изменение температуры пластины по длине определяется уравнением [1]:

$$\frac{d^2 t_{\text{п}}}{dx^2} - \frac{\alpha П (t_{\text{п}} - t_{\text{в}})}{\lambda_{\text{п}} f} = -\frac{q_v}{\lambda_{\text{п}}}, \qquad (1)$$

с граничными условиями

$$\lambda \frac{dt_{\text{п}}(0)}{dx} = \alpha_{\text{т}} [t_{\text{п}}(0) - t_{\text{в}}(0)];$$

$$-\lambda \frac{dt_{\text{п}}(L)}{dx} = \alpha_{\text{т}} [t_{\text{п}}(L) - t_{\text{в}}(L)]. \qquad (2)$$

где t – температура; α – коэффициент теплоотдачи; $П$ – периметр сечения пластины; f – площадь сечения пластины; λ – коэффициент теплопровод-

ности; q_v – плотность внутренних источников тепловыделения; x – координата вдоль пластины; L – суммарная длина пластин в пакете; индексы: в – воздух; п – пластина; т – торец пластины.

Условия обтекания пластин существенно отличаются от классических случаев, принятых в теории теплообмена (таких как поперечное обтекание цилиндра и пакетов труб). Поэтому были выполнены расчеты подогревателя по трехмерной модели в приложении Flow Simulation программного продукта SolidWorks. В результате расчетов определялась средняя температура пластины в нескольких сечениях по длине подогревателя. В результате обработки результатов численного эксперимента получено критериальное уравнение для расчета коэффициента теплоотдачи в виде:

$$\mathrm{Nu} = 1{,}01\mathrm{Re}^{0{,}404}, \qquad (3)$$

$$\mathrm{Re} = \frac{w\Delta}{\nu_{\text{в}}},\ \mathrm{Nu} = \frac{\alpha\Delta}{\lambda_{\text{в}}},$$

где Δ – ширина пластины; ν – вязкость

Коэффициент теплоотдачи на торце пластины можно определить по уравнению [2]:

$$\mathrm{Nu}_{\text{т}} = 0{,}664\,\mathrm{Re}_{\text{т}}^{\,0{,}5}\,\mathrm{Pr}^{0{,}33},\ \mathrm{Re}_{\text{т}} = \frac{w\delta}{\nu_{\text{в}}};\ \mathrm{Nu}_{\text{т}} = \frac{\alpha\delta}{\lambda_{\text{в}}},$$

где δ – толщина пластины.

Уравнение (1) с граничными условиями (2) решается численно методом конечных разностей [3]. На пластине строится равномерная сетка с шагом h. Уравнение (1) и граничные условия (2) аппроксимируются разностной схемой:

$$\frac{t_{n-1} - 2t_n + t_{n+1}}{h^2} - m_j t_n = -m_j t_{\text{в},j} - \frac{q_v}{\lambda_{\text{п}}}, \qquad m = \frac{\alpha П}{\lambda_n f}; \qquad (4)$$

$$\lambda_{\text{п}}\frac{t_2 - t_1}{h} = \alpha_{\text{т}}\left(t_1 - t_{\text{в},1}\right); \qquad -\lambda_{\text{п}}\frac{t_N - t_{N-1}}{h} = \alpha_{\text{т}}\left(t_N - t_{\text{в},J}\right), \qquad (5)$$

где n – номер узла сетки, j – номер пластины; N – число узлов сетки; J – количество пластин. Уравнение (4) с граничными условиями (5) решается трехточечной прогонкой [3].

Результаты расчета показывают, что значения температуры пластин в начале и средней части секций отличаются от результатов, полученных при трехмерном моделировании не более, чем на 5...7 %. В конце секции это отклонение вырастает до 17 %. Во всех случаях предлагаемая модель дает заниженные значения температуры пластин по сравнении с трехмерным моделированием.

Расхождение результатов расчета по трехмерной и одномерной моделям вызвано рядом обстоятельств. Пластины в подогревателях частично закрывают друг друга. Причем площадь перекрытия по длине секции меняется. У второй пластины закрыто примерно 8 % поверхности. У третьей

пластины уже около 10 %. Пластины расположены всего на расстоянии 1,5 мм друг от друга, поэтому условия обтекания их существенно отличаются от поперечного обтекания первой пластины. Температура пластины не одинакова по ее длине и средняя температура заметно выше, чем при одинаковых условиях теплообмена.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках комплексного проекта «Создание производства модельного ряда микротурбинных энергоустановок нового поколения» по договору № 02.G25.31.0078 от 23.05.2013 г. между Министерством образования и науки Российской Федерации и Открытым акционерным обществом специальным конструкторским бюро «Турбина» в кооперации с головным исполнителем НИОКТР – Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет).

Библиографический список

1. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.–Л.: Энергия, 1965. – 424 с.

2. Уонг, Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров / Х. Уонг. – М.: Атомиздат, 1979. – 212 с.

3. Самарский, А.А. Методы решения сеточных уравнений / А.А. Самарский, Е.С. Николаев. – М.: Наука, 1978. – 592 с.

К содержанию

УДК 532.51 + 536.6

О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ЗАХОЛАЖИВАНИЯ КРИОГЕННЫХ КАНАЛОВ ГЕЛИЕМ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

Е.В. Вайчулис

Разработана математическая модель и методика расчета течения низкотемпературного гелия сверхкритического давления в обогреваемом канале криостатирования энергоустановки при глубоком изменении управлений и различных законах истечения на выходном концевом элементе.

Ключевые слова: канал, математическая модель, захолаживание, сверхкритический гелий, нестационарный процесс.

При проектировании сверхпроводящих циркуляционных систем криогенного обеспечения (ЦСКО), охлаждаемых гелием сверхкритического давления (СКД) обычно стремятся обеспечить необходимый расход рабочего тела в теплообменном процессе.

Как правило, при этом ограничиваются изучением только стационарных режимов работы. Возможность потери устойчивости движения потока в большинстве случаев не учитывается.

Важной особенностью термодинамических свойств гелия СКД в околокритической области является существенное уменьшение плотности при псевдокипении.

В каналах с такими потоками теплоносителей при определенных сочетаниях режимных и конструктивных параметров могут возбуждаться низкочастотные колебания, наличие которых недопустимо по соображениям теплотехнической надежности.

Пульсации температуры и давления гелия нежелательны, поскольку приводят к переходу ЦСКО в резистивное состояние с последующей аварией [1, 2].

Очевидно, что надежная эксплуатация указанных энергоустановок зависит от обеспечения устойчивого течения гелия в обогреваемых каналах. Поэтому при разработке таких систем, наряду с обычными стационарными тепловыми и гидравлическими расчетами, следует проводить расчеты на устойчивость движения потока теплоносителя по нестационарной математической модели (ММ). При этом расчеты необходимо проводить как «в малом», т.е. в линейном приближении, так и «в большом», т.е. при глубоком, свыше 100 % от номинального значения возмущении внешних управлений.

Устойчивость рабочего процесса в каналах криогенных энергоустановок не является единственным динамическим показателем, определяющим их работоспособность. В зависимости от условий работы практический интерес представляют такие показатели качества, как монотонность или колебательность переходного процесса, время его затухания, величина перерегулирования, режимы с импульсными тепловыделениями, а также время захолаживания.

Таким образом, возникает задача прогнозирования параметров гелия в условиях глубокого внешнего возмущения и оценки устойчивости конечных режимов работы систем.

Суть проблемы состоит в том, чтобы на стадии проектирования ЦСКО исключить возможность возникновения и существования пульсационных режимов и обеспечить рациональный регламент их работы в нестационарных условиях.

Относительно низкая информативность и ограниченность линейных методов моделирования нестационарных процессов, непригодность их для описания параметров рабочего процесса при значительном возмущении внешних воздействий диктуют потребность в разработке нелинейных методов.

Для решения этих актуальных задач необходимо располагать надежными ММ процессов в каналах энергоустановок, адекватно отражающих нестационарные теплогидравлические явления, происходящие при их эксплуатации.

Широкое применение гелия СКД для криостатирования ЦСКО сверхпроводящих устройств (СПУ) обусловлено рядом преимуществ и часто оказывается предпочтительнее использования его в докритическом состоянии.

К этим преимуществам в первую очередь относятся:

1) низкие значения критической температуры ($T_{кр}$ = 5,2 К), и критического давления ($P_{кр}$ = 0,227 МПа) [3, 4];

2) высокая интенсивность теплообмена при турбулентном режиме течения [5];

3) отсутствие фазовых превращений, которые могут приводить к значительному температурному расслоению потока из-за перегрева паровой фазы, ухудшению условий охлаждения и росту гидравлического сопротивления.

Однако результаты экспериментов [1, 5] свидетельствуют о том, что, наряду с указанными достоинствами, гелий СКД особенно склонен к тепловым колебаниям потока.

Основой анализа процессов в сложных многоканальных ЦСКО с гелием СКД всегда служат результаты исследования отдельных каналов. Поэтому в дальнейшем рассматривается расчетная схема с одиночным обогреваемым каналом, изображенная на рис. 1. Размерность всех величин в ММ – СИ.

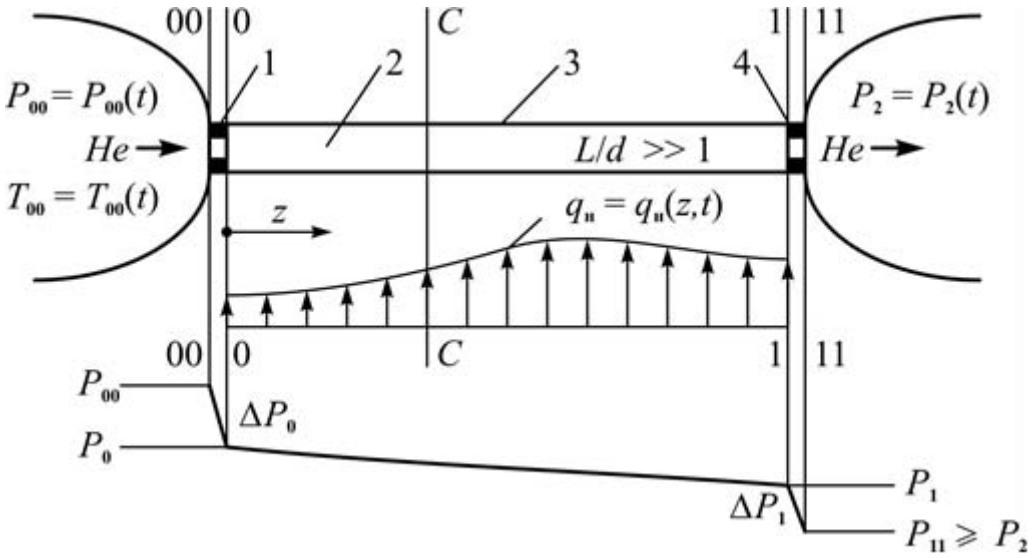


Рис. 1. Схема объекта исследования

Низкотемпературный гелий СКД поступает через входной дроссель (концевой элемент) 1 в канал 3 из напорной емкости (раздаточного коллектора) с давлением $P_{00} = P_{00}(t)$ и температурой $T_{00} = T_{00}(t)$.

Плотность теплового потока $q_н = q_н(z, t)$, имитирующего внешнюю тепловую нагрузку, изменяется по известному закону в функции координаты z и времени t.

Из канала 3 поток гелия 2 через выходной дроссель (концевой элемент) 4 поступает в емкость (сборный коллектор) с давлением $P_2 = P_2(t)$.

Потери давления по длине канала в общем случае считаются соизмеримыми по значению с перепадами давления ΔP_0 , ΔP_1 на входном 1 и выходном 4 дросселях соответственно.

На выходном дросселе 4 предполагается возможность запирания потока при достижении скорости u в сечении 11-11 местной скорости звука a ($u_{11} = a_{11}$). Такой вариант краевого условия возможен в том случае, когда местная скорость звука незначительна по величине. Для низкотемпературного гелия СКД такое допущение вполне оправдано [4].

Сечение *C-C* определяет границу между псевдожидкостным и псевдогазовым участками (сечение с резким уменьшением плотности потока при псевдофазовом переходе, которое имеет место для теплоносителей околокритических параметров) [3, 4].

При моделировании нестационарных процессов в канале приняты следующие допущения:

1. Течение гелия СКД описывается гидравлическими дифференциальными уравнениями в частных призводных сохранения массы, энергии, количества движения [2].
2. Теплоотдача и гидросопротивление канала подчиняются квазистационарными зависимостями [2, 6].
3. В каждой точке гидравлической линии поток гелия находится в состоянии локального термодинамического равновесия [2, 6].
4. Распределение температуры вдоль потока и стенок канала не зависит от диффузии тепла в осевом направлении [2, 6].
5. Гидросопротивление выходного дросселя при околозвуковых скоростях течения гелия ($u_{11} < a_{11}$) и в условиях запирания потока ($u_{11} = a_{11}$) определяются из соотношений, полученных для реального газа в предположении изоэнтропического расширения. При малых скоростях течения ($u_{11} << a_{11}$) зависимость гидросопротивления от массового расхода принимается квадратичной.
6. Гидросопротивление входного дросселя подчиняется квадратичному закону, а процесс течения предполагается изоэнтальпийным.

В рамках принятых допущений задача приводится к безразмерному виду с целью сокращения числа арифметических операций при численной реализации ММ [6].

Для замыкания ММ система дифференциальных гидравлических уравнений дополняется термическим уравнением состояния:

$$\rho = \rho(P, T),$$

краевыми условиями:

$$P(0, t) = P_0(t) = P_{00} - \Delta P_0, \; h(0, t) = h_0(t) = h_{00},$$

$$P(L, t) = P_L(t) = P_2 + \Delta P_1 \quad (\text{при } P_{11} = P_2 \quad \text{и} \quad u_{11} < a_{11}),$$

или

$$u_{11} = a_{11} \quad (\text{при } P_{11} > P_2),$$

соотношениями по гидросопротивлению канала и концевых элементов, по теплоотдаче, зависимостями для термодинамических и теплофизических свойств рабочего тела.

Состояние внешней среды задается управлениями в функции времени:

$$P_{00} = P_{00}(t),\ T_{00} = T_{00}(t),\ P_2 = P_2(t),\ K_0 = K_0(t),\ K_1 = K_1(t),\ q_н = q_н(z, t).$$

Здесь h – удельная энтальпия гелия, K_0, K_1 – коэффициенты сопротивления входного и выходного дросселей соответственно.

С математической точки зрения задача динамики течения гелия СКД в обогреваемом канале с известным набором замыкающих соотношений сведена к трем нелинейным уравнениям с нелинейными краевыми условиями и описывает эволюционный процесс движения сплошной среды в техническом объеме типа «трубопровод» (рис. 1).

Запишем систему дифференциальных уравнений в дивергентном виде относительно комплексов, зависящих от давления P , удельной энтальпии h, массового расхода m, и представим совместно с краевыми условиями в матричной форме.

Рассмотрим вариант записи краевых условий для квадратичного закона сопротивления выходного концевого элемента (рис. 1).

Дивергентная форма записи уравнений является необходимым условием обеспечения консервативности разностной схемы.

$$\text{Система уравнений} \rightarrow \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{\partial \Psi}{\partial z} = R; \quad \text{Граничные условия} \rightarrow \begin{matrix} W_0 \times V_0 = H_0 \\ W_1 \times V_1 = H_1 \end{matrix}; \quad \text{Аргументы} \rightarrow \begin{matrix} z \in [0,1] \\ t \in [0, \infty) \end{matrix}$$

$$\Phi = \begin{Vmatrix} \rho \\ \rho h + m^2/(2\rho) - P \\ m \end{Vmatrix}, \quad \Psi = \begin{Vmatrix} m \\ mh + m^3/(2\rho^2) \\ m^2/\rho + P \end{Vmatrix}, \quad R = \begin{Vmatrix} 0 \\ q_w - m \cdot dH/dz \\ -\Pi_г \tau_w - \rho \cdot dH/dz \end{Vmatrix},$$

$$W_0 = \begin{Vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{Vmatrix}, \quad V_0 = \begin{Vmatrix} P(0,t) & h(0,t) & m(0,t) \end{Vmatrix}, \quad H_0 = \begin{Vmatrix} P_{00}(t) - K_0 m_0^2/\rho_{00} \\ h_{00}(t) \end{Vmatrix},$$

$$W_1 = \begin{Vmatrix} 1 & 0 & 0 \end{Vmatrix}, \quad V_1 = \begin{Vmatrix} P(1,t) & h(1,t) & m(1,t) \end{Vmatrix}, \quad H_1 = \begin{Vmatrix} P_2(t) + K_1 m_L^2/\rho_1 \end{Vmatrix}.$$

Наиболее естественной аппроксимацией краевой задачи является двухточечная по координате разностная схема на сетке с трехточечным шаблоном. Разностные уравнения при этом имеют более простую структуру и требуют для решения наименьшее количество арифметических операций по сравнению с другими схемами. Устойчивость решения обеспечивается применением неявной разностной схемы с аппроксимацией пространственной производной против движения потока (рис. 2).

Начальные условия задачи:

$$P(z, 0) = P^{0}(z), \quad T(z, 0) = T^{0}(z), \quad m(z, 0) = m^{0}(z) = \text{const},$$

удобно определять методом установления [6].

Для решения нелинейной дискретной задачи на каждом шаге по времени организуется итерационный процесс, основанный на разложении в ряд Тейлора до линейного члена в окрестности решения, полученного в предшествующей итерации.

Далее линейная разностная задача решается несколько раз методом ортогональной прогонки [6] до тех пор, пока для всех искомых функций координаты и времени: давления $P(z,t)$, удельной энтальпии $h(z,t)$, и массового расхода $m(z,t)$ не выполнится требуемое условие точности.

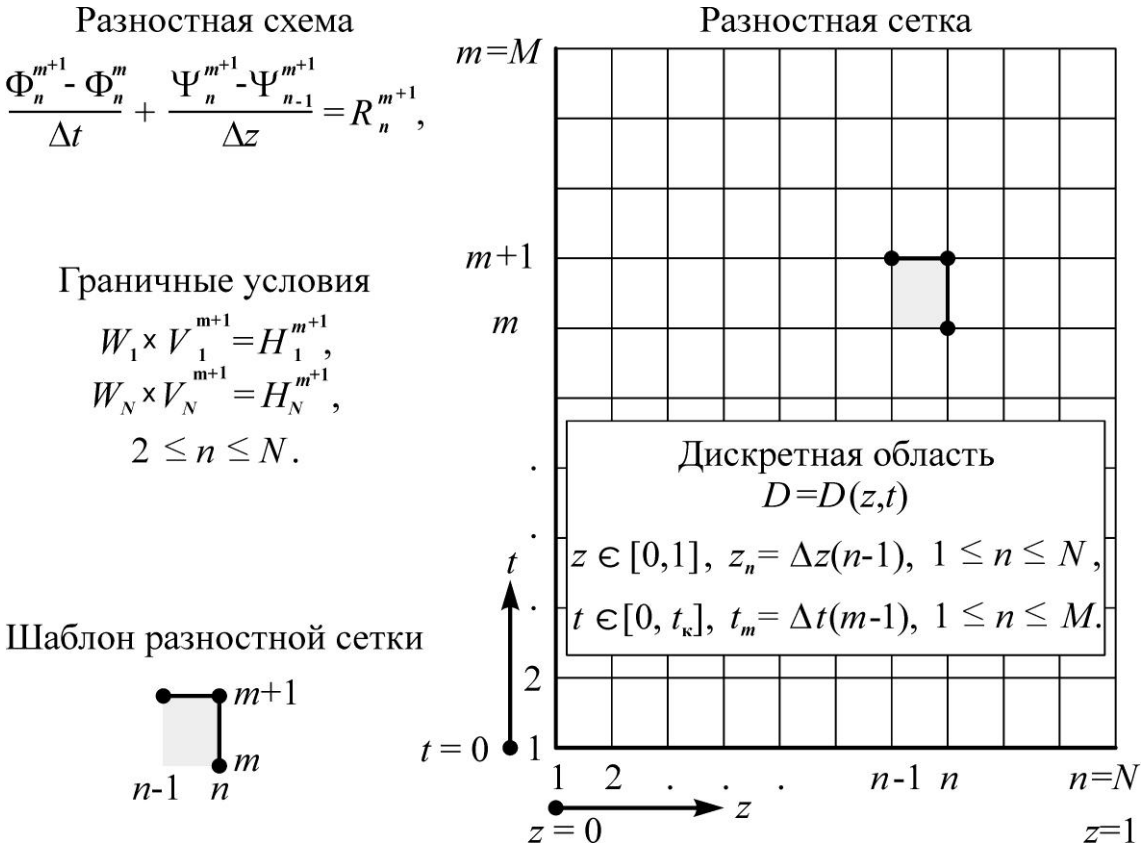


Рис. 2. Разностный аналог дифференциальной задачи

На рис. 3–6 представлены зависимости во времени соответственно температуры гелия на выходе из канала, давления гелия на входе в канал, гидросопротивлений концевых элементов, расхода гелия на входе и выходе канала с различным уровнем внешней тепловой нагрузки.

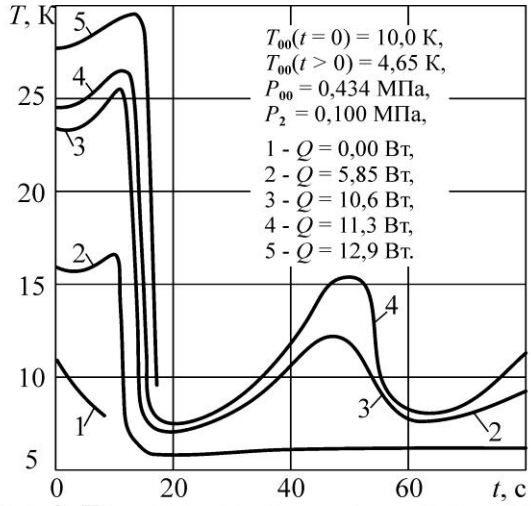


Рис. 3. Температура гелия на выходе из канала

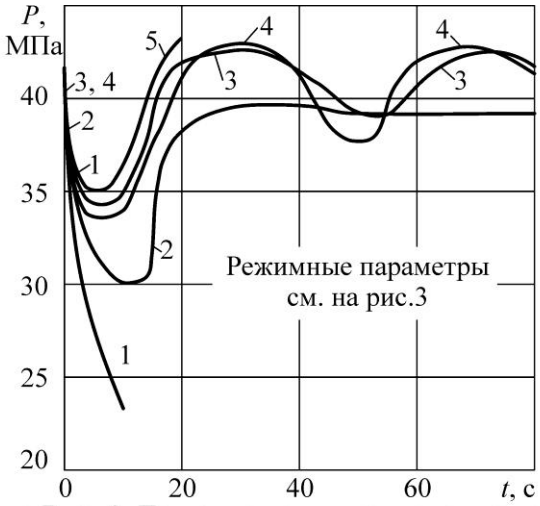
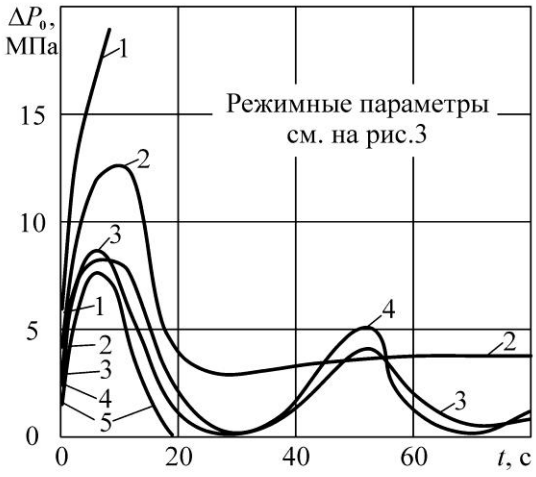
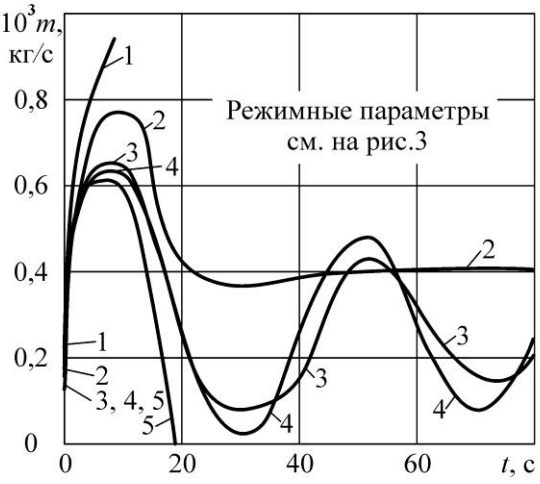


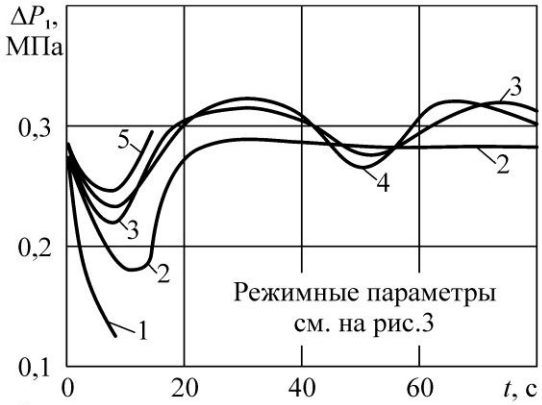
Рис. 4. Давление гелия на входе в канал



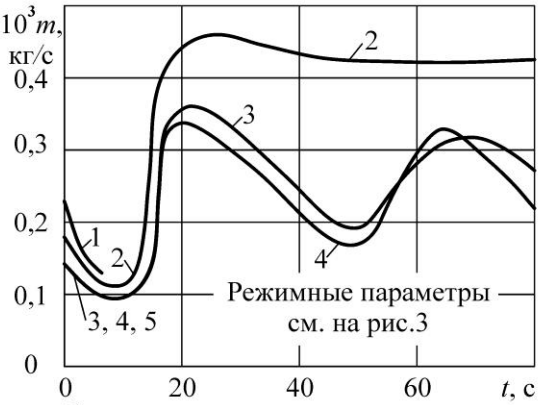
а - гидросопротивление входного дросселя



а - расход гелия на входе в канал



б - гидросопротивление выходного дросселя



б - расход гелия на выходе из канала

Рис. 5. Гидросопротивления концевых элементов на входе и выходе канала

Рис. 6. Массовый расход гелия на входе и выходе канала

Ступенчатое уменьшение температуры от 10 К до 4,65 К «отрабатывалось» в момент времени $t = 0$ с. До возмущения температуры все стационарные параметры системы соответствовали начальным условиям краевой задачи.

В зависимости от величины внешней нагрузки картина возбуждения колебаний существенно меняется.

При отсутствии нагрузки (кривая 1) первоначальное снижение давления может быть настолько сильным, что гелий становится докритическим.

При увеличении тепловой нагрузки и уменьшении расхода в период повышения давления в канале из-за псевдовскипания наблюдается опрокидывание потока (кривая 5).

При умеренных тепловых нагрузках (кривые 2, 3, 4) возмущенная система стремится к новому стационарному режиму, соответствующему известным краевым условиям.

Результаты расчетов при численном моделировании нестационарных процессов согласуются с оценкой ТГУ конечных стационарных режимов по уравнениям первого приближения.

При низких значениях тепловой нагрузки (кривая 2) канал апериодически выходит на новый устойчивый стационарный режим.

При повышении нагрузки наблюдается затухающий колебательный процесс, в котором время захолаживания канала может существенно превосходить наименьшее значение.

Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к автоколебаниям или к неустойчивости, вплоть до опрокидывания потока.

При захолаживании канала от более высоких температур, когда поток гелия плохо сжимаем и теплоемкость материала стенки соизмерима с теплоемкостью гелия, по данным расчетов происходит опрокидывание потока.

Таким образом, для обеспечения экономичной, рациональной работы криогенных систем необходимо организовать ступенчатый режим их захолаживания с постепенным снижением температуры канала до требуемого значения.

Библиографический список

1. Дейни, Д. Экспериментальное исследование термоиндуцированных колебаний в потоке гелия при сверхкритическом давлении / Д. Дейни, П. Ладтке, М. Джоунс // Теплопередача. – 1979. – № 1. – С. 7–15.

2. Лабунцов, Д.А. Устойчивость течения гелия сверхкритического давления при неравномерном распределении тепловой нагрузки по длине канала / Д.А. Лабунцов, П.А. Мирзоян // Теплоэнергетика. – 1986. – № 4. – С. 53–56.

3. Справочник по физико-техническим основам криогеники / М.П. Малков, И.Б. Данилов, А.Г. Зельдович и др.; под общ. ред. М.П. Малкова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 432 с.

4. Термодинамические свойства гелия / В.В. Сычев, А.А. Вассерман, А.Д. Козлов и др. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 319 с.

5. Богачев, В.А. Экспериментальное исследование термоиндуцированных колебаний и теплообмена при подъемном течении гелия сверхкритического давления в вертикальной трубе / В.А. Богачев, В.М. Ерошенко, Е.В. Кузнецов // Инж.-физ. ж. – 1986. – Т. 51. – № 5. – С. 719–722.

6. Горбачев, С.П. Численное моделирование динамических процессов в каналах энергетических установок с однофазным теплоносителем / С.П. Горбачев, Е.В. Вайчулис, А.В. Вайчулис, М.Н. Бочаров; Челябинский гос. техн. ун-т. – Челябинск, 1991. – 55 с. – Деп. в ВИНИТИ 14.03.91 №1121 – В 91.

К содержанию

УДК 531 + 378.14.015.62

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ СТУДЕНЧЕСКОГО НАУЧНОГО ОБЩЕСТВА «МЕХАНИК» КАФЕДРЫ ТМ И ОПМ ПО ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ К ОЛИМПИАДАМ В 2011/12–2014/15 УЧЕБНЫХ ГОДАХ

В.Г. Караваев, Ю.Г. Прядко, С.В. Слепова

В статье анализируются результаты работы группы преподавателей кафедры «Теоретическая механика и основы проектирования машин» ЮУрГУ по выявлению способных, ориентированных на творческую работу студентов, повышению качества подготовки будущих специалистов с помощью вовлечения их в олимпиадное движение на всех уровнях обучения.

Ключевые слова: качество подготовки специалистов, олимпиады, теоретическая механика, результаты выступлений команд университета.

Кафедра «Теоретическая механика и основы проектирования машин» прикладывает большие усилия к качественной подготовке будущих специалистов технических направлений. Начиная с дисциплины «Теоретическая механика» у студентов закладываются базовые общетеоретические знания и умения, необходимые при изучении других предметов общетехнического цикла и в профессиональной деятельности. Студенты знакомятся с абстрактными адекватными моделями, заменяющими встречающиеся на практике реальные системы, изучают и классифицируют методы стати-

ческого, кинематического и динамического анализа механических систем, пытаются выбирать и применять наиболее эффективные и рациональные методы к исследованию предложенных объектов.

Преподаватели кафедры целенаправленно занимаются отбором и расширенной подготовкой талантливых и заинтересованных студентов, стремящихся к самосовершенствованию. С начала 80-х годов прошлого столетия на кафедре функционирует студенческое научное общество (СНО) «Механик». Основные задачи СНО – развитие творческого нетрадиционного мышления студентов; углубление и расширение их знаний по основным и дополнительным разделам теоретической механики, теории машин и механизмов, деталей машин и основам конструирования; выполнение студентами научно-исследовательской работы под руководством преподавателей кафедры и выступление на научных студенческих конференциях различного уровня; подготовка к участию в олимпиадах.

Ежегодно в декабре и мае кафедра ТМ и ОПМ проводит олимпиаду «Прометей» по теоретической механике по двум программам: для студентов машиностроительных и строительных специальностей и для студентов не машиностроительных специальностей. На олимпиаду приглашаются студенты тринадцати факультетов университета, изучающих теоретическую механику в разном объеме (одно и двух семестровые курсы) в разных семестрах. При организации олимпиады и разработке заданий учитывается различный уровень подготовки учащихся.

Победители, призеры олимпиад и просто подающие надежды студенты приглашаются в СНО для более глубокого изучения предмета. Затем они вводятся в команду университета для участия в региональной, Всероссийской и Международной олимпиадах.

Для качественной подготовки студентов к олимпиадам проводятся дополнительные лекции по избранным темам: теория удара; колебания механических систем; кинематика и динамика сферического движения твердого тела; геометрия масс и др. На факультативных занятиях проводится разбор задач повышенной сложности, обсуждаются различные методы и наиболее рациональные способы их решения, возможные постановки проблем. Много времени и внимания уделяется индивидуальным консультациям студентов.

Систематическая активная работа преподавателей и студентов в рамках СНО «Механик» дает свои положительные результаты. Команда ЮУрГУ ежегодно участвует в Международной (г. Гомель, республика Беларусь), Всероссийской и региональной студенческих олимпиадах по теоретической механике и занимает призовые места. Олимпиады проходят в два этапа. Первый этап – теоретический конкурс: студенты в течение четырех часов традиционно решают восемь задач: две – по теме «Статика», две –

по кинематике и четыре задачи динамики. На втором этапе Международной олимпиады – в конкурсе «Брейн-ринг» командам из трех участников предлагается в течение одного часа решить тридцать задач: по десять задач из статики, кинематики и динамики. При подведении итогов учитываются только правильные ответы, каждый из которых оценивается в 1 балл. Второй этап Всероссийской и региональной олимпиад представляет собой компьютерный конкурс, в котором команда из двух человек составляет математическое описание задач механики, а затем выполняет ее численное моделирование на компьютере. При подведении итогов олимпиад выявляются победители в трех номинациях: командном первенстве, личном зачете и в компьютерном конкурсе или в «Брейн-ринге».

Основные достижения наших студентов за последние четыре учебных года представлены в таблицах 1, 2. На всех олимпиадах команда нашего университета занимала призовые места в командном первенстве, студенты показывали высокие результаты в личном зачете. На Международной олимпиаде в 2013 году Костандов М.В. разделил 1 место с двумя студентами – представителями МФТИ и Туркменского государственного университета (из 150 участников). Абсолютными победителями Всероссийской олимпиады становились студенты Костандов М.В. и Хабиров А.Ф., третье место занимал Рязанов А.В. Все они награждены премией Президента Российской Федерации.

Во Всероссийской олимпиаде в мае 2013 года в г. Новочеркасске приняли участие шесть студентов ЮУрГУ. В личном первенстве они заняли 1, 3, 4, 5, 6 и 9 места среди 46 участников (при этом три представителя нашей команды выступали вне конкурса). Высокие места завоевывают наши ребята в «Брейн-ринге». Наиболее сложным для команды является компьютерный конкурс, в котором для получения значений статических, кинематических или динамических характеристик необходимо с использованием численных методов разработать программу на одном из языков программирования высокого уровня, отладить ее, и провести необходимые расчеты.

Ежегодно студенты принимают участие в Открытой международной Интернет - олимпиаде по теоретической механике. Здесь также показаны высокие результаты. Награды в 2012 году: одна золотая, три серебряных, три бронзовых медали. В 2013 году: – одна золотая, три серебряных и две бронзовых медали; в 2014 году – одна серебряная, две бронзовых медали; в 2015 году – одна золотая, две серебряных, шесть бронзовых медалей.

Таблица 1

Результаты команды ЮУрГУ на Международных олимпиадах
(г. Гомель, республика Беларусь)

Учебный год	Состав команды	Награды			Количество участников	Количество команд	Страны
		Личный зачет	Командное первенство	Конкурс «Брейн-ринг»			
2011 /12	Костандов М.В. АС-320	4 место	Диплом II степени	Диплом II степени; грамота за 4 место	147	32	Беларусь, Польша, Россия, Туркмения, Украина, Ирак
	Рязанов А.В. МТ-327	6 место					
	Хабиров А.Ф. АС-236	8 место					
	Онучин Е.С. АК-310	11 место					
	Пузырев П.И. АС-236	15 место					
	Белошабский Е.И. Э-215	17 место					
2012 /13	Костандов М.В. АС-420	1 место	Диплом II степени	Грамоты за 5 и 7 места	150	32	Беларусь, Польша, Россия, Туркмения, Украина, Ирак
	Рязанов А.В. ФМ-427	7 место					
	Онучин Е.С. АК-410	7 место					
	Белошабский Е.И. Э-315	7 место					
	Пузырев П.И. АС-336	11 место					
	Хабиров А.Ф. АС-336	11 место					
	Сулейманов Р.М. АС-275	29 место					
2013 /14	Хабиров А.Ф. АС-436	Д. II ст.	Диплом III степени	Дипломы I и III степени; грамота за 5 место	148	34	Беларусь, Польша, Россия, Украина, Китай, Турция
	Пузырев П.И. АС-436	Д. III ст.					
	Сулейманов Р.М. АС-375	Д. III ст.					
	Пильник В.С. Э-325	Д. III ст.					
	Михайлов Е.А. АК-204	25 место					
2014 /15	Пильник В.С. Э-425	Д. III ст.	Диплом III степени	Два диплома III степени	126	30	Беларусь, Польша, Россия, Туркмения, Украина, Китай
	Сулейманов Р.М. АС-475	23 место					
	Панкова Е.К. АС-208	24 место					
	Михайлов Е.А. АК-304	25 место					
	Такиев Р.И. АС-203	32 место					
	Кучер М.И. АК-202	32 место					

Таблица 2

Результаты команды ЮУрГУ на Всероссийских и региональных олимпиадах

Учебный год	Состав команды	Награды на **Всероссийских** олимпиадах		Награды на **региональных** олимпиадах	
		Личный зачет	Команд. первенство	Личный зачет	Команд. первенство
2011 /12	Костандов М.В. АС-320	7 место	Диплом III степени	Олимпиада не проводилась	
	Рязанов А.В. МТ-327	10 место			
	Онучин Е.С. АК-310	12 место			
2012 /13	Костандов М.В. АС-420	Абсолютный победитель, награжден премией президента	Диплом I степени	Диплом I степ.	Диплом I степени
	Рязанов А.В. ФМ-427	3 место, диплом I степени, награжден премией президента		Победитель, диплом I степ.	
	Онучин Е.С. АК-410	Диплом II степени		Диплом I степ.	
	Хабиров А.Ф. АС-336	*Вне конкурса* (*в/к*)		Диплом II степ.	
	Белошабский Е.И. Э-315	(*в/к*)		Грамота IV степ.	
	Пузырев П.И. АС-336	(*в/к*)		Грамота IV степ.	
2013 /14	Хабиров А.Ф. АС-436	Абсолютный победитель, награжден премией президента	Диплом I степени	Победитель, диплом I степ.	Диплом I степени
	Пузырев П.И. АС-436	Диплом I степени		Диплом II степ.	
	Пильник В.С. Э-325	Диплом II степени		Грамота V степ.	
	Сулейманов Р.М. АС-375	Диплом II степени (*в/к*)		Диплом III степ.	
	Белошабский Е.И. Э-315	–	–	Грамота IV степ.	
	Михайлов Е.А. АК-204	–	–	Грамота IV степ.	
	Джакупова К.А. Э-245	–	–	(*в/к*)	
	Надтоко О.Н. МТ-271	–	–	(*в/к*)	
2014 /15	Пильник В.С. Э-425	Диплом II степени	Диплом III степени	Диплом I степ.	Диплом I степени
	Михайлов Е.А. АК-304	Диплом III степени		Диплом II степ.	
	Сулейманов Р.М. АС-475	Грамота IV степени		Грамота IV степ.	
	Ахтямов В.С. АС-389	Грамота IV степени (*в/к*)		Грамота IV степ.	

Выводы

В целом, наши студенты достойно представляют университет, проявляя себя с самой лучшей стороны. Они всегда находятся в поле зрения студентов и преподавателей других вузов, участвующих в конкурсах. Можно констатировать, что подготовка студентов по теоретической механике в ЮУрГУ проводится на одном уровне с лучшими вузами России: Московскими физико-техническим и высшим техническим им. Н.Э. Баумана, Пермским, Санкт-Петербургским, Уральским Федеральным, Томским, Новосибирским архитектурно-строительным, Уфимским нефтегазовым, Самарским авиационным и другими университетами.

Библиографический список

1. Прядко, Ю.Г. Об опыте работы с одаренными студентами / Ю.Г. Прядко, С.В. Слепова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 10 – С. 289–291. – URL: www.rae.ru/upfs/?section=content&op= how_ article& article_id=4183.

2. Прядко, Ю.Г. Общетехническая кафедра и ее роль в подготовке конкурентноспособных специалистов / Ю.Г. Прядко, С.В. Слепова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 11 – С. 161–163. – URL: www.rae.ru /upfs/?section=content&op=show_article&article_id=4480.

3. Pryadko U.G., Slepova S.V. Individual work with talented students // International Journal Of Applied And Fundamental Research. – 2013. – № 2. – URL: www.science-sd.com/455-24131.

К содержанию

УДК 531 + 378.14.015.62 + 378.02

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ КО ВСЕРОССИЙСКИМ И МЕЖДУНАРОДНЫМ ОЛИМПИАДАМ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ

В.Г. Караваев, Ю.Г. Прядко, С.В. Слепова

В статье рассматриваются принятые кафедрой теоретической механики и основ проектирования машин ЮУрГУ меры и способы решения задачи повышения творческого потенциала студентов, качества подготовки будущих специалистов с помощью вовлечения их в научную работу, в олимпиадное движение на всех уровнях обучения.

Ключевые слова: качество подготовки специалистов, олимпиады, теоретическая механика, результаты выступлений команды.

В связи с принятием новых концепций в Российской системе образования в технических вузах, увеличением числа часов для самостоятельной работы студентов последние годы постоянно сокращается время, отводимое на изучение многих общеобразовательных предметов, дающих фундаментальную и теоретическую подготовку.

Если к этому добавить довольно слабую школьную физико-математическую подготовку абитуриентов, то, как следствие, возникают предпосылки к снижению качества выпускаемых технических специалистов. Путей совершенствования учебного процесса известно много: от повышения требований к методической и научной работе преподавателя до полной электронизации учебного процесса, повышения доступности образовательного процесса на всем пути обучения и т.д.

В данной статье авторы касаются только одного из аспектов совершенствования обучения теоретической механики – студенческое научное общество (СНО) и привлечение лучших студентов к участию в олимпиадном движении.

Некоторые положительные результаты в развитии у студентов логического мышления, полезных практических навыков использования понятий теоретической механики для исследования сложных механических систем можно получить, привлекая наиболее способных студентов к участию в научных исследованиях, в предметных олимпиадах.

Кафедра «Теоретическая механика и основы проектирования машин» ЮУрГУ много лет (с 1985 года) готовит олимпиады и участвует в олимпиадах по теоретической механике разного уровня: региональных, всероссийских и международных. Накоплен опыт поиска одаренных студентов, подготовки успешных индивидуальных и командных выступлений [1]. Для подтверждения сказанного, можно утверждать, что все эти годы команды нашего университета находились среди сильнейших команд высших учебных заведений сначала в СССР, а затем – РФ и СНГ. Наши лучшие студенты показывали и показывают себя не только умными, знающими, но добрыми, толерантными людьми. В последние годы на олимпиадах по теоретической механике завоевывается от 10 до 20 медалей и призовых мест в личном и командном зачетах.

Надеемся, что наш опыт будет полезен и другим вузам России.

Прежде всего, отметим, что подготовка к участию в олимпиадах требует системного, непрерывного подхода. На кафедре ТМ и ОПМ ЮУрГУ создан кружок СНО «Механик». Членом кружка может быть по желанию любой студент. На младших курсах все преподаватели кафедры выделяют наиболее способных студентов и проводят с ними соответствующую агитационную работу, рекомендуя к участию в СНО. В результате набирается 15–20 членов кружка, среди которых есть студенты 1–4 курсов.

Составляется на текущий семестр программа работы кружка. Проводятся 2–3 раза в неделю семинары (занятия) кружка сначала раздельно для младших и старших курсов, потом совместно. Занятия организуются в режиме семинара-дискуссии в присутствии 2–3 опытных преподавателей.

Вначале преподаватели кратко излагают некоторые теоретические аспекты и специальные темы теоретической механики. Основное время занятий уделяется решению студентами задач у доски: начиная с простых, за-

канчивая неординарными, требующими особого подхода. Подробно анализируются несколько вариантов решения задач прошедших олимпиад разного уровня, прививаются навыки самостоятельных действий студентов в условиях ограниченного времени.

Деятельность преподавателей, ведущих занятия в кружке, весьма трудоемка и сравнима с ролью ведущих тренеров в каких-то видах спорта. Максимальный результат может быть достигнут только при соответствующем психологическом климате, базирующемся на сотворчестве студентов и преподавателей. За эти годы в этой работе участвовал многие преподаватели кафедры. Большой вклад в воспитание и подготовку студентов внесен преподавателями кафедры Пономаревым Сергеем Михайловичем, Щевелевой Марией Петровной.

В процессе обучения происходит естественный отсев членов кружка главным образом за счет студентов, не справляющихся с предлагаемой программой. Для контроля и выявления наиболее способных студентов и составления на их основе сборной ЮУрГУ в конце каждого учебного семестра проводятся университетские олимпиады по теоретической механике ЮУрГУ. В конкурсных заданиях предпочтение отдается решению задач, подготовленных методической комиссией кафедры. Несомненно, принципом должно быть создание оригинальных задач. Однако, учитывая низкий средний уровень физико-математической подготовки поступающих в ЮУрГУ абитуриентов, конкурсные задачи оставляются с минимумом математических операций для основных тем теоретической механики и могут быть решены типичными способами.

В осеннем семестре студентам предлагается программа в виде «Брейн-ринг», составленная из 12–15 сравнительно простых в решении задач на все основные разделы механики (статика, кинематика, динамика).

В весеннем семестре конкурсные задания предлагаются отдельно для односеместрового и двухсеместрового курсов обучения, для студентов односеместрового обучения задачи, естественно, проще. Каждое конкурсное задание содержит 1–2 оригинальных задачи, требующих для решения специальных подходов. К участию в олимпиадах допускаются все желающие студенты (до 100 человек в олимпиаде). На олимпиадах загружены все преподаватели кафедры. Непосредственно после окончания олимпиады Методическая комиссия подводит итоги, проводит апелляции, разбор решений конкурсных задач. Победители олимпиад награждаются дипломами, грамотами, материальными призами. Кроме этих олимпиад студенты участвуют в Интернет-олимпиадах.

При формировании сборной ЮУрГУ в первую очередь ставятся творческие качества студента, затем умение быстро анализировать, показывать стабильно хорошие результаты.

В дальнейшем студенты участвуют в региональных, всероссийских, международных олимпиадах, демонстрируя хорошие результаты. (См. статью в настоящем сборнике).

Выводы

Таким образом, высокий профессионализм преподавателей, разработанная на кафедре ТМ и ОПМ ЮУрГУ методика подготовки студентов к олимпиадам по теоретической механике позволяют обеспечить преемственность и стабильность результатов с повышением качества обучения и престижа университета.

Библиографический список

1. Караваев, В.Г. Анализ результатов работы студенческого научного общества «Механик» кафедры ТМ и ОПМ по подготовке студентов к олимпиадам в 2011/12–2014/15 учебных годах / В.Г. Караваев, Ю.Г. Прядко, С.В. Слепова // Наука ЮУрГУ Материалы 67-й научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015.

2. Прядко, Ю.Г. Об опыте работы с талантливыми студентами / Ю.Г. Прядко, С.В. Слепова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 10. – С. 289–291.

3. Pryadko U.G., Slepova S.V. Individual work with talented students // International Journal Of Applied And Fundamental Research. – 2013. – № 2. – URL: www.science-sd.com/455-24131.

К содержанию

УДК 531.3 + 531.5

КОЛЕБАНИЯ И «ПСЕВДО» РАВНОВЕСИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ТРОСАМИ

Ю.Г. Прядко, В.Г. Караваев

В статье анализируются динамические свойства механических систем с телами, висящими на нитях. В некоторых пространствах трос имеет либо постоянный угол отклонения от вертикали, либо колеблется около этого положения. Показан способ простого определения таких положений без решения нелинейных дифференциальных уравнений.

Ключевые слова: динамика тела; тросовые системы; маятник Максвелла; равновесие.

В ряде задач динамики при наличии в системе тел, висящих на нерастяжимых и невесомых нитях (тросах), необходим учет дополнительных степеней свободы, связанных с возможным отклонением нити от вертикали и наличием неудерживающих связей. Часто в этих случаях считается, что при достаточной длине нить вертикальна [1]. Анализ динамики таких систем показывает, что тела, висящие на нитях, могут в некоторых про-

странствах либо всегда находиться в положении, где нить имеет постоянный угол отклонения от вертикали, либо колебаться около этого положения. Такое поведение системы назовем «псевдо» равновесным, так как оно реализуется только для одной из обобщенных координат. Показаны способы простого определения этих положений разных систем без решения нелинейных дифференциальных уравнений.

Многолетний опыт подготовки студентов к участию в олимпиадах по теоретической, прикладной механике [2] убедил, что при построении моделей, или постановке физических задач зачастую проводится неточный анализ, связанный с игнорированием некоторых возможных качественных состояний объекта. Эти качественные свойства не всегда очевидны, так как возникают только в определенных областях параметров системы. Кроме того, в ряде случаев не учитывается влияние начальных условий на последующее поведение системы.

В данной работе анализируется динамика систем с двумя, тремя степенями свободы при наличии тел, висящих на нитях (тросах). На наш взгляд, не все свойства таких систем изучены и систематизированы.

Простейшими моделями систем такого рода могут быть известный всем маятник Максвелла (рис. 1), или 2 точки, связанные нитью, одна из которых может двигаться по гладкой поверхности (рис. 2 и 3) (эллиптический маятник).

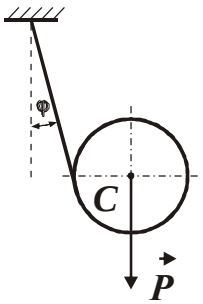


Рис. 1. Маятник Максвелла

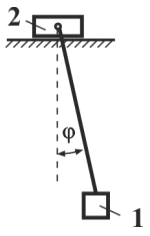


Рис. 2. Эллиптический маятник

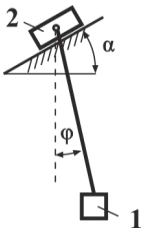


Рис. 3. Эллиптический маятник

Такого рода системы называют тросовыми. Одним из главных элементов всех тросовых систем чаще всего является, как бы, математический маятник (тяжелая материальная точка на нити или стержне, двигающаяся в вертикальной плоскости). Правда, в математическом маятнике точка крепления нити (подвеса) неподвижна, а в тросовых системах – движется.

При описании динамики этих систем можно пользоваться известными методами общей или аналитической механики, применяемыми в теории колебаний [3, 4, 5]. Это требует от исследователя выполнять все преобразования, связанные с составлением и решением дифференциальных уравнений.

Такой анализ, обладая полнотой, часто не позволяет простым путем получить точные качественные и количественные характеристики системы, которые для понимания поведения могут быть определяющими. К этим характеристикам относятся, прежде всего, возможные положения равновесия, устойчивость положений равновесия, собственные частоты.

Предварительный анализ одной из простейших систем, проведенный в работе [1], показал возможность существования «псевдо» равновесного положения системы, которое определяется без решения систем дифференциальных уравнений, чаще всего оказывающимися нелинейными.

Продемонстрируем некоторые свойства ряда достаточно распространенных систем с маятниками.

Прежде всего, опишем представленные выше системы известными методами и выделим качественные свойства, объединяющие анализируемые системы.

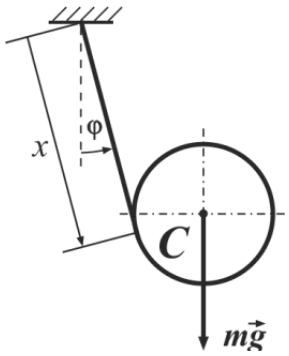


Рис. 4. Маятник Максвелла» с двумя степенями свободы

Пример 1. «Маятник Максвелла» с двумя степенями свободы

Проанализируем динамику маятника, представленного на рис. 4. При $\varphi = 0$, этот маятник является маятником Максвелла. Считаем известными массу и радиус маятника (однородного цилиндра). За обобщенные координаты принимаем угол поворота нити φ и длину нити x.

Начальные значения координат и их первых производных известны. Выражение для кинетической энергии маятника будет следующим:

$$T = \frac{m}{2}\left(\frac{3}{2}\dot{x}^2 + \frac{3}{2}\dot{\varphi}^2 R^2 - 3\dot{x}\dot{\varphi}R + x^2\dot{\varphi}^2 \right).$$

Обобщенные силы: $Q_x = mg\cos(\varphi)$; $Q_\varphi = -mg\left(x\sin(\varphi) + R\cos(\varphi)\right)$.

Дифференциальные уравнения движения маятника в виде уравнений Лагранжа II рода можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} a_{11}\ddot{x} + a_{12}\ddot{\varphi} &= b_1; \\ a_{21}\ddot{x} + a_{22}\ddot{\varphi} &= b_2, \end{aligned} \qquad (1)$$

где $a_{11} = \frac{3}{2}m$; $a_{12} = a_{21} = -\frac{3}{2}mR$; $a_{22} = m\left(x^2 + \frac{3}{2}R^2\right)$;

$b_1 = m\left(g\cos(\varphi) + x\dot{\varphi}^2\right)$; $b_2 = -m\left(gx\sin(\varphi) + R\cos(\varphi) - 2x\dot{x}\dot{\varphi}\right)$.

Уравнения интегрируются, например, в пакете MathCAD численным методом с использованием функции **Odesolve,** для чего система (1) разрешается относительно старших производных.

Представим результаты решения на рисунках 5 – 8:

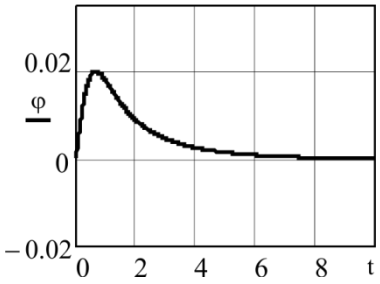


Рис. 5. Зависимость координаты φ от времени

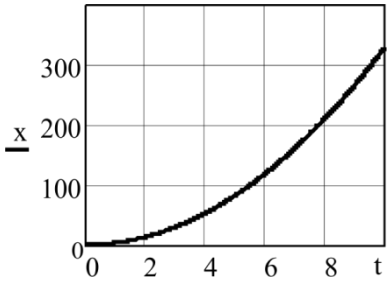


Рис. 6. Зависимость координаты x от времени

Такая задача была предъявлена студентам на компьютерном конкурсе Всероссийской олимпиады. В этом конкурсе студент ЮУрГУ занял III место.

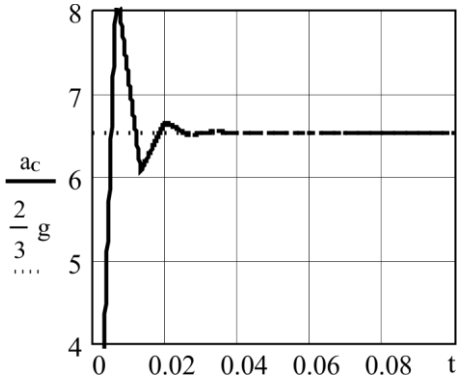


Рис. 7. Зависимость ускорения от времени

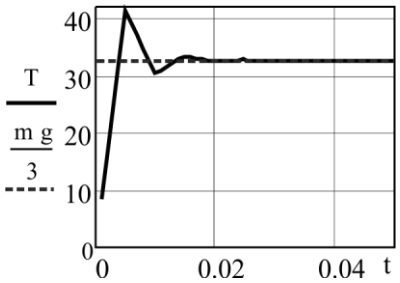


Рис. 8. Зависимость натяжения нити от времени

Как видно из рисунков 5–8, за короткое время длина нити становится достаточно большой, угол отклонения нити от вертикали – малым, а натяжение троса – близким значению для вертикальной нити.

Так, в примере 1 уже через несколько секунд с начала движения нить почти перестала отклоняться от вертикального положения, длина нити достигла нескольких сотен метров, натяжение троса и ускорение центра масс установились на известных для маятника Максвелла значениях: $mg/3$ и $2/3g$.

Такого рода результаты приводят к мысли, что при больших длинах – нить всегда вертикальна, а натяжение нити близко к натяжению нити маятника Максвелла.

Пример 2. Простой эллиптический маятник

Определить закон колебаний эллиптического маятника, состоящего из груза 1 (материальной точки) массы m_1, невесомого стержня длиной ℓ и ползуна 2 массы m_2, двигающегося по горизонтальной прямой (рис. 9.)

К ползуну приложена сила $\bar{Q} = \bar{i}\, H \sin pt$, где $H, p - const,$ $t -$ время, на стержень действует изменяющаяся по линейному закону диссипативная пара сила $\tilde{M} = -\mu\dot{\varphi}$ с коэффициентом $\mu = const > 0.$ Пусть, в начальный момент времени $t_0 = 0$ $\varphi = \varphi_0$ $\dot{\varphi} = 0.$ Трением пренебрегаем.

Решение

Рассмотрим движение механической системы, состоящей из материальной точки, ползуна и нити в пространстве Oxy основания (рис. 10). Положение системы, имеющей две степени свободы, будем определять обобщенными координатами: $q_1 = x$ и $q_2 = \varphi -$ углом отклонения нити от вертикали.

Составим уравнения Лагранжа второго рода.

Выражение для кинетической энергии системы:

$$T = \frac{m_1 + m_2}{2}\dot{x}^2 - m_1\ell\cos\varphi\cdot\dot{x}\dot{\varphi} + \frac{m_1\ell^2\dot{\varphi}^2}{2}. \qquad (2)$$

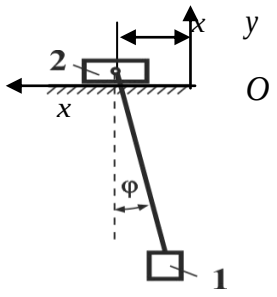


Рис. 9. Эллиптический маятник с ползунком, двигающимся по горизонтальной прямой

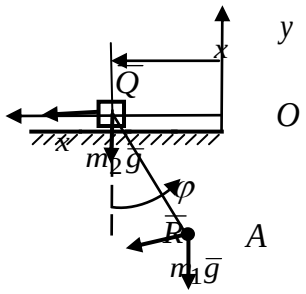


Рис. 10. Движение механической системы

Потенциальную энергию системы определим, принимая, что при $\varphi_0 = 0$ она равна нулю:

$$\Pi = m_1 g\ell(1 - \cos\varphi). \qquad (3)$$

Диссипативная функция Релея запишется:

$$\Phi = \frac{1}{2}\mu\dot{\varphi}^2. \qquad (4)$$

Опуская преобразования, получим нелинейные дифференциальные уравнения второго порядка, описывающие движение простого эллиптического маятника в виде (1),

где
$$a_{11} = m_1 + m_2;\ a_{12} = a_{21} = -m_1\ell\cos\phi;\ a_{22} = m_1\ell^2;$$
$$b_1 = H\sin pt - m_1\ell\sin\varphi\cdot\dot{\varphi}^2; b_2 = -m_1 g\ell\sin\varphi - \mu\dot{\varphi} - m_1\ell\sin\varphi\cdot\dot{\varphi}\dot{x}. \qquad (5)$$

Полученные результаты сравнивались с известными аналитическими решениями, найденными после линеаризации дифференциальных уравнений.

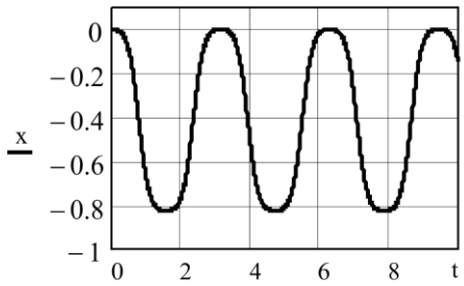


Рис. 11. Зависимость координаты φ от времени

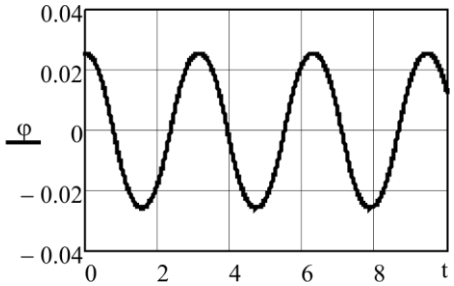


Рис. 12. Зависимость координаты φ от времени

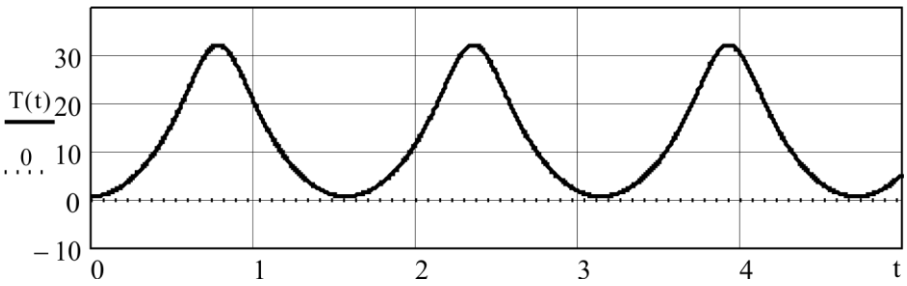


Рис. 13. Зависимость натяжения нити от времени

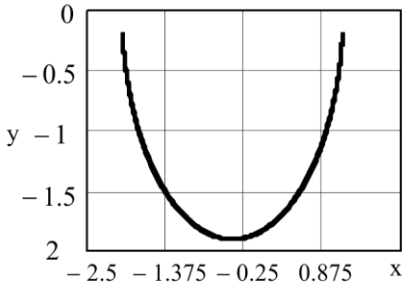


Рис. 14. Траектория точки

Дифференциальные уравнения, описывающие движение простого эллиптического маятника при отсутствии возмущающих и диссипативных сил, имеют вид (1):

$$\begin{aligned} a_{11}\ddot{x} + a_{12}\ddot{\varphi} = 0; \\ a_{21}\ddot{x} + a_{22}\ddot{\varphi} + c_{22}\varphi = 0, \end{aligned} \quad (6),$$

где $a_{11} = m_1 + m_2;\ a_{12} = a_{21} = -m_1\ell;$

$a_{22} = m_1\ell^2;\ c_{11} = c_{12} = c_{21} = 0; c_{22} = m_1 g\ell$.

В этом случае получаем отдельное дифференциальное уравнение для координаты φ:

$$\ddot{\varphi} + k^2\varphi = 0, \text{ где } \quad k = \sqrt{\frac{c_{22}}{a_{22} - \frac{a_{12}^2}{a_{11}}}} = \sqrt{\frac{(m_1 + m_2)g}{m_2\ell}} - \text{частота колебаний.} \quad (7)$$

С учетом начальных условий движения решение уравнения (7) запишется:

$$\varphi = \varphi_0 \cos kt + \frac{\dot{\varphi}_0}{k} \sin kt. \quad (8)$$

Таким образом, независимо от поведения координаты x, относительно вертикали угол φ будет меняться также, как у простого математического маятника.

Дифференциальное уравнение для координаты x:

$$\ddot{x} = \frac{a_{12}}{a_{11}}(\varphi_0 k^2 \cos kt + \dot{\varphi}_0 k \sin kt), \quad (9)$$

имеет решение:

$$x = -\frac{a_{12}}{a_{11}}(\varphi_0 \cos kt + \frac{\dot{\varphi}_0}{k} \sin kt) + (\dot{x}_0 + \frac{a_{12}}{a_{11}}\dot{\varphi}_0)t + x_0 + \frac{a_{12}}{a_{11}}\varphi_0. \quad (10)$$

Численные эксперименты показали:

1. В случае свободных колебаний ($H = 0, \mu = 0$) независимо от движения ползуна точка A периодически колеблется около вертикального положения, описывая эллиптическую траекторию. Ползун периодически колеблется около своего начального положения, если его начальная скорость равна нулю.

2. В случае наличия сопротивления среды ($\mu \neq 0$) наблюдается гашение колебаний.

3. В случае вынужденных колебаний ($H \neq 0$) при приближении к резонансу движение точки A становится беспорядочным.

4. Увеличение длины нити приводит к уменьшению частоты колебаний. При малых амплитудах колебания, круговая частота рассчитывается по формуле (7). При увеличении амплитуды колебаний частота снижается.

Пример 3.Эллиптический маятник с ползуном, скользящим по линии, наклоненной к горизонту

Определить закон колебаний эллиптического маятника, состоящего из груза 1 (материальной точки) массы m_1, невесомой нерастяжимой нити

длиной ℓ и ползуна 2 массы m_2, двигающегося по прямой, наклоненной к горизонту под углом α (рис. 15). Известно, что в начальный момент времени $t_0 = \mathbf{0}$ $\varphi = \varphi_0$ $\dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0$. Трением и сопротивлением среды пренебречь.

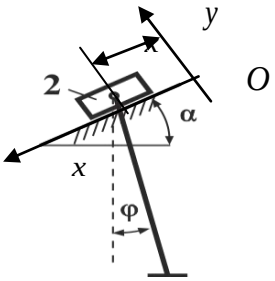


Рис. 15. Эллиптический маятник с ползуном, двигающимся по линии, наклоненной к горизонту

Решение

Положение системы, имеющей две степени свободы, будем определять обобщенными координатами: $q_1 = x$ и $q_2 = \varphi$ – углом отклонения нити от вертикали (рис. 15).

Выражение для кинетической энергии системы

$$T = \frac{m_1 + m_2}{2}\dot{x}^2 - m_1\ell\cos(\varphi - \alpha)\cdot\dot{x}\dot{\varphi} + m_1\ell^2\dot{\varphi}^2. \quad (12)$$

Потенциальную энергию системы определим, принимая, что при $\varphi_0 = 0$, $x_0 = 0$ она равна нулю:

$$\Pi = -(m_1 + m_2)g\sin\alpha + m_1 g\ell(1 - \cos\varphi). \quad (13)$$

Опуская преобразования, получим нелинейные дифференциальные уравнения второго порядка, описывающие свободные колебания эллиптического маятника с ползуном, скользящим по линии, наклоненной к горизонту, в виде (6),

где
$$a_{11} = m_1 + m_2;\ a_{12} = a_{21} = -m_1\ell\cos(\varphi - \alpha);\ a_{22} = m_1\ell^2;$$
$$b_1 = -m_1\ell\sin(\varphi - \alpha)\cdot\dot{\varphi}^2 + (m_1 + m_2)g\sin\alpha;\ b_2 = -m_1 g\ell\sin\varphi. \quad (14)$$

Результаты интегрирования показаны на рис. 16–19.

Можно сделать следующие выводы:

1. Угол отклонения нити от вертикали φ колеблется около значения, равного углу наклона поверхности к горизонту α.

2. Координата x после некоторых колебаний изменяется по закону равнопеременного движения с ускорением, равным $g\sin(\alpha)$.

3. Натяжение нити после нескольких значительных колебаний устанавливается около некоторого стационарного значения.

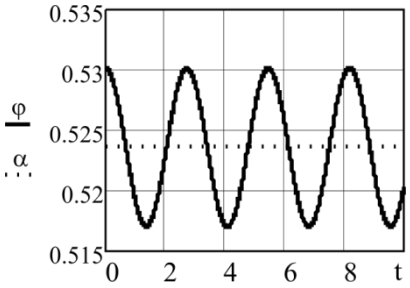


Рис. 16. Зависимость координаты φ

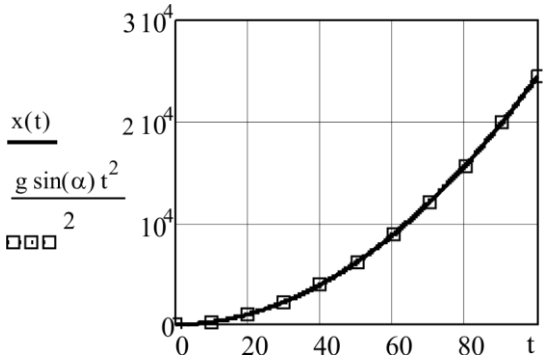


Рис. 17. Зависимость координаты x

4. В отличие от эллиптического маятника с ползуном на горизонтальной поверхности, в данном случае траектория точки разворачивается во времени, амплитуда колебаний постоянна, а период колебаний увеличивается.

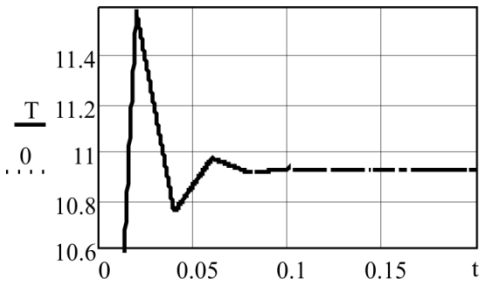


Рис. 18. Зависимость натяжения нити от времени

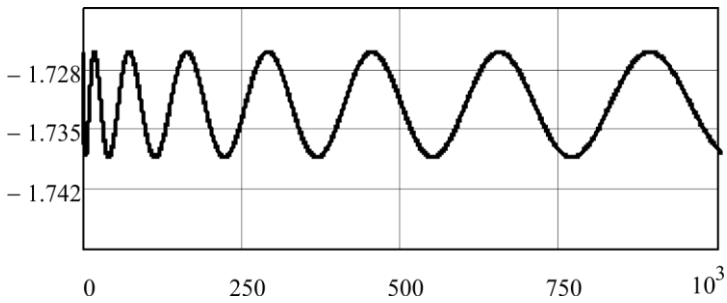


Рис. 19. Траектория точки

Выводы

Данные свойства эллиптического маятника, как, скорее всего, и других систем этого типа можно объяснить следующим образом:

1. Внешними силами для него являлись только силы тяжести, именно поэтому центр тяжести его либо неподвижен (на горизонтальной поверхности), либо движется равноускоренно (наклонная поверхность).

2. Вертикальное положение нити или угол наклона нити к вертикали не должны зависеть от ее длины из следующих соображений:

Если исследовать движение груза в неинерциальном пространстве Кенига, можно увидеть следующее (рис. 20):

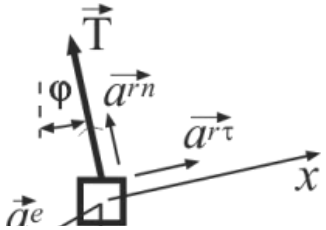


Рис. 20. Движение груза в неинерциальном пространстве Кенига

После проецирования уравнения относительного движения на ось, перпендикулярную нити, получим:

$$m_1 a^{r\tau} = m_1(-g\sin\varphi + a^e\cos(\alpha-\varphi)). \qquad (15)$$

Ускорение центра масс системы равно составляющей $\vec{g}$ вдоль наклонной плоскости ($a^e = g\sin\alpha$). Подставив это значение для переносного ускорения a^e в (16), при относительном тангенциальном ускорении $a^{r\tau} = 0$ получим $tg\alpha = tg\,\varphi$.

Маятник на наклонной плоскости в пространстве Кенига ведет себя аналогично маятнику на горизонтальной плоскости, где нить в положении равновесия перпендикулярна плоскости (вертикальна).

Библиографический список

1. Прядко, Ю.Г. О возможных ошибках при неполных решениях ряда известных задач механики / Ю.Г. Прядко, В.Г. Караваев // Наука ЮУрГУ. Материалы 66-й научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – С. 142–149.

2.Караваев, В.Г. Результаты работы СНО «Механик» на кафедре ТМ и ОПМ ЮУрГУ / В.Г. Караваев, Ю.Г. Прядко, С.В. Слепова // Наука ЮУрГУ. Материалы 67-й научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015.

3. Суслов, Г.К. Теоретическая механика / Г.К. Суслов. – М.-Л.: Гостехиздат, 1946. – 654 с.

4. Жуковский, Н.Е. Теоретическая механика / Н.Е. Жуковский. – М.-Л.: Гостехиздат, 1950. – 812 с.

5. Яблонский, А.А. Курс теории колебаний / А.А. Яблонский, С.С. Норейко. – М.: Высшая школа, 1966. – 255 с.

К содержанию

УДК 531.4

О ЗАДАЧЕ И СПОСОБАХ РАСЧЕТА РАВНОВЕСИЯ СТЕРЖНЯ ПРИ НАЛИЧИИ СУХОГО ТРЕНИЯ

Ю.Г. Прядко, Д.Б. Чернин

В статье из решения вариационной задачи на максимум момента распределенных элементарных сил трения доказывается существование одной точки пересечения всех перпендикуляров к этим силам. На основании чего определяется положение этой точки, анализируется зависимость от модуля и направления действующей на стержень произвольной силы.

Ключевые слова: сухое трение; равновесие стержня; вариационная задача.

Анализ равновесия и движения одного тела на плоскости имеет богатую историю. Достаточно широкий обзор этого вопроса приводится в работах [1, 2]. Известна задача Н.Е. Жуковского о равновесии скамьи на плоскости [3], где ставится та же задача, что и в этой статье, но скамья, моделью которой является однородный стержень, опиралась на плоскость двумя крайними точками. Как будет видно из нижеследующего, качественно полученные в нашей работе результаты совпадают с результатами работы [3]. Основная проблема, возникающая при рассмотрении равновесия тела на плоскости (поверхности) в том, что направление сил трения скольжения, приложенных к каждому элементарному участку опирающей-

ся поверхности при равновесии неизвестно. Причиной этому является принимаемая классическая гипотеза о том, что направление силы трения зависит от скорости точки.

$$\vec{F}_{mp}^{\,кр} = -\,f\,|N|\frac{\vec{V}}{V}; \qquad F_{mp} \le f\,|N|\,.$$

Это приводит к неопределенности в определении условий равновесия тела на плоскости. Кроме этого, при анализе движения тела в одном из дифференциальных уравнений в знаменателе возникает угловая скорость, начальное значение которой равно нулю ([1, с. 86]). Без определения положения будущего мгновенного центра скоростей (МЦС) в плоском движении проинтегрировать уравнения движения не удается.

Проанализируем следующую задачу.

Пусть стержень длиной $2L$ находится в равновесии на шероховатой плоскости. Коэффициент трения скольжения между стержнем и плоскостью равен μ. Поскольку любая плоская система сил заменяется одной силой, то можно считать, что к стержню приложена равнодействующая сила $\vec{R}$. Угол между силой $\vec{R}$ и осью Ox равен β (рис. 1). Найдем условия равновесия стержня, направление сил трения в зависимости от угла β и точки приложения силы $\vec{R}$.

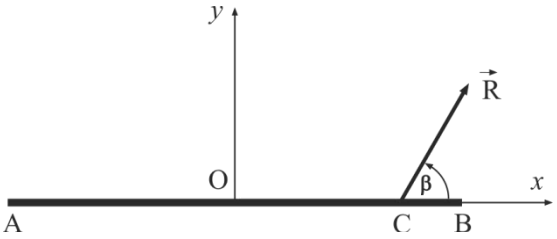


Рис. 1. Угол β

Необходимо отметить, что подобная задача, или близкая к поставленной задаче, исследуется многими авторами [4–6]. Во многих работах без доказательства считается, что в предельном равновесии существует точка, которая совпадает с МЦС в начале движения. В то же время координаты этой точки зачастую не определяются. Не исследуется зависимость параметров от силы $\vec{R}$.

Поставим задачу следующим образом: определим такую функцию $\alpha = \alpha(x)$, которая дает максимум сумме моментов элементарных сил трения относительно произвольной точки P с координатами x_P, y_P при известных проекциях равнодействующей $\vec{R}$ активных сил на оси Ox и Oy (рис. 2).

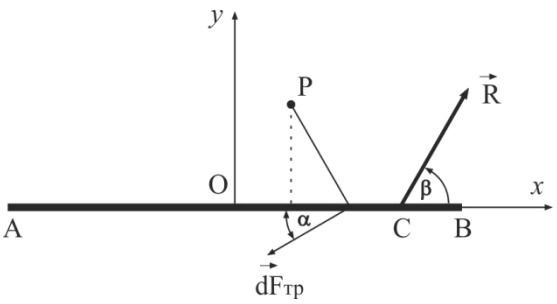


Рис. 2. Поставленная задача

Модуль элементарной силы трения равен $dF = \frac{\mu G}{2*L} dx = q\,dx$, а при неравномерной плотности материала $dF = q_x\,dx$. Здесь $q_x = q(x)$ – зависимость интенсивности давления на плоскость от координаты x.

Проекции этой силы $d\vec{F}$ на оси Ox и Oy определятся равенствами:

$$dF_x = \mu q \cos(\alpha(x))dx; \qquad dF_y = \mu q \sin(\alpha(x))dx \tag{1}$$

Здесь:

$$\cos\alpha = \frac{y_P}{\sqrt{(x - x_P)^2 + {y_P}^2}},\ \sin\alpha = \frac{x - x_P}{\sqrt{(x - x_P)^2 + {y_P}^2}} \tag{2}$$

Момент элементарной силы трения относительно точки с координатами x, y $dM_{mp} = xq\sin(\alpha)dx + yq\cos(\alpha)dx$.

Суммарный момент сил трения относительно начала системы координат равен:

$$M_{mp_O} = \int_{-L}^{L} \mu q x \sin(\alpha)dx. \tag{3}$$

Необходимо заметить, что максимум (3) при наличии равенств (4, 5) необходимо приводит к максимуму суммарного момента сил трения относительно произвольного центра M_{mp_P}, так как они отличаются на постоянную величину:

$$M_{mp_P} = M_{mp_O} - R_x y_P + R_y x_P.$$

Поэтому найдем функцию $\alpha = \alpha(x)$, которая дает максимум сумме моментов элементарных сил трения относительно начала системы координат (3) при известных проекциях равнодействующей $\vec{R}$ активных сил на оси Ox и Oy.

Таким образом, поставлена изопериметрическая задача вариационного исчисления на максимум функционала (3) при следующих ограничениях:

$$\int_{-L}^{L} dF_x = \int_{-L}^{L} \mu \cos\alpha(x) q dx = R\cos\beta; \quad (4)$$

$$\int_{-L}^{L} dF_y = \int_{-L}^{L} \mu \sin\alpha(x) q dx = R\sin(\beta). \quad (5)$$

По методике Лагранжа это приводит к исследованию на экстремум функционала:

$$\Phi_{i(\alpha)} = \int_{-L}^{L} \left(x\sin(\alpha) + \lambda_1 \sin(\alpha) + \lambda_2 \cos(\alpha) \right) dx.$$

Уравнения Лагранжа, решающие поставленную задачу, будут такими:

$$\frac{d}{dx}\left(\frac{\partial \Phi_{i(\alpha)}}{\partial \dot{\alpha}} \right) - \frac{\partial \Phi_{i(\alpha)}}{\partial \alpha} = 0, \text{ или } \frac{\partial \Phi_{i(\alpha)}}{\partial \alpha} = 0, \text{ так как } \frac{\partial \Phi_{i(\alpha)}}{\partial \dot{\alpha}} = 0.$$

Получим:

$$x\cos(\alpha^*) + \lambda_1 \cos(\alpha^*) - \lambda_2 \sin(\alpha^*) = 0,$$

или

$$tg(\alpha^*) = \frac{x + \lambda_1}{\lambda_2} \quad (6).$$

Равенство (6) говорит о том, что экстремальная функция $\alpha^* = \alpha^*(x)$ такова, что все перпендикуляры к элементарным силам трения пересекаются в одной точке. Множители Лагранжа λ_1 и λ_2 определяют координаты этой точки.

Итак, доказано, что в предельном равновесии существует некоторая точка P, для которой, все отрезки, соединяющие ее с точкой на стержне, перпендикулярны силам трения (рис. 3).

В (6) λ_1 равно $-x_P$, $\lambda_2 = y_P$.

Зная проекции силы $\vec{R}$ на оси координат, из двух уравнений проекций сил, действующих на стержень, можно найти координаты точки P.

Составим эти уравнения:

$$\int_{-L}^{L} \mu q \sin(\alpha^*) dx = R\sin(\beta); \qquad \int_{-L}^{L} \mu q \cos(\alpha^*) dx = R\cos(\beta) \quad (7)$$

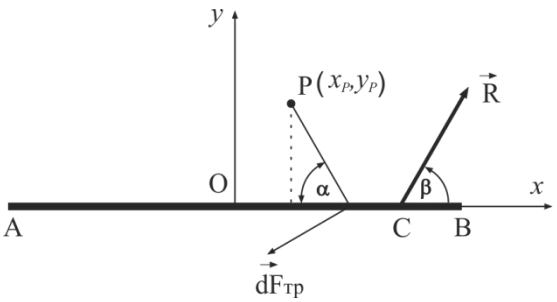


Рис. 3. Точка P

Или см. (2):

$$\int_{-L}^{L} \mu q \frac{x - x_P}{\sqrt{(x - x_P)^2 + y_P{}^2}} dx = R\sin(\beta); \int_{-L}^{L} \mu q \frac{y_P}{\sqrt{(x - x_P)^2 + y_P{}^2}} dx = R\cos(\beta); \quad (8)$$

$$\int_{-L}^{L} \mu q \frac{x - x_P}{\sqrt{(x - x_P)^2 + y_P{}^2}} dx = \mu q \left[\sqrt{(L - x_P)^2 + y_P{}^2} - \sqrt{(L + -x_P)^2 + y_P{}^2} \right]; \quad (9).$$

$$\int_{-L}^{L} \mu q \frac{y_P}{\sqrt{(x - x_P)^2 + y_P{}^2}} dx = \mu q y_P \ln \left[\frac{L - x_P + \sqrt{(L - x_P)^2 + y_P{}^2}}{-L - x_P + \sqrt{(L + x_P)^2 + y_P{}^2}} \right]. \quad (10)$$

Подставляя (9) и (10) в (8), имеем систему уравнений:

$$\mu q \left[\sqrt{(L - x_P)^2 + y_P{}^2} - \sqrt{(L + -x_P)^2 + y_P{}^2} \right] = R\sin(\beta); \quad (11)$$

$$\mu q\, y_P \ln \left[\frac{L - x_P + \sqrt{(L - x_P)^2 + y_P{}^2}}{-L - x_P + \sqrt{(L + x_P)^2 + y_P{}^2}} \right] = R\cos(\beta). \quad (12)$$

Результаты решения системы трансцендентных уравнений (11, 12) относительно координат точки P показаны на рис. 4–5:

Зависимость ординаты точки P от ее абсциссы при всех углах β и разных значениях модуля силы $\vec{R}$. $\frac{R}{2Lq} = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.$

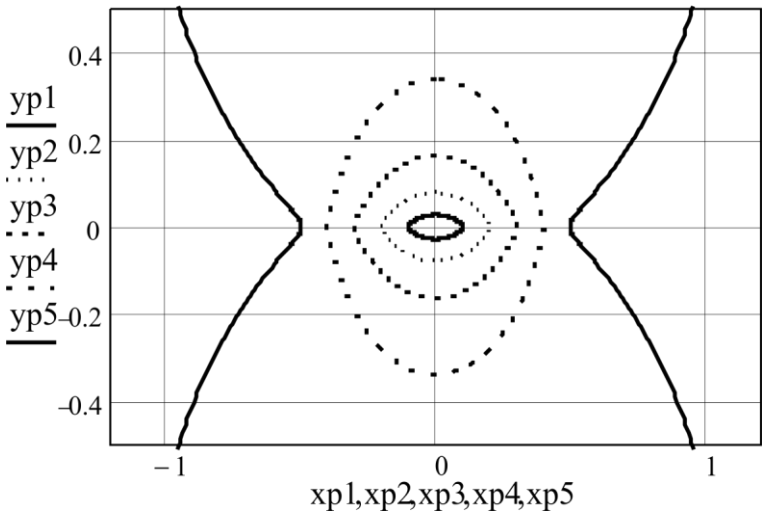


Рис. 4. Результаты решения системы трансцендентных уравнений относительно координат точки P

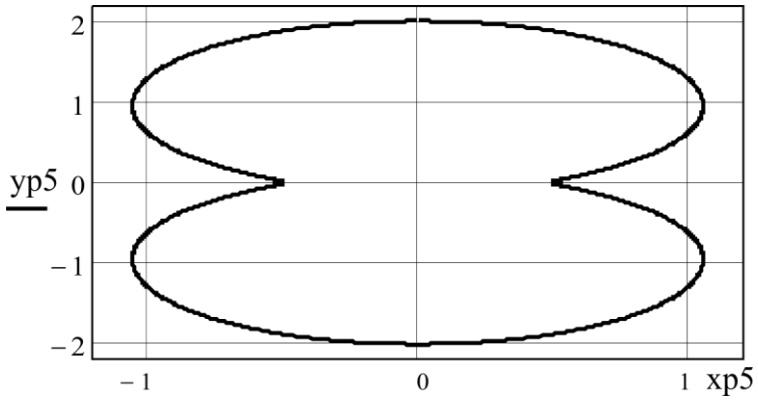


Рис. 5. Результаты решения системы трансцендентных уравнений относительно координат точки P

Выводы

1. Полученные результаты доказывают возможность использования понятия МЦС при оценке условий равновесия стержня на шероховатой плоскости. В то же время, необходимо доказать то же самое для любых одномерных и двумерных фигур.

2. Неоднородность стержня качественно не влияет на полученные результаты.

3. Поведение точки пересечения перпендикуляров к силам трения при изменении угла β, (рис. 5), качественно близко к решению задачи в [3].

Библиографический список

1. Розенблат, Г.М. Динамические системы с трением / Г.М. Розенблат. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. – 156 с.

2. Розенблат, Г.М. Сухое трение и односторонние связи в механике твердого тела: дис. … д-ра физ.-мат. наук / Г.М. Розенблат. – М., 2011. – 250 с.

3. Жуковский, Н.Е. Условие равновесия твердого тела, опирающегося на неподвижную плоскость некоторой площадкой и могущего перемещаться вдоль этой плоскости с трением / Н.Е. Жуковский // Собрание сочинений. Т. 1. – М.-Л.: Гостехтеориздат, 1949. – С. 339–354.

К содержанию

УДК 621.81.001.2

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ЧТЕНИИ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА «ДЕТАЛИ МАШИН И ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ»

Е.П. Устиновский, Е.В. Вайчулис

В условиях реструктуризации учебного процесса в Южно-Уральском государственном университете на кафедре «Теоретическая механика и основы проектирования машин» основной упор направлен на интенсификацию проведения аудиторных занятий, в том числе, при чтении лекционного курса «Детали машин и основы конструирования». Лекции читаются в специализированной аудитории, оборудованной IBM-совместимым компьютером с электронной доской, с демонстрацией электронных плакатов на экране, что существенно увеличивает интенсивность и повышает качество представления материала.

Ключевые слова: учебный процесс, компьютерные технологии в образовании, детали машин, электронные плакаты.

Одной из важнейших проблем современной дидактики является оптимизация процесса обучения, под которой понимают выбор такой методики его проведения, которая позволяет получить наилучшие результаты при минимально необходимых затратах времени и усилий педагога и учащегося. Оптимизация процесса обучения неизбежно затрагивает все разделы современной дидактики: содержание образования, дидактические принципы, методы и формы обучения, межпредметные связи и др.

Большое внимание в современной дидактике уделяется проблеме интенсификации обучения, под которой обычно понимают усиление, повышение напряженности, производительности, действенности труда.

Степень интенсификации учебных занятий во многом зависит от педагогического мастерства преподавателя, уровня подготовки студентов, наличия необходимого оборудования, чередования различных приемов обучения и др. Рациональное использование технических средств, наглядность, наличие дидактических материалов для самостоятельной работы позволяют сократить время на вспомогательные операции и рационально использовать его для глубокого усвоения знаний, осмысления и выполнения творческих заданий, вызывающих у студентов интерес, чувство интеллектуального удовлетворения от выполненной работы.

Использование компьютерных технологий в учебном процессе оказывает значительную помощь в решении указанных проблем.

На кафедре «Теоретическая механика и основы проектирования машин» (ТМ и ОПМ) Южно-Уральского государственного университета ши-

роко применяются компьютерные технологии обучения и преподавания дисциплины «Детали машин и основы конструирования». Компьютерные технологии в учебном процессе охватывают все виды учебной деятельности:

– лекционный курс;
– практические аудиторные занятия;
– лабораторные занятия с использованием элементов АСНИ;
– использование контролирующе-обучающих комплексов;
– самостоятельная работа студентов при выполнении семестровых заданий и в курсовом проектировании;
– внедрение элементов САПР в курсовом проектировании.

В условиях реструктуризации учебного процесса основной упор направлен на самостоятельную работу студентов и интенсификацию проведения аудиторных занятий. В этом аспекте кафедрой «Теоретическая механика и основы проектирования машин» написан текст лекций «Детали машин и основы конструирования», выпущенный как на твердом носителе [1], так и в электронном варианте, а также по заказу НПИ «Учебная техника и технологии» разработан комплект демонстрационных материалов по курсу «Детали машин и основы конструирования», охватывающие основные разделы курса:

– критерии работоспособности и расчета деталей машин;
– передачи;
– валы и оси;
– опоры валов и осей;
– соединения;
– муфты;
– пружины.

Приведены конструкции деталей и узлов, основные конструктивные зависимости, схемы редукторов, рабочие чертежи ряда деталей общего назначения, расчетные методики, сравнительный анализ и классификация узлов и деталей машин.

На первом этапе комплект был выполнен в виде альбома на цветных прозрачных пленках (кодотранспаранты) стандартного формата А4 [2]. Кодотранспаранты предназначены для демонстрации с помощью проекционного аппарата основных разделов курса «Основы конструирования и детали машин»: учебно-методическое обеспечение лекционного курса, практических и лабораторных занятий, разработка рабочих чертежей.

На указанный комплект в 2003 г. получен гриф УМО по университетскому политехническому образованию.

Дальнейшим развитием интенсификации при чтении лекционного материала явилась разработка на базе кодотранспарантов электронных цветных плакатов [3].

Комплект электронных плакатов включает 200 слайдов, содержащих конструкции деталей и узлов, чертежи, схемы, таблицы по курсу «Детали машин и основы конструирования». Программная оболочка имеет содержание, позволяющее выбрать слайд по заданной теме.

На комплект электронных плакатов в 2010 г. получена рецензия МГТУ в редакции *««Рекомендовано Государственным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана» в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по машиностроительным направлениям подготовки и специальностям».*

Получено Свидетельство о регистрации базы данных № 2011620170 *Учебное пособие. Комплект электронных плакатов «Детали машин и основы конструирования» Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам* от 28.02.2011 г.

Текст лекций выпущен с грифом УМО по университетскому политехническому образованию.

Лекции читаются в специализированной аудитории, оборудованной IBM-совместимым компьютером с электронной доской или кодоскопом, с демонстрацией рисунков на экране, что существенно увеличивает интенсивность и повышает качество представления материала.

Комплект электронных плакатов содержится на электронном носителе, а также по заказу потребителя на базе электронных плакатов может быть выпущен альбом цветных иллюстрационных материалов на прозрачном носителе (кодотранспаранты). Комплект апробирован и внедрен в учебный процесс Южно-Уральского государственного университета, Пермского государственного технического университета, Московского агроинженерного университета, Уфимского агроинженерного университета, Иркутского института железнодорожного транспорта, Норильского индустриального института, рекламируется в сети «Интернет».

Библиографический список

1. Устиновский, Е.П. Детали машин и основы конструирования: Текст лекций / Е.П. Устиновский, Ю.А. Шевцов, Е.В. Вайчулис; Под ред. Е.П. Устиновского. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010. – 275 с.

2. Детали машин и основы конструирования: Комплект иллюстрационных материалов (фолий) / Е.П. Устиновский, Е.В. Вайчулис, В.П. Ерофеев, В.П. Сычев; Под ред. Е.П. Устиновского. – Челябинск: ЮУрГУ, НПИ «Учебная техника и технологии», 2003. – 200 с.

3. Детали машин и основы конструирования: Комплект электронных плакатов на магнитном носителе / Е.П. Устиновский, Е.В. Вайчулис, В.П. Ерофеев, В.П. Сычев; Под ред. Е.П. Устиновского. – Челябинск: ЮУрГУ, НПИ «Учебная техника и технологии», 2010. – 200 с.

К содержанию

УДК 629.762 + 533.6.011.5 + 519.6

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАКЕТЫ С УЧЕТОМ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ МИНОМЕТНОМ СТАРТЕ

Р.А. Пешков

В данной статье разработана методика расчета проектных параметров ракеты с учетом процессов теплообмена при минометном старте ракеты. Разработка методики включала в себя выбор физической и математической моделей газодинамических процессов в пусковом контейнере, позволяющих получать устойчивое и сходящиеся решение. Оценка сходимости решения осуществлялась с использование уровней невязок. В ходе численного моделирования проведена количественная оценка влияния учета процессов теплообмена при заданных параметрах теплозащитного покрытия на скорость и время выхода ракеты из пускового контейнера.

Ключевые слова: ракета, методика, проектные параметры, минометный старт.

Основным параметром, определяющим скорость ракеты на контейнерном участке, прочность узлов ракеты и пускового контейнера при минометном старте, является давление газов в подракетном объеме, которое в свою очередь зависит от множества факторов: геометрических параметров, начального подракетного объема, схемы подачи пороховых газов в подракетный объем, газодинамических параметров продуктов сгорания, параметров теплозащитного покрытия. Исследование влияния данных факторов на термогазодинамические процессы в начальном подракетном объеме должны проводиться на этапе эскизного проектирования пусковой установке, до изготовления натурных узлов, либо при частичной готовности некоторых узлов и элементов ракеты и пускового контейнера. Таким образом, возникает необходимость создания расчетных методик для определения газодинамических параметров в подракетном объеме. Несмотря на большое количество отечественных и зарубежных исследований в области моделирования газодинамики старта ракеты из пускового контейнера актуальными остаются вопросы определения влияния процессов теплообмена на изменение давления и температуры в нем.

С целью оценки влияния учета процессов теплообмена на динамику движения ракеты в контейнере разработана методика численного моделирования газодинамических процессов в пусковой установки.

В рамках численного эксперимента принимались следующие допущения и упрощения:

– моделирование проводится в осесимметричной постановке. Рассматривалось лишь линейное смещение корпуса ракеты как жесткого тела;

– при построении геометрической модели ракеты, шахты и ТПК опускаются все геометрические особенности;

– газовый поток рассматривался однофазным;

– рабочее вещество представляет собой идеальный газ;

– принята k-ε модель турбулентности;

– стенки конструкции непроницаемые;

– шероховатость стенок конструкции не учитывалась;

– не учитывались процессы рекомбинации и диссоциации, возникающие в результаты взаимодействия продуктов сгорания твердого топлива с воздухом.

В целом математическая модель расчета аналогична модели, описанной в статье [1], однако имеет свои особенности, связанные, прежде всего с заданием начальных и граничных условий, выборе сеточной модели и учетом процессов теплообмена.

В качестве начальных условий принимается давление и температура газов в подракетном пространстве. В качестве граничных условий на выходе из порохового аккумулятора давления: массовый секундный расход, температура и давление. Граничные условия, зависящие от времени задаются с помощью специальных пользовательских функций. В качестве граничных условий на стенке задается скорость – условие непроницаемости и начальная температура стенки. Параметры на выходной границе (температура и давление) задаются равными параметрам окружающей среды.

При решении задачи теплообмена коэффициент теплообмена вычисляется по формуле:

$$h_{eff} = \frac{\rho c_p C_\mu^{1/4} k_p^{1/2}}{T^*},$$

где c_p – удельная теплоемкость газа; k_P – турбулентная кинетическая энергия в первом пристеночном узле P; T^* – безразмерная температура:

$$T^* = \frac{(T_w - T_P)\rho c_p C_\mu^{1/4} k_p^{1/2}}{q} = \begin{cases} \Pr y^* \dfrac{1}{2}\rho \Pr \dfrac{C_\mu^{1/4} k_P^{1/2}}{q} U_P^2; \left(y^* < y_T^*\right) \\ \Pr_t \left[\dfrac{1}{k}\ln\left(Ey^*\right) + P\right] + \dfrac{1}{2}\rho \dfrac{C_\mu^{1/4} k_P^{1/2}}{q} \cdot \\ \cdot \left\{\Pr_t U_P^2 + \left(\Pr - \Pr_t\right) U_c^2\right\}; \left(y^* > y_T^*\right) \end{cases}$$

где P вычисляется, используя формулу, представленную *Jayatilleke* [2] (для гладкой стенки):

$$P = 9,24\left[\left(\frac{\mathrm{Pr}}{\mathrm{Pr}_t}\right)^{3/4} - 1\right]\left[1 + 0,28e^{-0,007\,\mathrm{Pr}/\mathrm{Pr}_t}\right],$$

где k_P – турбулентная кинетическая энергия в первом пристеночном узле P; ρ – плотность газа; c_p – удельная теплоемкость газа; q – тепловой поток; T_P – температура в первом пристеночном узле P; T_w – температура на стенке; Pr – молекулярное число Прандтля $\left(\mu c_p / k_f\right)$; Pr_t – турбулентное число Прандтля (0,85 на стенке); A – константа Ван Дриста (26); U_c – средняя величина скорости (при $y^* = y_T^*$); E – эмпирическая константа (9,793); k – константа фон Кармана (0,4187); U_P – средняя скорость газа вблизи пристеночного узла P; y_P – дистанция от точки P до стенки; μ – коэффициент динамической вязкости; $y^* = \dfrac{\rho C_\mu^{1/4} k_p^{1/2} y_p}{\mu}$ – безразмерное расстояние от стенки; y_T^* – безразмерная толщина теплового подслоя; $C_\mu = 0,09$ – безразмерный коэффициент для *k-ε* модели турбулентности.

Параметры движения ракеты определяются с помощью встроенного решателя 6*DOF*, при этом массовые, инерционные и дополнительные силовые характеристики задаются также с помощью пользовательской функции [2].

На основании имеющейся геометрии (рис. 1а) строится конечно-элементная, двумерная сеточная модель, симметричная относительно оси ракеты. Подобная постановка задачи позволяет использовать гексаэдрическую расчетную сетку. Использование тетраэдической сетки так же возможно, но потребует для получения сравнимых по точности результатов большего количества элементов. В зависимости от типа сетки и геометрии расчетной модели выбирается способ перестроения сетки при движении ракеты. Для гексаэдричекой сетки доступен только метод перестроения *Layering* (наслоение). При данном методе вместе с телом движется вся расчетная сетка, а ячейки добавляются и уничтожаются только на заданных статических границах.

После выбора метода перестроения задаются параметры границ подобласти с подвижной сеткой (рис. 1б). Подвижными задаются условия стенки для днища поддона и массив ячеек сетки. Границы, на которых происходит возникновение элементов – границы, связывающие две области: область вблизи поддона ракеты и область вблизи днища контейнера. Размеры вновь образующихся элементов (высоту ячейки), необходимо задавать в диапазоне от 0,0001 до 0,005 м., с целью обеспечения устойчивости счета, а именно уменьшению расходимости в решении системы алгебраических уравнений, используя многосеточный метод.

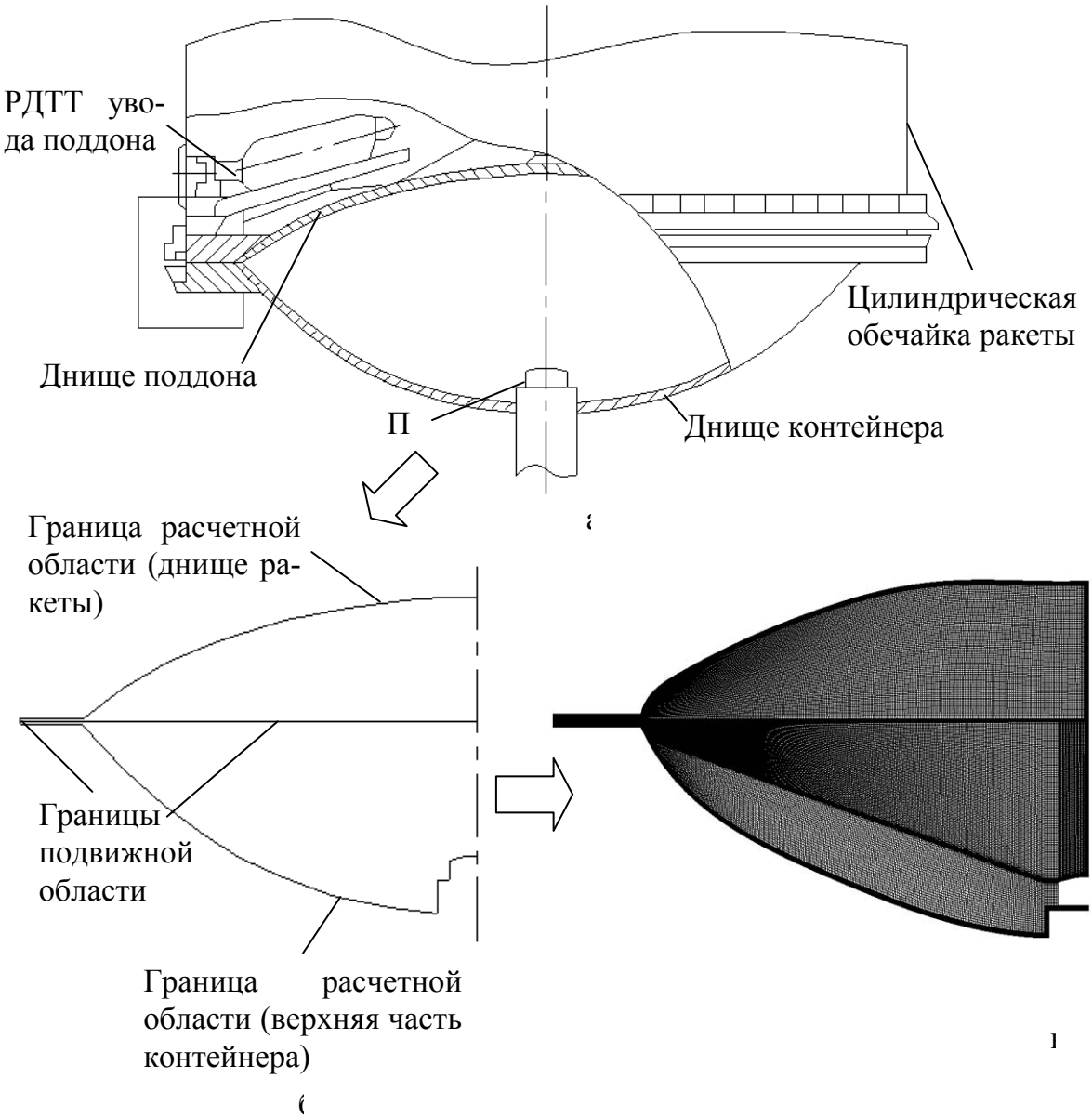


Рис. 1. Этапы формирования сеточной модели
а) схема расположения поддона; б) места расположения границ подобласти с подвижной сеткой; в) сеточная модель

В связи с особенностями выбранной модели динамического перестроения сетки нужно отметить необходимость построения различных сеточных моделей для различных участков расчетной модели. Далее все эти сетки объединяются в решателе посредством специального интерфейса, который передает данные из одной области в другую по мере проведения расчета. Учет процессов теплообмена осуществляется путем построения отдельной сетки для теплозащитного покрытия и «сшивания» ее с сеткой, построенной для области течения газа. Следует также отметить, что отдельно строится сетка для верхней части расчетной области (вблизи поддона ракеты) и для нижней (вблизи контейнера).

При построении сетки необходимо выполнить сгущение у поверхности поддона и днища пускового контейнера. При этом для расчета высоты ячейки на этих поверхностях необходимо принимать значение параметра y+ = 20…300. Результат задания сетки для моделирования движения ракеты в контейнере с использованием разработанных рекомендаций, представлен на рис. 1в.

В современных программных комплексах оценка сходимости решения осуществляется с использование уровней невязок.

После дискретизации уравнение сохранения для общей переменной ϕ^{n+1} в ячейке P может быть записано:

$$a_P \phi_P = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b. \quad (1)$$

В этом уравнении a_P центральный коэффициент, a_{nb} коэффициенты влияния на соседние ячейки, и b – вклад постоянной части источникового члена S_c в $S = S_c + S_P \phi$ и граничных условий.

Невязка, вычисляемая решателем, представляет собой дисбаланс в уравнении (1), просуммированный по всем расчетным ячейкам P. Глобально масштабируемые невязки являются, более соответствующими, индикаторами сходимости для большинства проблем:

$$R_\phi = \frac{\sum_{cellsP} \left| \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b - a_P \phi_P \right|}{\sum_{cellsP} \left| a_P \phi_P \right|}.$$

В ходе проведении численных экспериментов глобально масштабируемые невязки не превышали 10^{-3} для всех уравнений, кроме уравнения энергии, для которого они составило менее 10^{-6}, что соответствует рекомендациям, предоставляемыми разработчиками современных программных комплексов [4].

В качестве исходных данных для расчета были выбраны параметры ракеты «Днепр» [4]: длина – 34,3 м.; диаметр – 3 м. Схема расположения поддона представлена на рисунке 1а. В качестве схемы подачи пороховых газов в объем использовалась схема подачи через центральное сопло с установленным на нем «Т»-образным насадком [5].

По результатам анализа термодинамические параметры продуктов сгорания твердотопливных зарядов [6–8] в качестве исходных данных были выбраны параметры, представленные в таблице 1.

Значение массового секундного расхода ПАДа в каждый моменте времени вычислялось по формуле [5]:

$$\dot{m}_i = \frac{p_k \pi d_k^2}{4 \eta R_г T_г} \sqrt{2g\left(n_x + 1\right) L_i},$$

где p_k – давление в контейнере; d_k – диаметр контейнера; $R_г T_г$ – энергетическое состояние газов; g – ускорение свободного падения; $\eta = 0{,}8 - 0{,}85-$ коэффициент учитывающий потери и остаточный запас воздуха в аккумуляторе давлния; n_x – отношение выталкивающей силы газов в контейнере к весу ракеты; L_i – длина контейнера.

Таблица 1

Исходные данные для расчета

Параметр	Значение
Показатель адиабаты продуктов сгорания ПАДа	1,2
Газовая постоянная продуктов сгорания ПАДа, Н*м/(кг*К)	360
Температура на выходе из ПАДа, К	2300
Масса ракеты, кг	210800
Атмосферное давление, Па	101325

Количество поясов амортизации принято равным пяти, сила трения каждого пояса амортизации равна 30 кН.

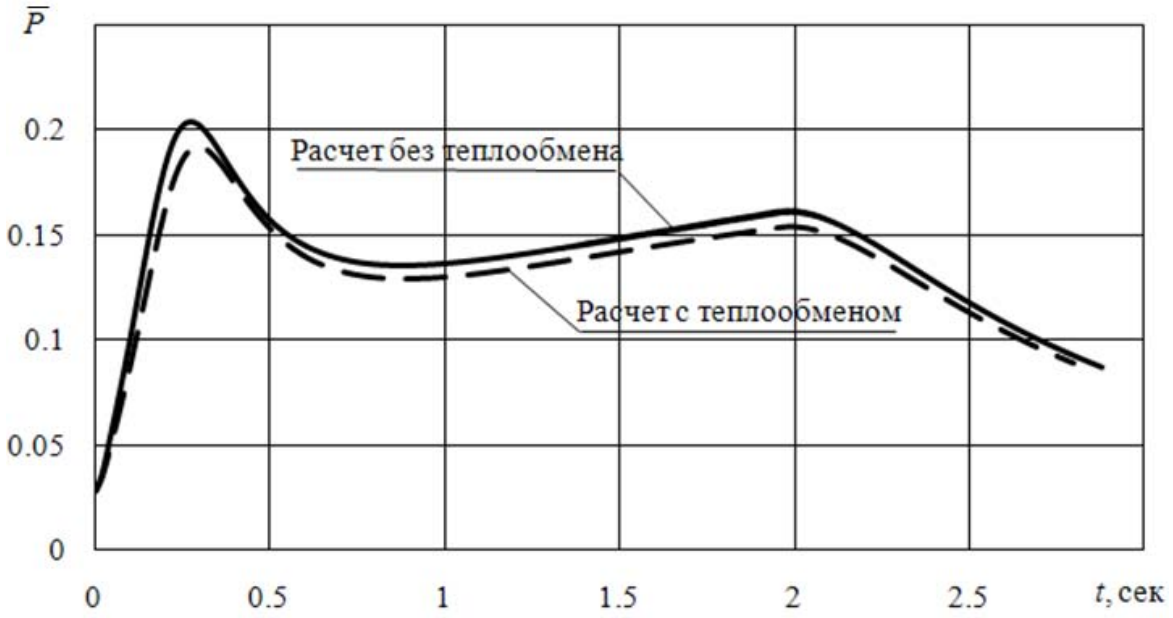


Рис. 2. Изменение среднеобъёмного давления в контейнере

При рассмотрении периода движения ракеты в контейнере основой целевой функцией является изменение давления в подракетном пространстве, которое и определяет скорость выхода ракеты из контейнера.

С целью оценки влияния учета процессов теплообмена на изменения среднеобъемного давления в подракетном объеме, скорость и время выхода ракеты из контейнера был проведен расчет с параметрами теплозащитного покрытия (табл. 2), выбранных по результатам анализа параметров теплозащитных покрытий, применяемых при проектировании двигателей на твердом топливе [8–9].

Таблица 2

Параметры теплозащитного покрытия

Параметр	Значение
Толщина,мм	15
Плотность, кг/м^3	1950
Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);	1700
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,4

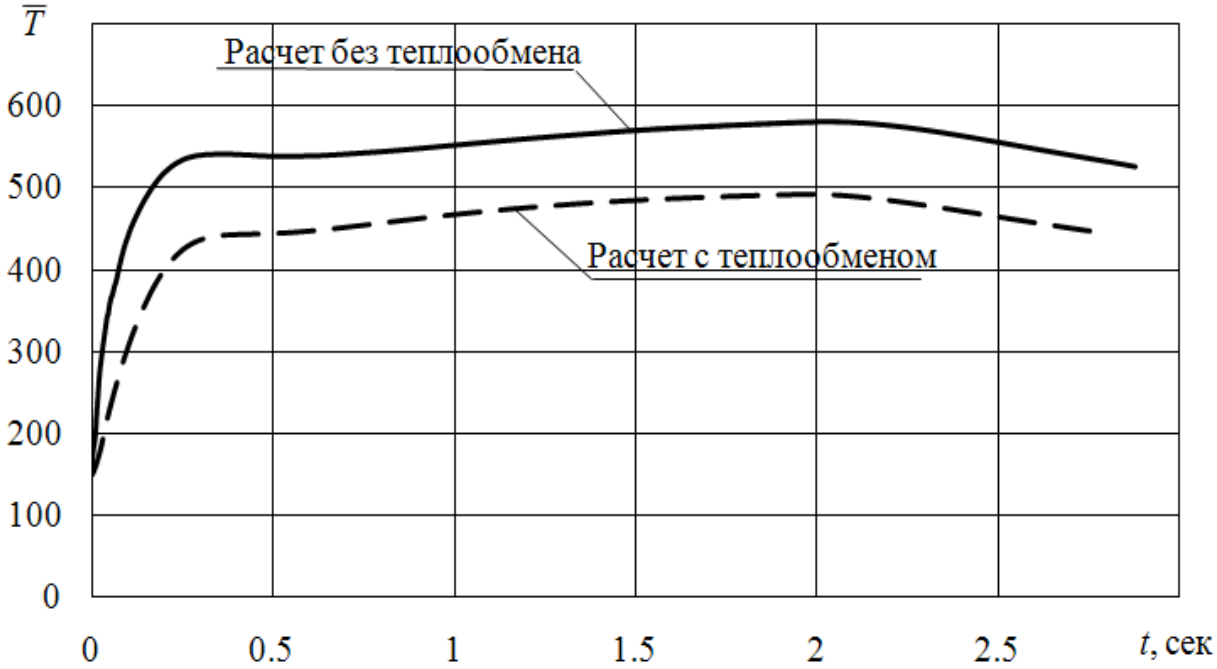


Рис. 3. Изменение среднеобъёмной температуры в контейнере

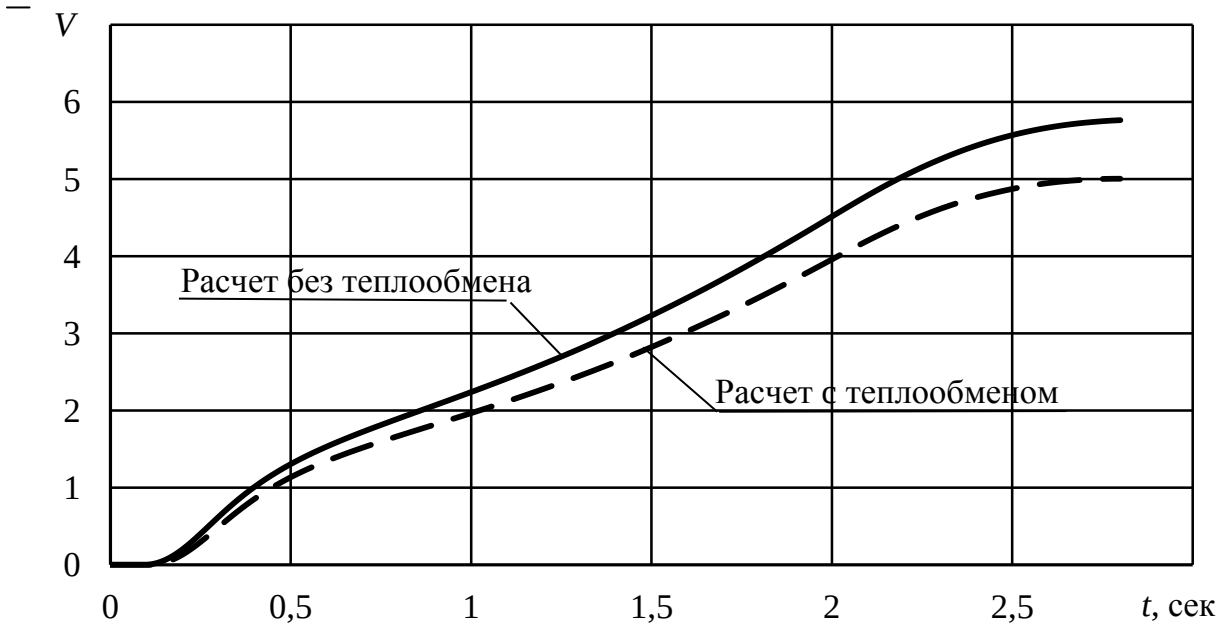


Рис. 4. Изменение скорости движения ракеты

В результате расчетов были получены графики изменения среднеобъемного давления и температуры в контейнере (рис. 2, 3), скорости движения ракеты (рис. 4) с учетом и без учета процессов теплообмена.

Расчеты газодинамических параметров в пусковом контейнере в процессе минометного старта ракеты с помощью разработанной методики численного моделирования показали, что учет процесса теплообмена привел к уменьшению среднеобъемного давления в контейнере на 4–6 %, среднеобъемной температуры на 13 %. Изменение среднеобъемных газодинамических параметров в пусковом контейнере привело к уменьшению скорости выхода ракеты на 13 % и увеличению времени выхода на 6 %.

Таким образом, можно сделать вывод, что учет процесса теплообмена играет важную роль при расчете проектных параметров старта, а именно получения скорости и времени выхода ракеты из контейнера, являющиеся определяющими параметрами при создании системы управления и построении диаграммы стартовых команд.

Библиографический список

1. Пешков, Р.А. Анализ ударно-волновых нагрузок на ракету, пусковую установку и контейнер в процессе старта / Р.А. Пешков, Р.В. Сидельников // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 81–91.

2. ANSYS FLUENT 14. UDF Manual // ANSYS Inc. – 2011. – 566 p.

3. ANSYS FLUENT 14. Theory Manual // ANSYS Inc. – 2011. – 826 p.

4. Конюхов, С.Н. Минометный старт межконтинентальных баллистических ракет / С.Н. Конюхов, П.П. Логачев // Днепропетровск: НАН, НКА Украины, Институт технической механики, ГКБ «Южное», 1997. – 211 с.

5. Конюхов, С.Н. Ракеты и космические аппараты конструкторского бюро «Южное» / Под общей ред. С.Н. Конюхова. – Днепропетровск: ООО «Колор-Граф». ООО РА «Тандем-У», 2001. – 240 с.

6. Алемасов, В.Е. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания. Т. 1 / В.Е. Алемасов, А.Ф. Дрегалин, А.П. Тишин, В.А. Худяков // М.: Наука, 1971. – С. 98.

7. Павлюк, Ю.С. Баллистическое проектирование ракет: Учебное пособие / Ю.С. Павлюк. – Челябинск: Изд. ЧГТУ, 1996. – 92 с.

8. Шишков, А.А. Рабочие процессы в ракетных двигателях твердого топлива. Справочник / А. А. Шишков, С. Д. Панин, Б.В. Румянцева. – М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.

9. Фахрутдинов, И.Х. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива / И.Х. Фахрутдинов, А.В. Котельников. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.

К содержанию

УДК 533.6.011.32

ВЛИЯНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ОБТЕКАНИЯ НА ДИНАМИКУ ПОЛЕТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А.А. Сергеева, Р.В. Сидельников

В настоящей работе проводится оценка адекватности трех наиболее часто используемых в расчетах моделей турбулентности (*k*-ε, *k*-ω и *k*-ω *SST*) при нестационарном поперечном обтекании цилиндра. Данная оценка осуществляется с двух позиций. Во-первых, с точки зрения их влияния на соотношение силовых характеристик (коэффициентов боковой силы и силы сопротивления). Во-вторых, с точки зрения влияния на частоту срыва вихрей, характеризуемую числом Струхаля. Кроме того, рассмотрены некоторые аспекты, определяющие взаимосвязь ветровой нагрузки с боковой силой и силой сопротивления. Получены предварительные результаты в виде графика зависимости указанного соотношения от упомянутого числа Струхаля.

Ключевые слова: боковая сила; ветровая нагрузка; поперечные (изгибные) колебания.

Поперечное обтекание кругового цилиндра (цилиндрических конструкций) при умеренных числах Рейнольдса ведет к формированию за телом вихревой дорожки, именуемой дорожкой Кармана. Попеременное образование вихрей на противоположных сторонах влечет за собой возникновение колебаний в поперечном направлении (перпендикулярно направлению ветра).

Процесс образования вихрей на боковых по ветру поверхностях цилиндрических конструкций зависит от чисел Рейнольдса *Re*. Хорошо известно соотношение между упомянутым *Re* для потока, порождающего след, и числом Струхаля *Sh* для генерации вихрей, полученное, в основном, из экспериментов (рис. 1).

При числах Рейнольдса, не превышающих 200 (т.е. достаточно небольших значениях *Re*), течение в непосредственной близости к поверхности цилиндра будет мало отличаться от идеального течения (на рис. 1 соответствует I, или «ламинарному», режиму [2]). Диапазон от *Re* = 200 до 300 является переходным (на рис. 1 соответствует III режиму [2]). В нем меняется характер течения, от ламинарного к турбулентному, в области свободных вихрей, сорвавшихся с поверхности цилиндрической конструкции. Вихревой след в данном случае периодичен, однако скорость вблизи поверхности меняется не периодично из-за турбулентности течения. Апериодичность изменения скорости аргументируется турбулентностью природного ветра, результатом чего является случайный характер амплитуд подъемной или боковой силы. Эта случайность становится более выраженной с

увеличением числа Рейнольдса, что объясняется смещением точка отрыва вихрей назад по потоку при больших *Re*. В результате резко падает коэффициент лобового сопротивления, и след становится более узким (и апериодичным).

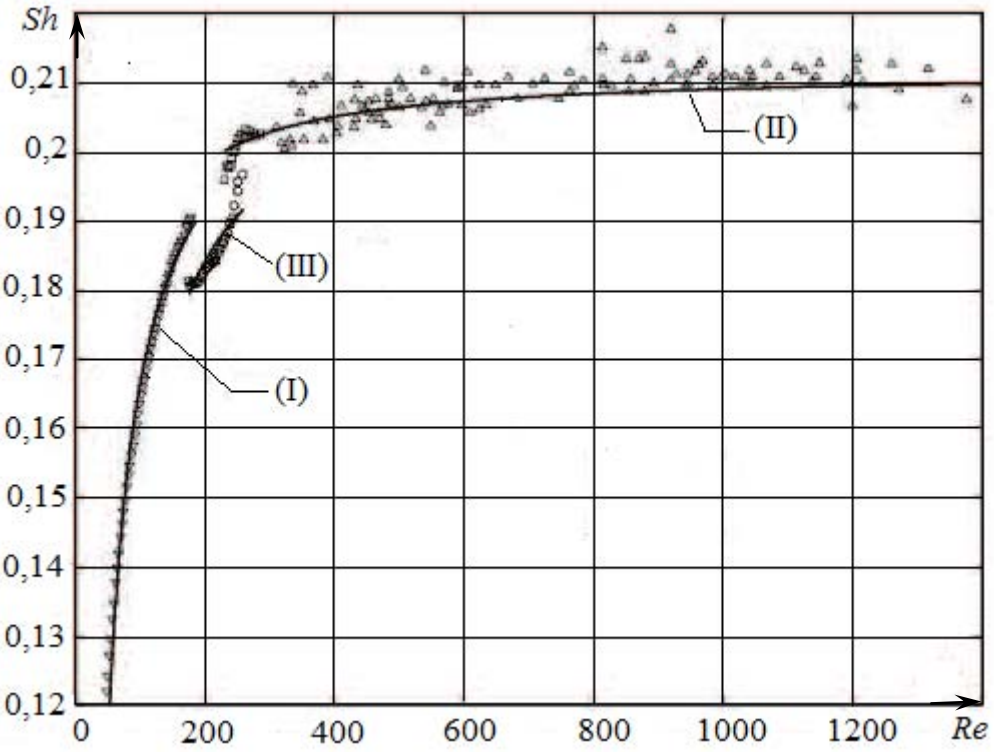


Рис. 1. Эмпирическое соотношение чисел Струхаля-Рейнольдса для потока за цилиндром, полученное Х. Арефом

В одной из предыдущих работ [1] был выявлен факт того, что величина боковой силы чувствительна к значению числа Рейнольдса. Кроме того, в [1] было установлено, что в критическом диапазоне чисел Рейнольдса находится максимальное значение соотношения коэффициентов боковой силы и силы сопротивления C_{lp}/C_d (а именно – 2,8).

Однако, помимо влияния *Re* на соотношение силовых характеристик, определенный интерес также представляет зависимость указанного соотношения от числа Струхаля.

$$Sh = \frac{nd}{V},$$

где n – частота отделения вихрей, d – характерный размер, V – скорость ветра. Когда сход вихрей является периодичным n – частота этого схода; если же сход является случайным, необходимо говорить об энергетическом спектре, а не об одной частоте.

При расчетах аэродинамических характеристик ракет довольно часто можно встретить решение задачи поперечного обтекания цилиндра, например, для определения боковой силы. Такая задача представляет собой аналогию между нормальной к оси вращения компонентой течения и двумерным потоком около цилиндра с осью, нормальной к плоскости обтекания. В данном случае предполагается эквивалентность характеристик набегающего потока и поперечного потока вокруг тела, расположенного под углом атаки [5].

При свободном старте с открытой наземной пусковой установки на ракету действуют возмущающие силы и моменты, обусловленные, в частности боковым ветром. Здесь, при решении задачи бокового обтекания ракеты на старте, целесообразным является применение как раз упомянутой ранее аналогии. Однако это лишь один из частных случаев, который не является единственным. Помимо него, также имеет место задача движения на конечном участке траектории с учетом периодического изменения угла атаки. В продолжение исследования вопросов влияния нестационарности процессов на аэродинамику и динамику полета летательных аппаратов и будет рассмотрено ее решение. Поэтому для дальнейшего рассмотрения данных аспектов, нам потребуется разрешение вопросов, поднятых в данной статье.

Настоящая работа рассматривает задачу поперечного обтекания цилиндра с получением картины периодического отрывного течения (вихревой дорожки Кармана) в контексте исследования влияния определяющих параметров задачи, таких как числа Рейнольдса, Струхаля, на соотношение боковой силы и силы сопротивления. Целью данного исследования является дальнейшая разработка методики по оценке влияния упомянутых *Re* и *Sh* на возникновение, величину и периодичность боковых сил.

Любые исследования имеет смысл проводить лишь в условиях равнозначности используемой численной модели по отношению к экспериментальной (эмпирической). Соответственно, это справедливо и для исследования влияния любых факторов нестационарного обтекания на аэродинамику и динамику полета летательного аппарата, а также влияния на конструкцию ветровых воздействий (в т.ч. в вероятностной постановке). С учетом того, что выбор модели турбулентности оказывает существенное влияние на корректность получаемых в ходе моделирования результатов логично возникает задача оценки адекватности применяемых в расчетах моделей образования вихрей.

Для рассматриваемого нами случая двумерного обтекания цилиндра мы будем рассматривать данный вопрос с двух позиций: 1) оценим влияние модели турбулентности на соотношение силовых характеристик C_{lp}/C_d; 2) оценим ее влияние на частоту срыва вихрей, безразмерной характеристикой которой является число Струхаля *Sh*. Полученные результаты мы используем для установления зависимости между *Sh* и соотношением C_{lp}/C_d.

Поперечное обтекание цилиндра производилось потоком воздуха с постоянными свойствами, принятыми при 15 °С (288,16 К), в дозвуковом диапазоне чисел Маха[1]. Так как угловая составляющая незначительная, то имеют место небольшие дозвуковые скорости обтекания. Именно при таких скоростях имеют место значительные боковые силы. Помимо этого, на выбор конкретных значений скоростей повлиял заданный диапазон чисел Рейнольдса *Re* (700…1400). Данный диапазон (относится ко II-му режиму), как видно на рисунке 1, соответствует относительно постоянным значениям чисел Струхаля *Sh*, чем и обосновывается его использование в данной работе.

Геометрическая модель представляет собой прямоугольную область, указанную на рисунке 2, с размерами: 30 диаметров обтекаемого тела по длине и 17 диаметров по ширине области.

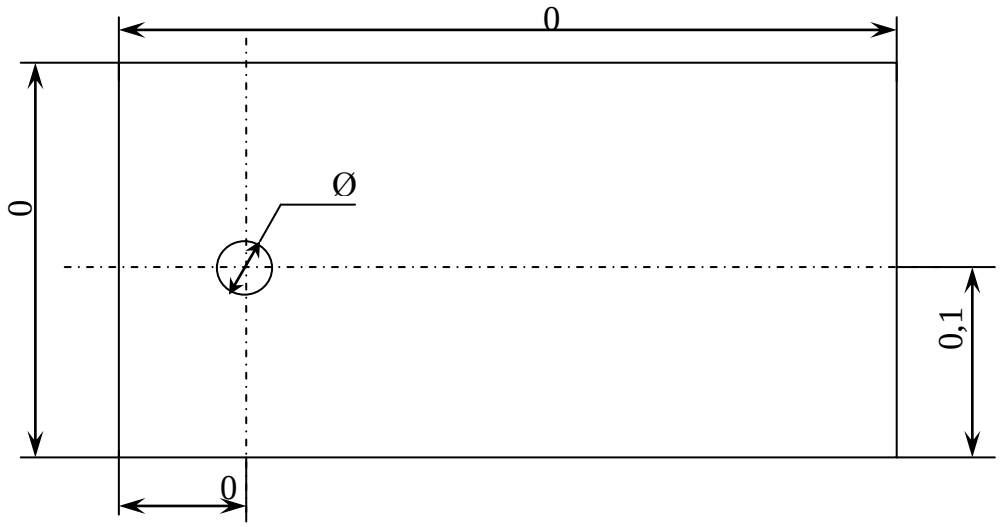


Рис. 2. Геометрические характеристики расчетной области, м

Создание геометрической и сеточной модели осуществлялось посредством сеточного генератора *ICEM CFD*. В настоящем расчете использовалась структурированная блочная сетка с четырехугольной ячейкой, что обуславливалось возможностью получения как можно более точных результатов, а также меньшей продолжительностью расчета и необходимого объема оперативной памяти компьютера.

Моделирование поставленной выше задачи, включающее в себя определение начальных и граничных условий, выбор уравнений, которые будут описывать исследуемый процесс, а также методы их решения производилось в программном блоке *ANSYS Fluent.*

При оценке адекватности трех наиболее часто используемых в расчетах моделей турбулентности было выявлено, что результаты, наиболее близкие к эмпирическим (экспериментальным), дают стандартные модели *k*-ω и *k*-ε, основанные лишь на двух уравнениях (рис. 3). При этом использование более сложной модели вихреобразования *k*-ω *SST* лишь позволяет

получить более четкую картину обтекания бесконечно длинного цилиндра (зарождение и отрыв вихрей и т.д.). Таким образом, целесообразно при проведении дальнейших исследований применять *k*-ε модель образования вихрей в связи с изложенными выше причинами.

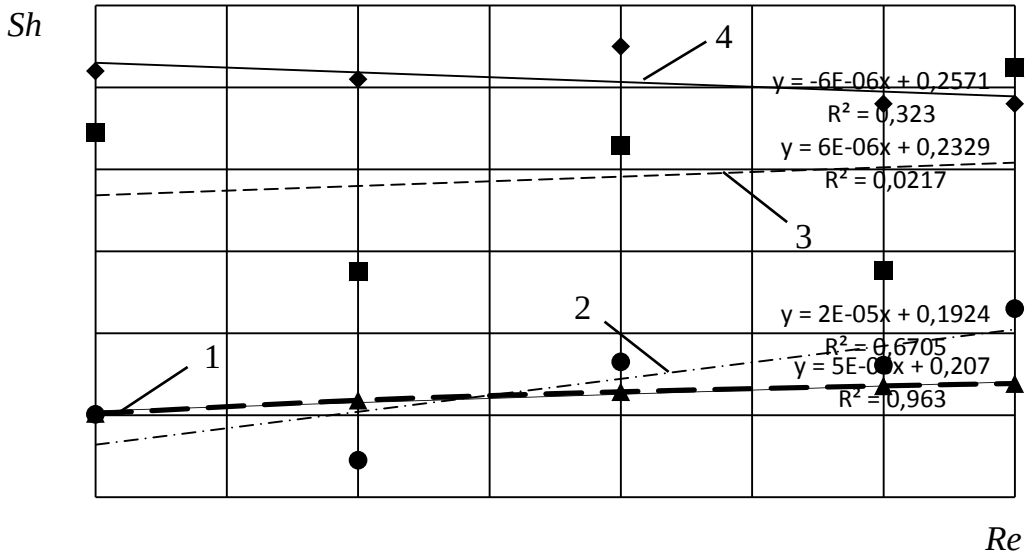


Рис. 3. Зависимость значений числа Струхаля Sh от числа Рейнольдса Re (линейная аппроксимация): 1 – эмпирическое соотношение Re-Sh по Х. Арефу; 2 – для модели турбулентности k-ε; 3 – для модели турбулентности k-ω; 4 – для модели турбулентности k-ω SST

Получив определенное представление об адекватности *k*-ω, *k*-ε и *k*-ω *SST*, мы сделали шаг в сторону установления зависимости между числом Струхаля и соотношением силовых характеристик C_{lp}/C_d.

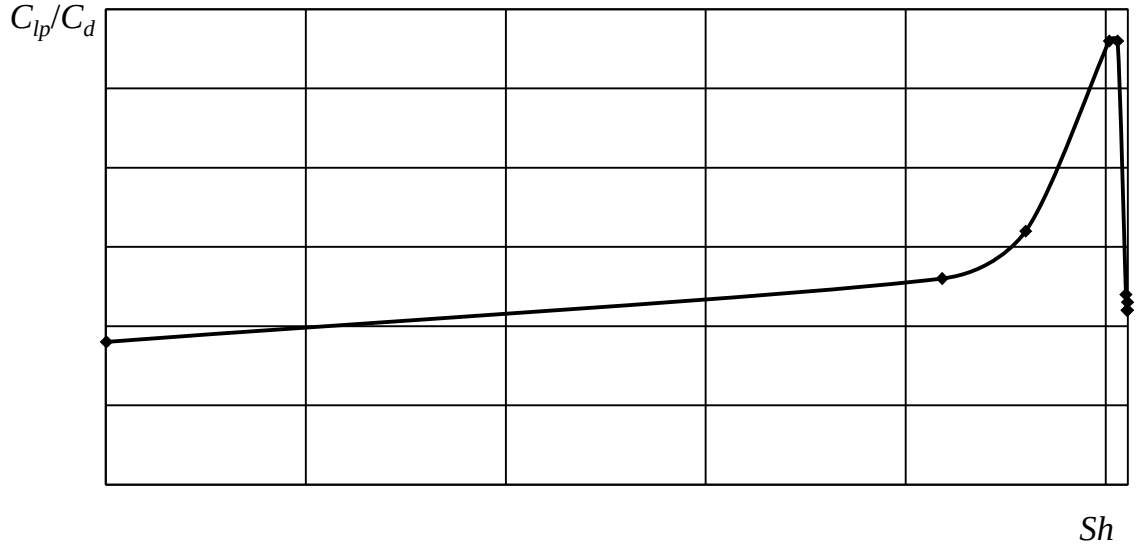


Рис.4. Зависимость значений соотношения коэффициентов боковой силы и силы сопротивления от числа Струхаля

Представленные результаты (рис. 4) отражают наличие некоторой взаимосвязи между характеризуемой числом Струхаля частотой срыва вихрей и величиной упомянутого соотношения силовых характеристик C_{lp}/C_d. Характер этой зависимости говорит о том, что даже незначительные изменения частоты срыва вихрей могут повлечь за собой резкое увеличение боковой силы по отношению к силе сопротивления. Таким образом, существующая взаимосвязь показывает именно влияние частоты срыва вихрей на наличие и интенсивность колебаний цилиндра (цилиндрических конструкций) в поперечном (по отношению к набегающему потоку) направлении в плоскости обтекания. Это объясняется возникновением аэродинамических поперечных сил, вызванных как раз периодическим срывом вихрей.

Раскачивание высотных сооружений, конструкций обусловлено образованием вихревой дорожки. Особенно опасным является резонансное раскачивание, при котором частота образования вихрей совпадает или близка к собственной частоте горизонтальных колебаний конструкции, что нередко приводит к ее повреждению, деформации или же разрушению.

Так, полученные данные позволят оценить степень влияния возмущающих факторов на поведение конструкции при резонансных изгибных колебаниях. Иными словами, позволят определить, в каком случае (при каких внешних воздействиях) произойдет совпадение частоты собственных колебаний конструкции с частотой срыва вихрей.

Зависимости, которые были получены в результате настоящего исследования, станут в некотором роде базой для решения задачи бокового обтекания ракеты на старте. Поэтому следующим шагом проводимого исследования предполагается разрешение вопросов задачи старта с точки зрения возникновения изгибных колебаний конструкции при внешних ветровых воздействиях.

Библиографический список

1. Сергеева, А.А. Исследование влияния нестационарного поперечного обтекания цилиндра на возникновение боковых сил / А.А. Сергеева, Р.В. Сидельников // Сб. статей 66-й научной конференции профессорско-преподавательского состава. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – С. 112–116.

2. Ареф, Х. Вихревая динамика волновых следов / Х. Ареф // Нелинейная динамика. – 2006. – № 4. – С. 411–424.

3. Савицкий, Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения / Г.А. Савицкий. – М.: Издательство литературы по строительству, 1972. – 111 с.

4. Лебедев, А.А. Баллистика ракет / А.А. Лебедев, Н.Ф. Герасюта. – М.: Машиностроение, 1970. – 244 с..

5. Хемш, М. Аэродинамика ракет: в 2-х книгах. Кн. 1. / М. Хемш, Дж. Нилсен; пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 426 с.

К содержанию

УДК 620.169.1 + 629.113.001.2

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ИСПЫТАНИЙ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА РЕСУРС

Л.А. Шефер

В статье рассматривается методика определения уровня нагружения несущей системы конструкции при проведении стендовой отработки на ресурс в условиях случайного узкополосного или гармонического нагружения, имитирующего реальные условия эксплуатации.

Ключевые слова: случайное нагружение, обобщенная диаграмма усталости, накопленное повреждение, эквивалентный режим.

В ходе эксплуатации несущие элементы конструкций автомобилей и перевозимых изделий подвергаются длительному воздействию вибрационных нагрузок. Как правило, нагрузки носят случайный характер и могут быть осложнены наложением гармонических и полигармонических составляющих. Действие вибраций в процессе эксплуатации в нагруженных элементах конструкции может приводить к качественным изменениям, большинство из которых носит усталостный характер. В свою очередь, качественные изменения в ответственных элементах изделий (например, несущих элементах силовой схемы) могут привести к отказам и разрушению элементов, что может привести к разрушению конструкции, гибели экипажа, пассажиров и грузов, к невыполнению поставленной хозяйственной задачи.

Существующие методы статистической динамики дают возможность оценить нагруженность конструкций в заданных сечениях и элементах, позволяя при известных случайном воздействии на исследуемую конструкцию и динамических параметрах конструкции, как колебательной системы, вычислять статистические характеристики на ее выходе в виде спектральных плотностей ускорений, перемещений, напряжений и других параметров случайных процессов.

Статистические характеристики нагруженности элементов конструкций в том или ином виде должны быть сопоставлены с предельным состоянием, которое для циклического воздействия определяется соответствующими характеристиками сопротивления усталости лабораторных образцов материалов и деталей. Сопоставление производится с помощью методов суммирования усталостных повреждений, которые определяют ресурс и запасы прочности. Как правило, эти методы связаны с представлением реальных процессов в виде совокупности условных амплитуд нагружения (схематизация процесса) и применения к ним линейного суммирования усталостных повреждений. При этом погрешности расчетов на усталость и присущий им разброс результатов (по долговечности до 10 раз и более) требуют отработки элементов конструкций на эксплуатационные нагрузки.

Создание конструкций, обладающих высокой надежностью при минимальных запасах прочности вызывает необходимость установления достаточно жесткого критерия повреждения. В качестве такого критерия обычно принимают момент зарождения макротрещины в материале элементов конструкции.

Расчетная оценка накопленного повреждения в ходе циклического нагружения и определение момента достижения предельного состояния (появления макротрещины) предусматривают использование определенной гипотезы суммирования повреждений.

Наиболее универсальной и широко применяемой, из разработанных в настоящее время гипотез накопления усталостных повреждений [1–4] является линейная гипотеза, которая применительно к случайным и другим видам процессов, описывается зависимостью

$$П = \sum_{\mathrm{i}=1}^{k} \frac{n_{0\mathrm{i}}(\sigma_m, S_\mathrm{i}, G_\mathrm{i})}{N_{0\mathrm{i}}(\sigma_m, S_\mathrm{i}, G_\mathrm{i})} = 1, \qquad (1)$$

где $П$ – накопленное в ходе эксплуатации повреждение; $n_{0\mathrm{i}}(\sigma_m, S_\mathrm{i}, G_\mathrm{i})$ - число условных циклов (число нулей с заданным знаком производной) случайного или другого эксплуатационного процесса, соответствующего режиму нагружения с параметрами $\sigma_m, S_\mathrm{i}, G_\mathrm{i}$. Где σ_m – математическое ожидание напряжений процесса (среднее значение); S_i – среднее квадратичное отклонение (СКО) напряжений; G_i – обобщенный критерий, отражающий вероятностную структуру процесса нагружения:

$$G \frac{S_{ms}\, n_s\, \sigma_{\max}}{S_m\, n_m\, S},$$

где S_{ms} – среднее квадратическое отклонение повреждающих максимумов (максимумов, лежащих выше уровня $\sigma_{\min} = S$); n_s – среднее число повреждающих максимумов; $\sigma_{\max}$ – максимальный выброс напряжений процесса, соответствующий заданной вероятности (например, P = 0,997); S_m – среднее квадратическое отклонение положительных максимумов процесса, n_m – среднее число положительных максимумов процесса.

$N_{0\mathrm{i}}(\sigma_m, S_\mathrm{i}, G_\mathrm{i})$ - предельное состояние, определяемое по обобщенной диаграмме усталости [4]:

$$\lg N_{0ig\mu} = A'_{\Gamma} - B \lg\left\{ Q_i^{\frac{2}{B}} \left[\frac{Q_i(1+\psi_S \mu)\alpha_\sigma}{(Q_i \pm t_q v_{S\Gamma})K_\sigma} S_{i\mu} - S_0 \right] \right\}, \qquad (2)$$

где $A_{\Gamma}^{'} = A_{\Gamma} - B\lg\sqrt{2}$; A_{Γ}, B – параметры обобщенной диаграммы усталости; $Q_i = \left(\frac{G_0 - G_{\Gamma}}{G_0 - G_i}\right)^{\frac{B}{2}}$ – коэффициент, учитывающий изменение СКО рассеивания долговечностей в зависимости от структуры процесса, очевидно, что для гармоники Q_i = 1; ψ_S – коэффициент чувствительности материала к асимметрии нагружения; $\mu = \sigma_m / S_{\mu}$ – коэффициент асимметрии процессов; S_{μ} – СКО напряжений асимметричного процесса нагружения, α_{σ} – теоретический коэффициент концентрации напряжений; коэффициент K_{σ} является комплексным и отражает влияние на математическое ожидание пределов ограниченной выносливости детали масштабного фактора, концентрации напряжений и вида нагружения в их совокупности; t_q – квантиль заданной вероятности неразрушения; $v_{S\Gamma}$ – коэффициент вариации; S_0 – предел неограниченной выносливости, выраженный в СКО напряжений.

В качестве критерия эквивалентности рассматривается равенство накопленного повреждения от суммы эксплуатационных случаев и режимов нагружения с повреждением, накопленным от действия эквивалентного режима.

Накопленное в условиях эксплуатации усталостное повреждение от действия совокупности *i* случаев и *j* режимов нагружения:

$$П = \sum_{i=1}\sum_{j=1} \frac{n_{0ij}\left(\sigma_{mij}, S_{ij}, G_{ij}\right)}{N_{0ij}\left(\sigma_{mij}, S_{ij}, G_{ij}\right)}. \quad (3)$$

Повреждение от эквивалентного режима:

$$П_э = n_{0э} / N_{0э},$$

где $n_{0э}$ – число циклов, накопленное на эквивалентном режиме, $N_{0э}$ – предельное число циклов эквивалентного режима.

Накопленное на каждом случае и режиме эксплуатации число циклов:

$$n_{0ij} = f_{eij}\, \xi_{ij}\, T, \quad (4)$$

где f_{eij} – эффективная частота процесса для *i*-го случая и *j*-го режима; $\xi_{ij} = \frac{\tau_{ij}}{T}$ – доля времени действия *i*-го случая и *j*-го режима, τ_{ij} – время действия *i*-го случая и *j*-го режима, *T* – период эксплуатации:

$$T = \sum_{i}\sum_{j} \tau_{ij}. \quad (5)$$

Предельное число циклов для каждого *i*-го случая и *j*-го режима определяется из уравнения обобщенной диаграммы усталости:

$$N_{0ij} = \frac{10^{A_r'}}{Q_{ij}^2 \left(K_{ij}\, S_{ij} \frac{\alpha_\sigma}{K_\sigma} - S_0 \right)^B}, \quad (6)$$

где $K_{ij} = \frac{Q_{ij}\left(1 + \psi_s\, \mu_{ij}\right)}{Q_{ij} \pm t_q\, \nu_{sij}}$.

Тогда накопленное при эксплуатации повреждение может быть представлено:

$$П = \frac{T}{10^{A_r'}} \sum_i \sum_j f_{eij}\, \xi_{ij}\, Q_{ij}^2 \left(K_{ij}\, S_{ij} \frac{\alpha_\sigma}{K_\sigma} - S_0 \right)^B. \quad (7)$$

Накопленное число циклов эквивалентного режима $n_{0э}$ определяется для того же срока эксплуатации T:

$$n_{0э} = T\ f_{eэ}.$$

Здесь $f_{eэ}$ – эффективная частота при эквивалентном нагружении.

Накопленное повреждение на эквивалентном режиме:

$$П_э = f_{eэ}\, T / N_{0э}.$$

На основе равенства накопленных при эксплуатации и на эквивалентном режиме повреждений для элемента конструкции будем иметь:

$$\frac{f_{eэ}\, T}{N_{0э}} = \frac{T}{10^{A_r'}} \sum_i \sum_j f_{eij}\, \xi_{ij}\, Q_{ij}^2 \left(K_{ij}\, S_{ij} \frac{\alpha_\sigma}{K_\sigma} - S_0 \right)^B.$$

В свою очередь, по обобщенной диаграмме усталости можно вычислить предельное число циклов эквивалентного режима:

$$N_{0э} = \frac{10^{A_r'}}{Q_э^2 \left(K_э\, S_э \frac{\alpha_\sigma}{K_\sigma} - S_0 \right)^B}, \quad (8)$$

где $S_э$ – СКО напряжений эквивалентного по накопленному повреждению режима нагружения; $K_э$ – коэффициент уравнения, аналогичный по составу коэффициенту K_{ij}:

$$K_э = \frac{Q_э\left(1 + \psi_s\, \mu_э\right)}{Q_э \pm t_q\, \nu_{sэ}}. \quad (9)$$

Если принимать эквивалентный режим симметричный, то $\mu_э = 0$.

Структурный коэффициент эквивалентного режима:

$$Q_э = \left(\frac{G_0 - G_г}{G_0 - G_э} \right)^{\frac{B}{2}}. \quad (10)$$

Приняв в качестве эквивалентного режима наиболее повреждающий узкополосный процесс, имеющий коэффициент структуры $G_э$= 2,562, получим значение $Q_э = 1{,}754^{B/2}$.

Если в качестве эквивалентного процесса принять гармоническое нагружение, для которого $G_э = G_г = 1{,}414$, то коэффициент $Q_э = 1$, а формула для коэффициента $K_э$ с учетом $\mu_э = 0$ примет вид:

$$K_э = \frac{1}{1 \pm t_q \nu_{sr}}.$$

Подставив значение предельного числа циклов эквивалентного режима $N_{0э}$ в формулу равенства режимов, получим:

$$Q_э^2 \left(K_э S_э \frac{\alpha_\sigma}{K_\sigma} - S_0 \right)^B = \frac{1}{f_{eэ}} \sum_{i=1} \sum_{j=1} f_{eij} \xi_{ij} Q_{ij}^2 \left(K_{ij} S_{ij} \frac{\alpha_\sigma}{K_\sigma} - S_0 \right)^B.$$

Отсюда получаем выражение для значения СКО напряжений эквивалентного режима:

$$S_э = \frac{1}{K_э} \left[\frac{1}{Q_э^2 \, f_{eэ}} \sum_{i=1} \sum_{j=1} f_{eij} \xi_{ij} Q_{ij}^2 \left(K_{ij} S_{ij} \frac{\alpha_\sigma}{K_\sigma} - S_0 \right)^B \right]^{\frac{1}{B}} \frac{K_\sigma}{\alpha_\sigma} + \frac{S_0 K_\sigma}{K_э \alpha_\sigma}. \quad (11)$$

Если в ходе изменения случаев и режимов нагружения не происходит изменения эффективной частоты процесса, т.е. $f_{eэ} = f_{eij} = f_e$, а также не меняется коэффициент структуры процесса G_{ij} и обеспечивается равенство $G_{ij} = G_э$; $Q_{ij} = Q_э = Q$, то формула для определения $S_э$ может быть упрощена:

$$S_э = \frac{1}{K_э} \left[\sum_{i=1} \sum_{j=1} \xi_{ij} \left(K_{ij} S_{ij} \frac{\alpha_\sigma}{K_\sigma} - S_0 \right)^B \right]^{\frac{1}{B}} \frac{K_\sigma}{\alpha_\sigma} + \frac{S_0 K_\sigma}{K_э \alpha_\sigma}. \quad (12)$$

При равной величине коэффициент асимметрии процессов нагружения $\mu_{ij} = \mu_э = \mu$, коэффициенты $K_{ij} = K_э = K$, а СКО напряжений эквивалентного режима:

$$S_э = \frac{K_э}{\alpha_\sigma} \left[\sum_{i=1} \sum_{j=1} \xi_{ij} \left(S_{ij} \frac{\alpha_\sigma}{K_\sigma} - S_0 \right)^B \right]^{\frac{1}{B}} + \frac{S_0 K_\sigma}{K_э \alpha_\sigma}. \quad (13)$$

Для вероятности неразрушения P = 0,5 определим среднее значение СКО напряжений эквивалентного режима $\overline{S}_э$ и среднее значение долговечности.

По полученным формулам могут быть вычислены частные запасы для каждого случая и режима, а также текущее значение запаса прочности по мере нагружения конструкции.

В зависимости от поставленной задачи, по приведенным формулам могут быть оценены запасы прочности для различных вероятностей разрушения, при этом для $P = 0$ получим минимальное значение запаса прочности, а для $P \to 0{,}997$ – максимальное.

Полученные зависимости для эквивалентных режимов позволяют предложить следующий порядок формирования программ стендовых испытаний разрабатываемых, существующих и модернизируемых конструкций.

Рассматриваются назначение разрабатываемого автомобиля, условия и типы дорог эксплуатации, номинальные скорости движения, предполагаемый ресурс эксплуатации.

В зависимости от имеющегося на предприятии оборудования, для проведения испытаний на ресурс, определяется вид реализуемого испытательным стендом процесса нагружения объекта (реальный случайный для различных типов дорог, эквивалентный случайный узкополосный или эквивалентный гармонический).

Исходя из опыта проектирования, выбирают программу испытаний и устанавливают, будет имитироваться каждый тип дорог, и оцениваться доля повреждения вносимого каждым из них до наступления повреждения, или определяться общий, суммарный ресурс до выхода несущих систем автомобиля из строя.

На основании конструкторских разработок и расчетов нагруженности несущих конструкций вычисляются параметры, входящие в зависимость (11), с помощью которой вычисляются параметры стендового нагрузочного процесса (или процессов) в соответствии с выбранной программой.

Подбирается частотный диапазон (или частота гармоники) реализуемых процессов (или процесса). При этом желательно работать в частотном диапазоне колебаний объекта при эксплуатации. Несмотря на то, что частота процесса нагружения мало влияет на долговечность, изменение частотного диапазона нагружения (которое часто проводят в сторону увеличения для сокращения времени испытаний) может приводить к возникновению вибраций и резонансных явлений не характерных для эксплуатации, что, в свою очередь, может привести к существенному искажению результатов испытаний на ресурс.

В зависимости от решений, принятых по указанным выше пунктам, оценивается по формуле (8) число циклов эквивалентного режима до повреждения испытываемого объекта с учетом рассеивания, учитываемого параметром $K_э$.

В перечень контролируемых параметров испытаний объекта должны быть включены параметры, определяющие воздействие стенда на испытываемый объект, по которым оценивается точность и полнота реализуемой программы нагружения.

Библиографический список

1. Болотин, В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1984. – 311 с.
2. Гусев, А.С. Расчет конструкций при случайных воздействиях / А.С. Гусев, В.А. Светлицкий. – М.: Машиностроение, 1984. – 239 с.
3. Когаев, В.П. Расчеты на прочность при напряжений переменных во времени / В.П. Когаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с.
4. Шефер, Л.А. Вероятностные методы расчета ресурса и запасов прочности несущих элементов конструкций транспортных систем / Л.А. Шефер. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – 250 с.

К содержанию

УДК 531.58 + 517.972.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОБИТИЯ ПАНЕЛИ КОМПАКТНЫМ УДАРНИКОМ

И.С. Пономарев, С.В. Махнович

Рассматривается проникание сферического ударника в плоскую преграду при различных скоростях соударения. Сформирована конечно-элементная модель деформирования пластины при высокоскоростном воздействии сферического ударника, позволяющая получать характеристики напряженно-деформированного состояния пластины при пробивании с достаточной точностью и при приемлемых затратах времени ЭВМ. Результаты расчета предельных значений толщины пробития пластины удовлетворительно согласуются с известными экспериментальными данными.

Ключевые слова: высокоскоростной удар, пластическая деформация, разрушение пластины, метод конечных элементов.

Процесс соударения твердых тел сопровождается упругими деформациями материалов только при относительно малых скоростях, соударяющихся тел. Количественное описание характеристик такого процесса и прогноз его последствий сводится к начально-краевой задаче динамической теории упругости [1]. Однако во многих случаях, представляющих научный и прикладной интерес, скорости соударения таковы, что материал испытывает значительные необратимые деформации и разрушается. При этом задача количественного описания ударного взаимодействия сущест-

венно осложняется. Для решения задачи, с одной стороны, требуются сведения о свойствах материала при его неупругом динамическом деформировании и разрушении, а с другой – модельные построения для ее математической формулировки.

Распространенным методом решения такой задачи является метод конечных элементов. Явный метод интегрирования по времени [2, 3, 4] основан на рассмотрении волновых процессов, происходящих в материале. Метод позволяет достаточно корректно моделировать контактные взаимодействия. Могут применяться практически любые модели материала, в том числе с разрушением. Формирование сетки конечных элементов может основываться на подходах Лагранжа и Эйлера.

При обработке сетки конечных элементов с использованием подхода Лагранжа в процессе взаимодействия тел конечные элементы искажаются. Из-за этого могут возникать элементы с одним очень малым размером, вследствие чего произойдет резкое уменьшение шага интегрирования, а время расчета существенно возрастает. Однако достоинством данного метода является простое задание граничных условий и быстрая обработка контактных взаимодействий. Проблема искажения сетки может быть решена периодическим перестроением сетки с интерполяцией деформированной формы, например, методом наименьших квадратов.

При использовании подхода Эйлера сетка конечных элементов в процессе деформирования тел не изменяется и происходит переход материала между элементами сетки. Основным достоинством этого подхода является отсутствие необходимости изменения сетки и возможность получения разрушения объекта без разрушения материала только за счет его пластического течения. Недостатками метода является сложность формирования условий на поверхностях контакта и граничных условий, большое время вычислений.

В работе на основе конечно-элементной модели с использованием подхода Лагранжа исследуется пробитие пластины компактным ударником в диапазоне скоростей соударения 1000–2000 м/с.

Определяется предельная толщина пробития пластины квадратной формы (90×90 мм) из алюминиевого сплава при ударе по нормали к поверхности стальным шариком весом 2,8 грамм (диаметр 9 мм) со скоростями 1000, 1500, 2000 м/с. Механические и физические характеристики алюминиевого сплава пластины: модуль упругости E=80 ГПа; коэффициент Пуассона μ=0,33; предел текучести σ_{02}=600 МПа; предельная пластическая деформация ε=0,35; плотность ρ =2630 кг/м^3; для сферического стального ударника: плотность ρ=7850 кг/м^3, модуль упругости E=0,2 ТПа; коэффициент Пуассона μ=0,3.

Пластина закреплена по всем торцам. Система ударник – пластина имеет две плоскости симметрии, которые не меняют своего положения в процессе

деформирования. Поэтому моделируется только четверть пластины с наложением соответствующих граничных условий на плоскостях симметрии.

Модели пластины и ударника сформированы из объемных элементов типа SolidHex8. Для стального ударника использовалась линейно упругая модель материала (MAT1), а для пластины - упруго пластическая, кусочно-линейная (MAT24).

Для тестирования расчетной модели пробивания пластины используются экспериментальные данные, опубликованные в работе [10] и результаты расчетов, выполненные по эмпирическим формулам разных авторов [5, 6, 7, 8, 9]. В работе [10] приведены результаты испытаний и определены предельные толщины пробития 17 мм, 23 мм и 28 мм. Сравним их с расчетными данными.

На рисунке 1 показано изменение расчетной скорости ударника при пробивании пластины толщиной 17 мм и начальной скорости ударника 1000 м/с. Видно, что в момент времени t=0,08 мс, скорость ударника падает до нуля и он полностью тормозится на уровне нижней плоскости пластины, то есть происходит пробитие пластины.

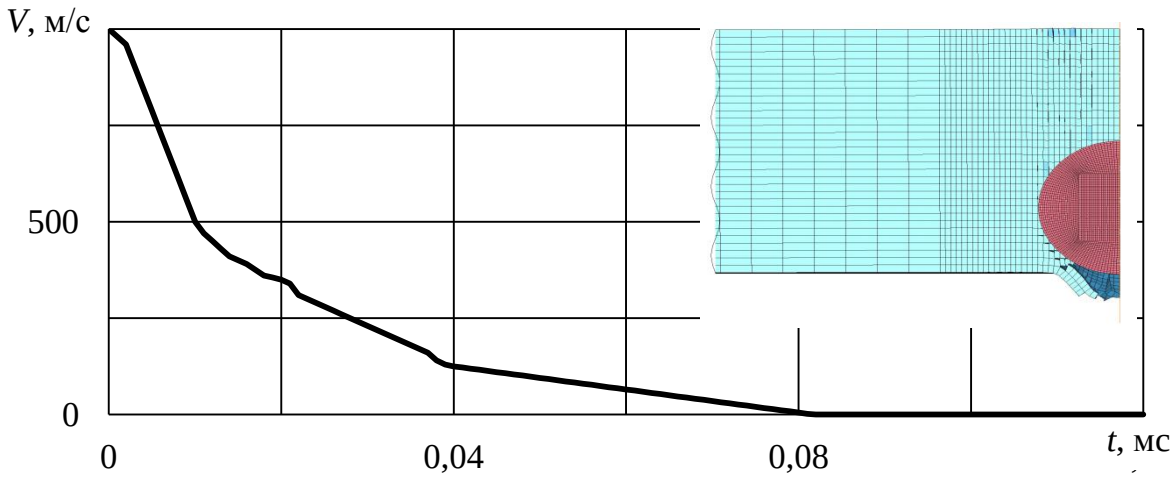


Рис. 1. Изменение скорости ударника во времени при толщине алюминиевой пластины 17 мм и начальной скорости ударника 1000 м/с

На рисунке 2 приведено изменение скорости ударника при ударе в пластину толщиной 23 мм со скоростью 1500 м/с. В момент времени 0,05 мс, показано полное торможение ударника в массиве пластины, и он застревает в ней, как показано на рисунке 3, на расстоянии 0,6 мм от нижней поверхности пластины. Значением предельной толщины пробития такой пластины можно считать 22,4 мм.

И, наконец, на рисунке 4 показано изменение скорости ударника при толщине пластины 28 мм при начальной скорости соударения 2000 м/с. Ударник пробивает пластину насквозь. Запреградная скорость ударника равна 350 м/с.

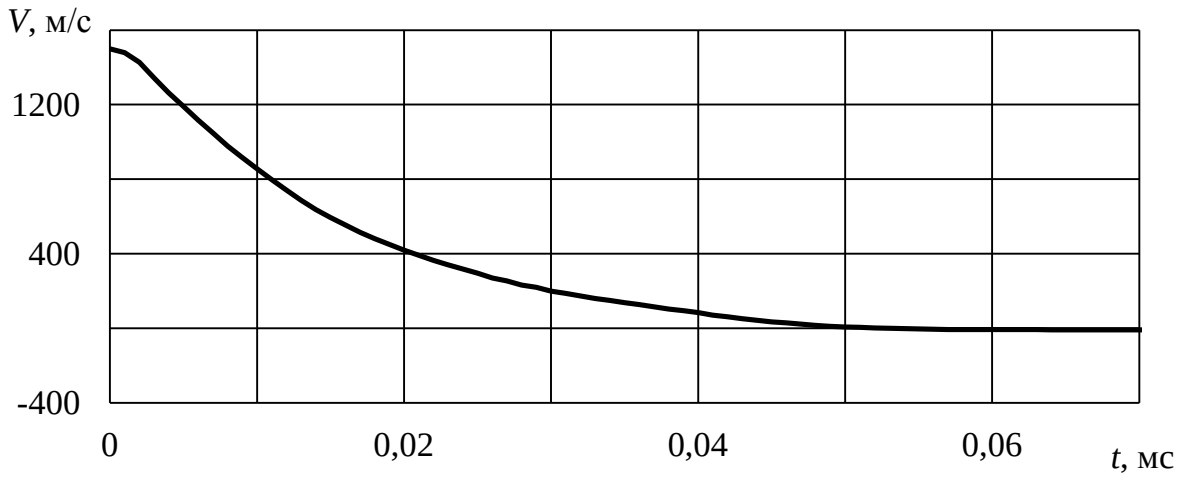


Рис. 2. Изменение скорости ударника во времени при толщине алюминиевой пластины 23 мм и начальной скорости ударника 1500 м/с

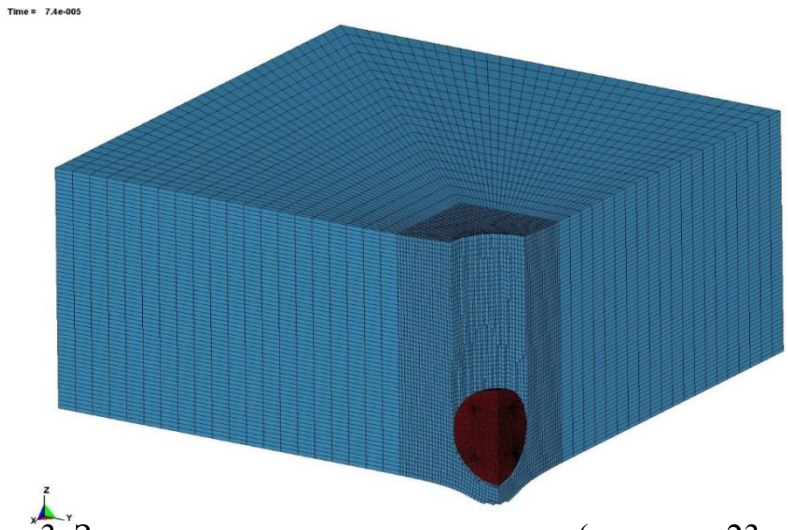


Рис. 3. Застревание ударника в пластине (толщина 23 мм, при начальной скорости ударника 1500 м/с)

Следует отметить что, в расчетной модели пробивания пластины, разрушение материала имитируется способом исключения элементов, деформация которых превышает предельную величину. При исключении таких элементов исчезают так же их масса и энергия. После исключения конечного элемента, находящегося в контакте, между телами возникает зазор, на закрытие которого требуется время. Следовательно, непрерывное взаимодействие тел в контакте заменяется серией последовательных ударов, интенсивность и число которых зависит от размера конечного элемента.

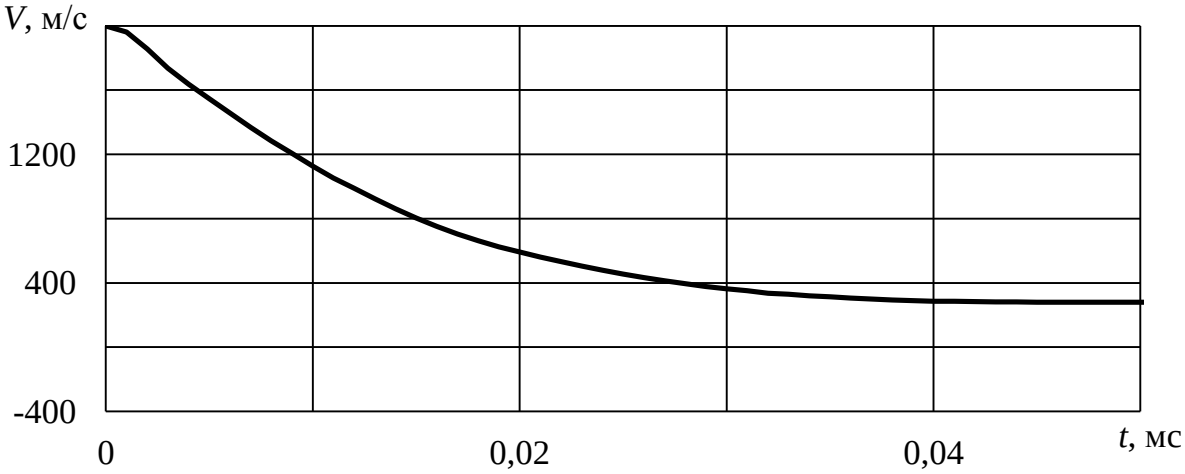


Рис. 4. Изменение скорости ударника во времени при толщине алюминиевой пластины 28 мм и начальной скорости ударника 2000 м/с

Расчетные значения предельных толщин пробития, полученные с помощью сформированной конечно-элементной модели и по полуэмпирическим формулам из работ [5, 6, 7, 8, 9], в сравнении с экспериментальными данными [10] сведены в таблицу.

Таблица

Предельные значения пробиваемых толщин мишени из алюминиевого сплава

№	Формула	Предельная толщина пробития, мм			Источник
		1000	1500	2000	
1	$L_\infty = 5,24 d^{19/18} HB^{-0,25} \left(\frac{\rho_p}{\rho_t}\right)^{2/3} \left(\frac{V_0 \cos\theta}{C_t}\right)^{2/3}$	17	23	27	[5]
2	$\frac{L_\infty}{d} = 3,5 \left(\frac{\rho_p}{\rho_t}\right)^{0,3} \left(\frac{V_0}{C_t}\right)^{0,66}$	24	31	37	[6]
3	$\frac{L_\infty}{d} \cong 0,47 \left(\frac{\rho_p}{\rho_t}\right)^{0,68} \ln\left(1 + \frac{\rho_t V_0^2}{H_{ДП}}\right)$	12	20	27	[7]
4	$\left(\frac{L_\infty}{d}\right) = \left(\frac{\rho_p V_0^2}{\sigma}\right)^{\frac{1}{6}} \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho_t}}$	18	22	24	[8]
5	$\frac{h_{пред}}{m^{1/3}} = 11,1 V_0^{2/3}$	16	21	25,4	[9]
6	Эксперимент	16	22	26	[10]
7	Конечно-элементный метод	17	22,4	34	

Как видно из таблицы, для расчета предельной толщины пробития пластины близкие к экспериментальным данным дают формулы 1,4 и 5. Из этих формул предпочтительна формула 1, так как она дает значения с небольшим запасом. Расчет с помощью конечно-элементного метода также согласуется с экспериментом и с полуэмпирическими формулами. Разница с экспериментом заметно возрастает для скорости 2000 м/с. Однако с помощью конечно-элементной модели можно определять характеристики напряженно-деформированного состояния пластины и развития его во времени.

Таким образом, в работе сформирована, конечно-элементная модель пробития пластины из алюминиевого сплава при воздействии сферического ударника при скоростях 1000–2000м/с, удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными и расчетами, полученными по известным эмпирическим формулам.

Библиографический список

1 Никифоровский, В.С. Динамическое разрушение твердых тел: монография / В.С. Никифоровский, Е.И. Шемякин. – Новосибирск: Наука, 1979. – 272 с.

2 High velocity impact dynamics / edited by J.A. Zukas. – New York: Wiley-Interscience Publication, 1990. – 935 p.

3 LS-DYNA keyword users manual / J.O. Hollquist et al. – LSTC, 1999. – Vol. 1–2. – 1130 p.

4 LS-DYNA theoretical manual / Compiled by John O. Hollquist. – LSTC, 1998. – 498 p.

5 Handbook for Designing MMOD Protection. Prepared by E.L. Christiansen. NASA, 2003. – 111 p.

6 Методы динамических расчетов и испытаний тонкостенных конструкций / А.В. Кармишин, А. И. Жуков, В.Г. Колосов и др.; Под ред. А.В. Кармишина. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.

7 Кинетическое воздействие на летательные аппараты / Э.С. Степанов, Ю.С. Соломонов, М.П. Сычев и др. – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – Ч. 1. – 112 с.

8 Бадмаев, Р.Л. Гидродинамическая обобщенная модель проникания / Р.Л. Бадмаев, К.Н. Шамшаев // Доклады Академии наук. – 2004. – Т. 396, № 3. – С. 343 – 344.

9 Средства поражения и боеприпасы: Учебник / А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов и др.; Под общ. ред. В.В. Селиванова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 984 с.

10 Моделирование удара нелокализованного обломка двигателя по конструкции с использованием MSC.Dytran / А.В. Чернов, А.Н. Виноградова // Труды Российской конференции пользователей систем MSC 2004 года. – М., 2004. – С. 158–178.

К содержанию

УДК 629.7.018

МОДИФИКАЦИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЛЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА СХЕМЫ «ВИНТ В КОЛЬЦЕ»

Н.А. Фисивский, А.С. Пантилеев

На этапе предэскизного проектирования, а также в ходе отработки макетного образца беспилотного летательного аппарата схемы «винт в кольце» требуется экспериментальное определение его характеристик. Это действительное положение центра тяжести, полный тензор моментов инерции для квазистатического режима эксплуатации стенда, и координаты вектора тяги, зависимость величины тяги от оборотов двигателя. Разработанный стенд также позволяет проводить юстировку беспилотного летательного аппарата для обеспечения центровки (совмещения линии действия вектора тяги с центром тяжести аппарата).

Ключевые слова: стенд, определение интегральных аэродинамических характеристик, БПЛА, «винт в кольце».

Ранее авторами были проведены работы по созданию специализированного стенда для изучения характеристик БПЛА схемы «винт в кольце». Материалы изложены в статье «Специализированный стенд для изучения летных характеристик беспилотного летательного аппарата схемы «винт в кольце»», которые частично приведем и здесь. Необходимость создания стенда обусловлена потребностью определить массо-геометрические характеристики аппарата и координаты вектора тяги винтомоторной установки. Это необходимо для автоматического управления БПЛА, трудности, связанные с этим, изложены в работе [1].

Схема стенда представлена на рисунке 1. Всего в стенде реализовано шесть степеней свободы. На неподвижном основании, имеющем форму шестиугольника, закреплены 4 тензодатчика обеспечивающие вертикальное перемещения краев базового четырехугольника. Эти датчики позволят определить вес аппарата и координаты проекции центра тяжести всей системы и аппарата в частности. На базовом четырехугольнике реализован вертикальный шарнир. С его помощью можно менять азимутальное положение аппарата, а также на этой степени свободы можно определить нескомпенсированный реактивный момент, возникающий в ходе работы воздушного винта. На валу вертикального шарнира организован узел, обеспечивающий поступательную степень свободы, ориентированную горизонтально. На этой степени свободы будет регистрироваться боковая составляющая тяги возникающей на воздушном винте. Боковая составляющая обусловлена отсутствием ортогональности между линией действия тяги и плоскостью, в которой установлены тензодатчики базового четырехугольника.

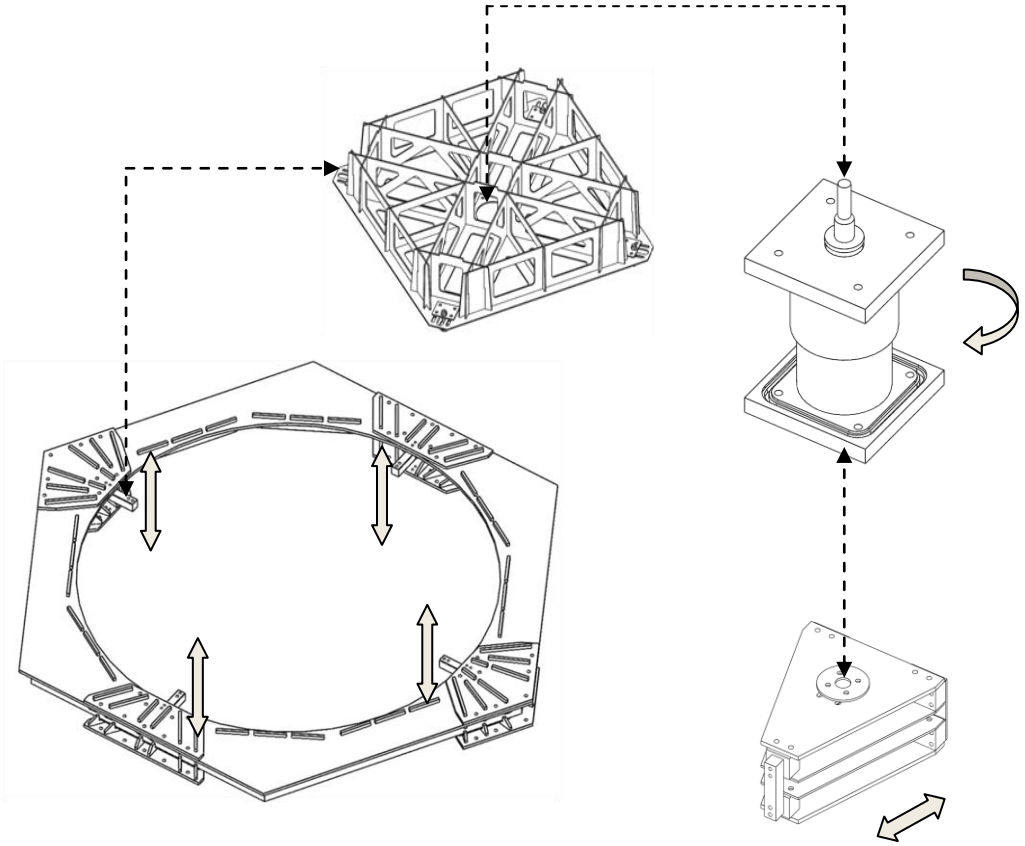


Рис. 1. Тензометрические датчики стенда

Таким образом, имея возможность регистрировать одновременно показания шести тензодатчиков, а также частоту вращения воздушного винта, фактическое напряжение и силу тока будет возможность определить действительное положение центра тяжести, полный тензор моментов инерции, координаты вектора тяги, зависимость величины тяги от количества оборотов двигателя.

Для облегчения конструкции было принято решение сделать стенд из конструкционного текстолита.

В ходе сборки стенда были выявлены следующие недостатки конструкции: базовый четырехгранник не имеет по углам достаточной жесткости пластин, шестиугольная алюминиевая рама имеет отличную от идеальной геометрию, базовая шестиугольная пластина имела крайне недостаточную прочность и жесткость и сломалась во время монтажа, так как конструкционный текстолит не соответствовал заявленным требованиям, вследствие чего возникла трещина в теле детали, реальная толщина текстолитового листа отличалась от номинальной (до 4,5 мм при номинальной толщине 4,0 мм), однако достаточно для невозможности корректной сборки. Сборка узла поступательного перемещения и базового четырехгранника прошла в соответствии с замыслом.

Для устранения выявленных недостатков были приняты следующие решения:

1) выполнить все узлы основной пластины (шестиугольная базовая пластина, пластины углов и периметра, соединительные планки, ребра жесткости периметра) из стали (нержавеющей или конструкционной с последующей покраской и/или иной антикоррозийной обработкой);

2) увеличить ширину соединительных пазов с 4,0 мм до 4,1 мм, чтобы, с учетом особенностей процесса лазерной резки металла, итоговая ширина пазов составила 4,3 мм;

3) увеличить ширину крепежных пазов на соединительных планках угла и периметра на 2 мм;

4) разработать капролоновые проставки между базовой и средней пластинами базового четырехгранника для увеличения жесткости его углов.

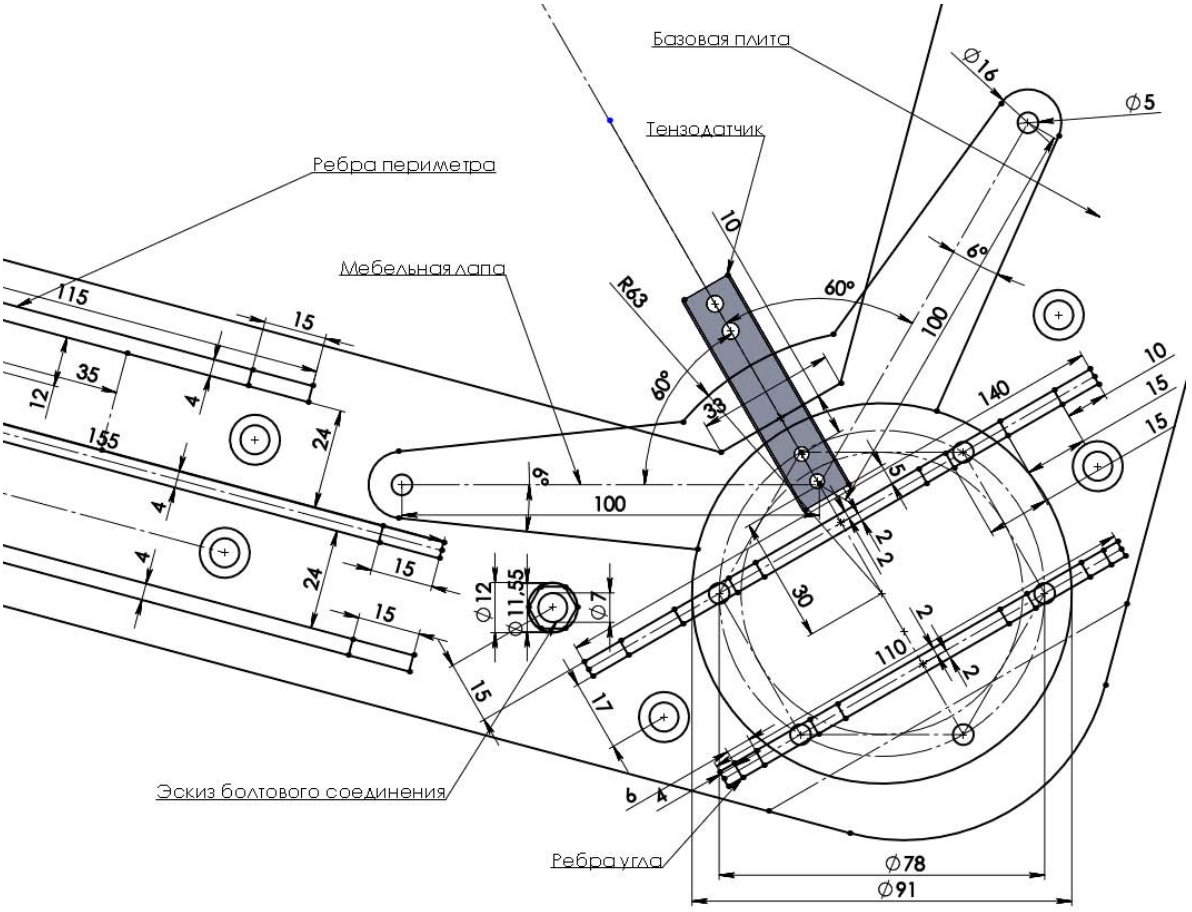


Рис. 2. Компоновочный эскиз четверти конструкции

Однако выполнение этих мероприятий не было начато по причине несовершенства геометрии рамы. Вследствие чего было принято решение от ее использования отказаться, заменив ее стальной коробчатой четырехугольной конструкцией, в углах которой разместить тензометрические датчики. Конструкцию установить на мебельные опоры, которые крепятся

к нижней пластине. Верхняя и нижняя пластины разнесены ребрами-планками на высоту 70 мм и стянуты болтами М6. Ребра периметра обеспечивают общую крутильную и изгибную жесткость. Ребра угла обеспечивают общую жесткость конструкции, а также местную жесткость в месте крепления тензометрических датчиков.

Для построения 3D-модели модификации стенда был разработан компоновочный эскиз одной четверти конструкции (рис. 2).

Затем с этого эскиза с помощью функции проецирования элементов были сняты на соответствующие плоскости эскизы плит, ребер, лапы и отверстий под болты. Затем из этих эскизов были созданы отдельные твердые тела. Общий вид конструкции показан на рисунке 3.

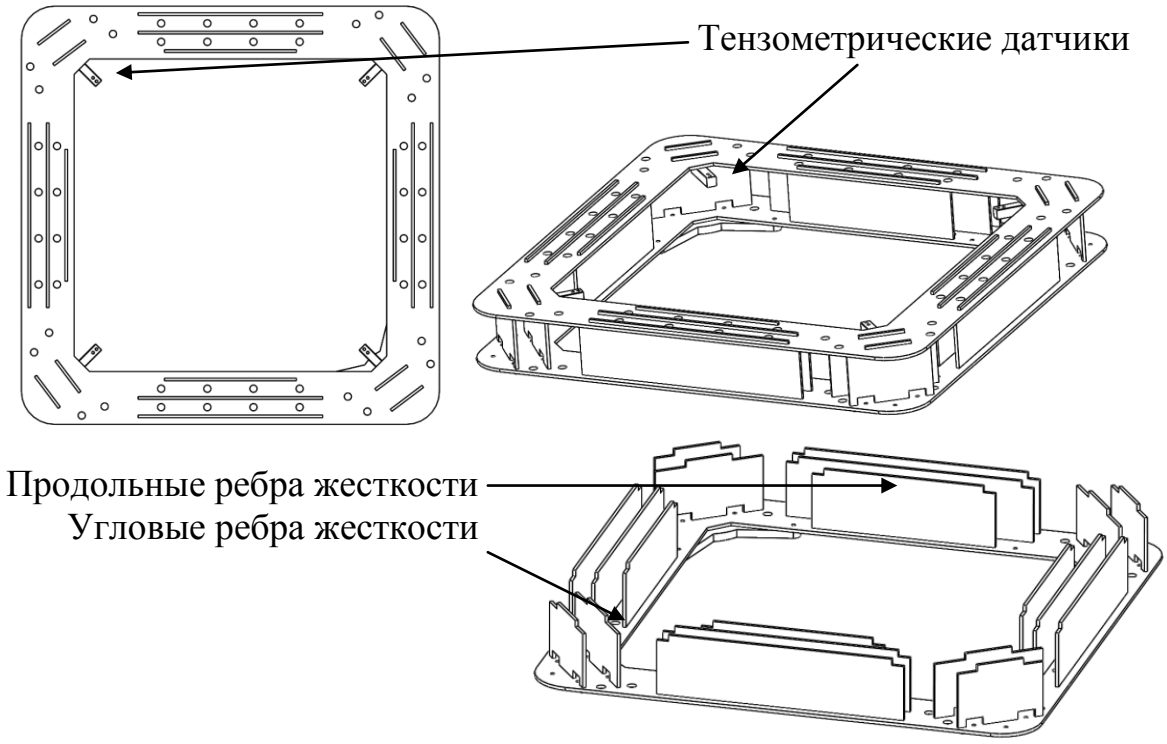


Рис. 3. Конструкция новой модели стенда. Базовый четырехгранник, вертикальный и поступательный шарниры скрыты

На рисунке 4 изображена мебельная лапа для крепления мебельной опоры. Эту деталь необходимо прорисовать особо тщательно с точным соблюдением реальной геометрии, так как она задает сразу два ограничения: на удаление так называемого «шипа» угловых ребер жесткости от осевой линии лапы, а также на расположение в нижней плите крепежных отверстий для крепления собственно лапы.

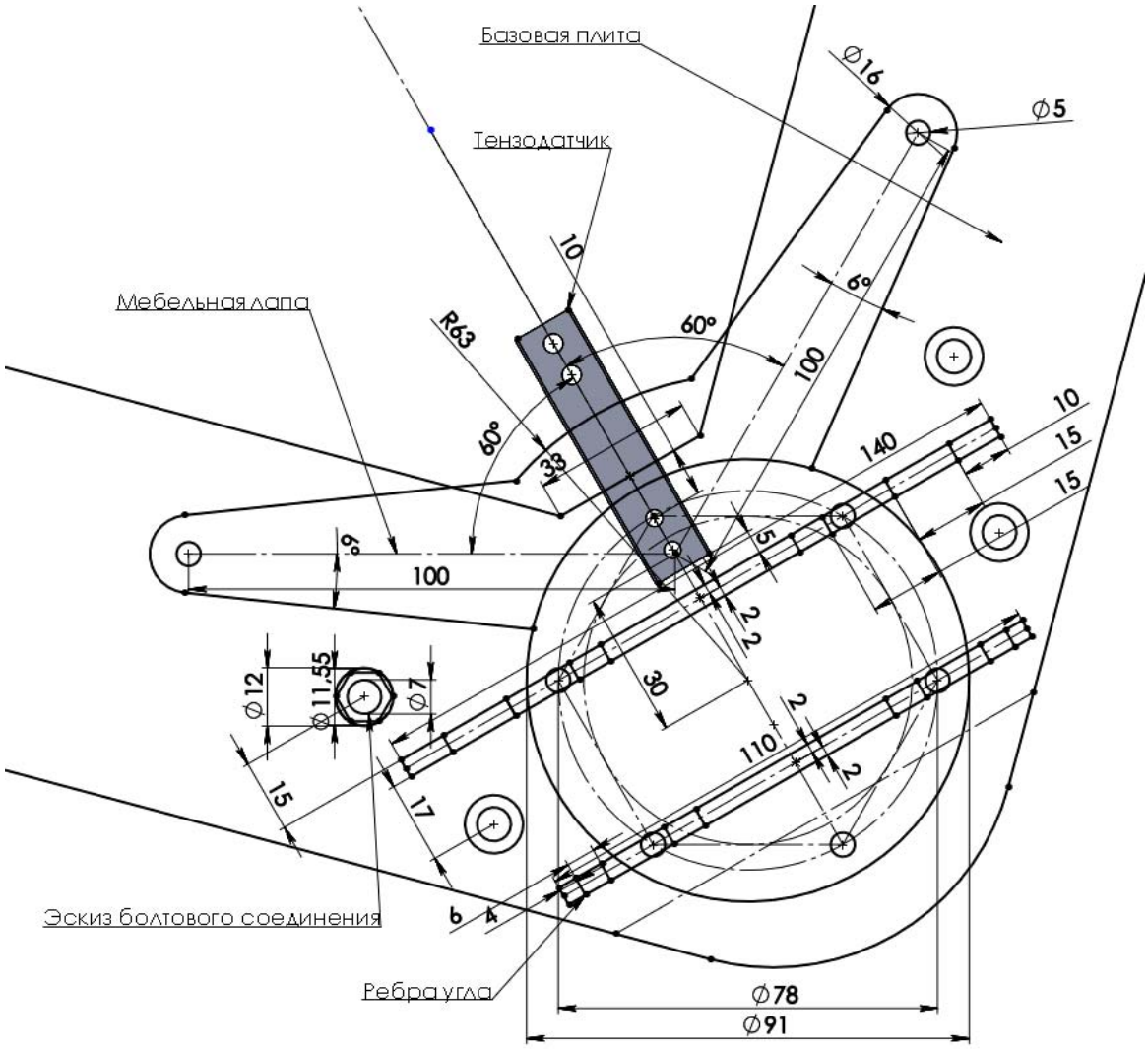


Рис. 4. Мебельная лапа

Таким образом, в результате проведенной модернизации стенда, выявленные недостатки удалось полностью устранить.

Библиографический список

1. Osgar John Ohanian III. Ducted Fan Aerodynamics and Modeling, with Applications of Steady and Synthetic Jet Flow Control. – Blacksburg, VA, 2011 г.

К содержанию

УДК 629.735.33.001.57

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ САМОЛЕТА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D ПЕЧАТИ

Е.А. Михайлов, Ю.М. Хищенко

В данной работе рассмотрены возможности применения технологии 3D печати в авиамоделизме, дано описание существующего оборудования для 3D печати. Приведены особенности полученных электронных моделей будущих деталей, спроектированные в программной среде Solid Works.

Ключевые слова: авиамодель, технология, 3D печать, принтер.

В настоящее время технологии создания объектов с помощью различных 3D принтеров стали очень популярны. Эти устройства демонстрируют новые возможности в производстве различных изделий. Начав с посуды и мелких статуэток, 3D принтеры сегодня доказывают свои возможности действующими моделями автомобилей, авиационных двигателей и даже домов в натуральную величину.

Технологии 3D печати внедряются во многие сферы деятельности людей: от домашних развлечений до использования в медицинских целях для создания протезов или даже полноценных органов. Также 3D-печатающие устройства начинают применяться в промышленности, но пока не особо активно, т.к. 3D принтеры осуществляют печать в основном на основе пластиков, которые уступаю по своим характеристикам основным конструкционным материалам. Это стало возможным с появлением принтеров, осуществляющих печать образцов из различных металлов, используя специальную технологию 3D печати LENS (LASER ENGINEERED NET SHAPING). Такие принтеры открывают широкие возможности для развития всех отраслей промышленности, в первую очередь, авиационно-космическую.

3D технологии позволяют значительно упростить процесс создания деталей, значительно сократить количество сборочных операций, т.к. большую часть работы совершает сам принтер, и остается лишь собрать готовое изделии из деталей, не требующих дальнейшей обработки. Также 3D принтеры позволяют полностью автоматизировать процессы производства, напрямую работая с программным обеспечением для твердотельного моделирования объектов, такими как Solid Works, Siemens и другие.

Целью задуманного проекта является создание работоспособной модели самолета на основе технологий 3D печати: после отработки процесса твердотельного моделирования сборочных единиц, продемонстрировать возможности применения данной технологии в авиамоделизме.

Использование 3D принтеров в авиастроение, позволит значительно ускорит и упростить процесс создания авиатехники. На примере авиамоделей, с помощью 3D печати возможно производство всех деталей летательного аппарата, за исключением электроники. Это позволит создавать авиамодели значительно быстрее, т.к. в этом случае требуется всего лишь распечатать модель и собрать, установить электронику и отрегулировать аппаратуру. Т.е. появляется возможность сборки и производства летательных аппаратов, практически в любом месте, где установлено необходимое оборудование: 3D принтер и компьютер с соответствующим программным обеспечением. Таким образом, можно распечатывать модели даже в полевых условиях, например, авиамодели с боевым применением в качестве самолетов-разведчиков.

Современные 3D принтеры способны печатать различными материалами, что необходимо для создания полноценных летательных аппаратов, не уступающих по своим характеристикам моделям, созданным с применением классических технологий. Для печати различными материалами существуют специальные технологии 3D печати, отличающиеся по используемому материалу, а также физическому принципу печати. Далее будут рассмотрены основные технологии 3D печати и виды 3D принтеров.

Оказывается, история появления этих устройств насчитывает несколько столетий. Впервые идея автоматизированного изготовления трехмерного твердого тела была реализована еще в XVIII в. для копирования медальонов. Позднее Джеймс Ватт изготовил несколько машин, способных к вырезанию полноразмерного человеческого бюста. В конце прошлого столетия в роторную технику обработки на токарных станках и шлифовальных устройствах было внедрено управление посредством ЭВМ – появились знаменитые станки с «числовым программным управлением (ЧПУ)», позволившие на основе программ машинного проектирования напрямую материализовывать проекты, синтезированные в компьютерах [1].

Нынешний уровень развития 3D принтеров характеризуется большим многообразием принципов, положенных в основу их функционирования. Существует более 30 различных процессов аддитивного прототипирования, уже реализованных в 3D принтерах, среди которых наиболее успешно проработаны пять методов:

1. Сплавляющее экструдерное осаждение (Fused Deposition Modelling, FDM).
2. Баллистическое осаждение частиц (Ballistic Particle Manufacturing, BPM).
3. Стереолитография (Stereolithography, SL).
4. Многослойное изготовление объектов (Laminated Object Manufacturing, LOM).
5. Селективное лазерное спекание (Selective Laser Sintering, SLS).

В основе **процесса экструдерного осаждения** лежит использование нитевидного материала диаметром менее 0,18 мм, который локально разогревается в экструдере и осаждается в полужидком состоянии для построчного формирования трехмерного объекта. Пластмассовую (из стиролбутадиен-акрилонитрила или поликарбоната), воскообразную либо эластомерную нить предварительно наматывают на бобину и затем обжимными роликами протягивают через экструдерную головку, которая перемещается в трехкоординатной системе отсчета по командам процессора. Управляемое компьютером сопло подает формирующий материал в расплавленном за счет нагрева виде. По истечении из сопла компоновочное вещество осаждается на изготавливаемом объекте, затвердевая под действием температуры окружающей среды.

Существенной особенностью FDM-системы является прецизионная сбалансированность температуры разжиженного материала, лишь незначительно превышающей температуру его затвердевания [1].

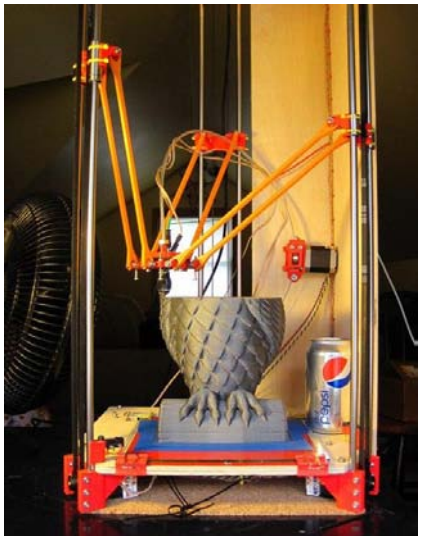


Рис. 1. FDM-принтер, печатающий статуэтку

Баллистическое осаждение частиц (BPM) – это технология, суть которой аналогична процессу печати обычного струйного принтера. Механической основой BPM является подвижная пьезоэлектрическая головка, которая выбрасывает одинаковые крошечные капли расплавленного термопласта, закрепляющиеся на поверхности синтезируемой модели**.** Для сглаживания осажденных капель и формирования гладкой поверхности используется вторая, нагревательная, головка. При необходимости создания нависающих структур в синтезируемом объекте применяют специальный связующий материал, который поддерживает их на промежуточных стадиях формирования. Впоследствии его можно легко удалить растворителем. Термопласт нетоксичен и может быть разного цвета. Преимуществами BPM-технологии являются ее дешевизна, возможность реализации в настольных системах, не требующих больших расходов электроэнергии [2].

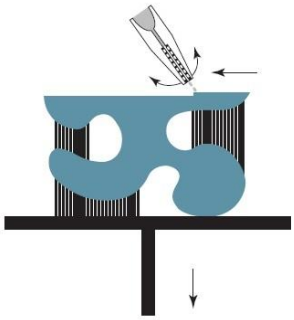


Рис. 2. Процесс BPM печати

Стереолитография (SL) на сегодня считается самой известной технологией трехмерной печати. Типичный 3D принтер от 3D Systems состоит из четырех основных подсистем: компьютера построения сечений, управляющей ЭВМ, камеры синтеза и лазерного блока. Компьютер построения сечений преобразует модель в виде STL-файла в совокупность послойных сечений с заданным шагом, описание которых помещается в SLI-файл. Управляющая ЭВМ по информации, содержащейся в SLI-файле, управляет перемещением механических узлов принтера (элеватора, зеркальной системы, тральщика и т.д.) в течение всего времени синтеза. Камера синтеза содержит емкость, предварительно заполняемую жидким фотоотверждаемым полимером**.**

Внутри этой емкости по командам управляющей ЭВМ может перемещаться в вертикальном направлении опорная платформа из перфорированной толстолистовой стали (элеватор). В исходном состоянии рабочая платформа элеватора удалена от поверхности жидкого полимера на расстояние, равное толщине первого слоя синтезируемого объекта. С началом синтеза лазерный луч сканирует поверхность полимера в соответствии с текущим сечением будущей модели. Фотополимерная жидкость под действием лазерного луча переходит в твердую фазу с малым поглощением его энергии. Когда лазерный луч полностью отсканирует первый слой, элеватор перемещается на один уровень ниже, и после успокоения жидкости процесс лазерного сканирования повторяется вновь. По завершении синтеза заготовку модели удаляют из резервуара и подвергают окончательной обработке до достижения заданной прочности в специальной камере с мощным ультрафиолетовым облучателем. Поскольку объект синтезируется в жидкой среде, то для поддержания прочности нависающих фрагментов во время формирования последующих уровней необходимо использовать опорные элементы, создаваемые точечной лазерной засветкой фотополимера. После завершения синтеза объекта опорные элементы удаляют [1].

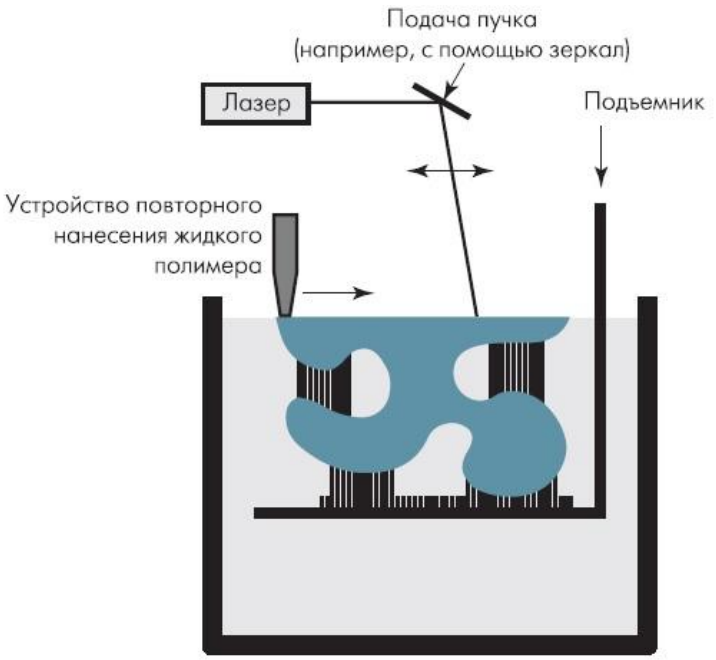


Рис. 3. Процесс стереолитографии

В основе технологии многослойного изготовления объектов (LOM) лежит использование сверхтонких листовых материалов, из которых с помощью лазера либо прецизионной фрезы вырезают послойные сечения трехмерной модели, склеиваемые друг с другом по заданной программе. Точность и разрешающая способность LOM-процесса уже сейчас можно легко довести до 0,05 мм, а в дальнейшем, по мере совершенствования прецизионных механизмов позиционирования и создания более тонких пленочных материалов, до 0,01 мм.

LOM-метод позволяет очень быстро изготовить твердотельные крупногабаритные объекты с размерами, недостижимыми пока никакими другими технологиями прототипирования. В процессе LOM-синтеза можно широко использовать разнообразные нетоксичные материалы (металлы, пластмассы, керамику) более чем 60 цветов [2].

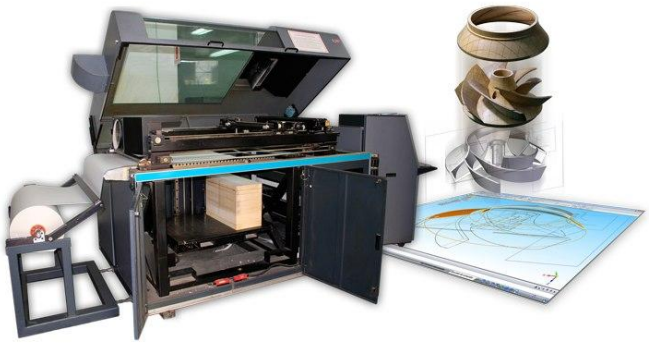


Рис. 4 Создание объекта на основе LOM-технологии

Селективное лазерное спекание (SLS) представляет собой процесс трехмерной печати, основанный на использовании лазерного луча, управляемого компьютером, для выборочного спекания металлического или неметаллического порошка в копию трехмерного объекта. Современный SLS-процесс основан на принципе послойного изготовления. Мелкодисперсный порошок хранят в специальном контейнере. Применяют поликарбонатные пластмассы, поливинилхлорид, нейлон, металл, керамику, воск и другие, уменьшающие свою вязкость при высокой температуре. CO_2-лазер обеспечивает послойную агломерацию частиц порошка путем их нагрева. Неспекшийся порошок используют повторно для формирования последующих уровней изделия. Все известные SLS-системы содержат в качестве обязательного компонента фильтрующее оборудование, поглощающее сопутствующие процессу агломерации токсичные газообразные продукты.

Для получения порошкообразного сырья в последнее время все чаще применяют технологию сверхмощного электромагнитного импульса длительностью 10^{-7}–10^{-6} с и энергией, равной двум–трем энергиям связи атомов разрушаемого вещества. При прохождении столь сокрушительного воздействия по нитевидной заготовке из требуемого материала та переходит в мелкодисперсную фазу со средней величиной частиц от 10 мкм до 20 нм.

Фиксацию порошковых материалов на поверхности синтезируемого объекта можно осуществлять не только с помощью лазера, как это предусмотрено в SLS-концепции, но и путем воздействия на порошок специальных связующих веществ. Именно такой принцип заложен в основу принтеров от Z Corporation (США), оперирующих нетоксичными порошковыми материалами на основе крахмала или гипса и водным связующим веществом [2].

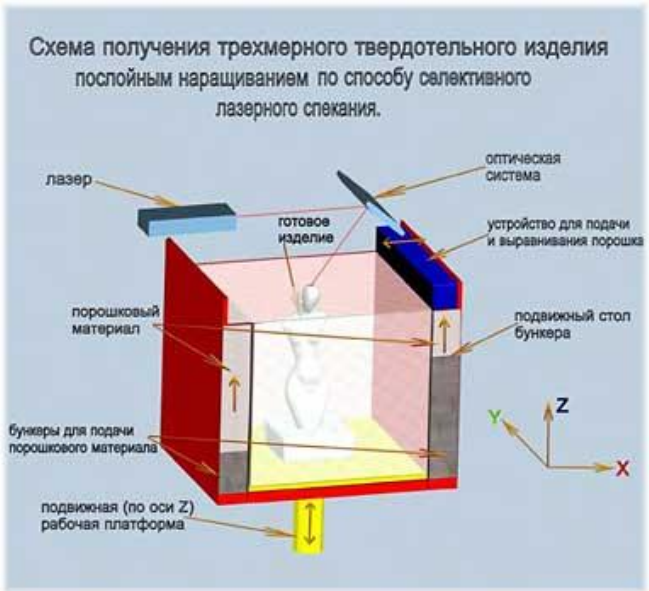


Рис. 5. Схема получения изделия
по способу селективного лазерного спекания

На первом этапе экспериментирования используется принтер на основе сплавляющего экструдерного осаждения (Fused Deposition Modeling, FDM). Детали сборки получаем из пластика – поликарбоната.

В процессе работы над проектом были созданы две твердотельные модели самолетов, спроектированные в программной среде Solid Works. В силу того, что принтер имеет ограниченное поле печати, было принято решение создавать модель, состоящую из нескольких частей: верхняя и нижняя части фюзеляжа, крыло, рули направления и высоты, элероны. Такое решение позволит создать модель больших габаритов, чем поле печати принтера, а также облегчить процесс сборки и установки электроники в модель.

Рис. 6. Модель самолета № 1

Создаваемые модели спроектированы с учетом последующей простоты сборки, что позволит собрать их за короткий промежуток времени. Для этого все детали спроектированы с учетом взаимной состыковки, предусмотрены штифты и соответствующие им отверстия.

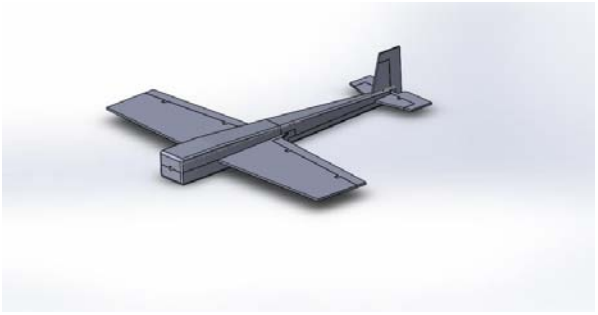


Рис. 7. Модель самолета № 2

Первая модель создавалась для отработки процесса печати и проверки характеристик полученных деталей. В результате первой печати были получены рули высоты и направления, а также элероны. Данные детали имеют масштаб 1:2. Полученные образцы имеют хорошие характеристики, в частности, они превосходят по прочности деталей из традиционного авиамодельного материала – пенополиэстирола при тех же габаритах, однако уступают им в массе.

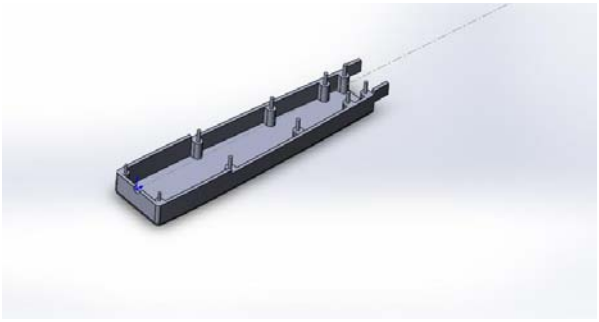


Рис. 8. Деталь фюзеляжа с установочными штифтами

Пробная печать обнадеживает, что задуманное вполне достижимо. В дальнейшем планируется печать сборочных единиц полноценной модели, оборудование ее электроникой и проверка в процессе радиоуправляемых летных испытаний.

Библиографический список

1. Слюсар, В.И. Фаббер-технологии: сам себе конструктор-фабрикант / В.И. Слюсар // Конструктор. – 2002. – № 1. – С. 5–7.

2. Слюсар, В.И. Фаббер-технологии. Новое средство трехмерного моделирования / В.И. Слюсар // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2003. – № 5. – С. 54– 60.

3. Слюсар, В.И. Фабрика в каждый дом / В.И. Слюсар // Вокруг света. – 2008. – № 1 (2808). – С. 96–102.

К содержанию

МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УДК 658.512–52+ 004.4 + 621.753 + 621.002.2 + 514.116

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭТЮДЫ В РАСЧЕТЕ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

В.Ю. Шамин, П.Г. Пугач

При расчете конструкторских и технологических размерных схем на плоскости учитываются тригонометрические фикции с предельными значениями углов и размеров. Это позволяет отследить все возможные колебания углов и размеров при разработке управляющих программ для сложных операций с множеством технологических переходов и рабочих ходов.

Ключевые слова: интегрированное решение; тригонометрические функции; вычисления проекций; фиксированный набор формул; множества переменных; поясняющая иллюстрация; экстремум на крайних точках; перебор переменных; предельные значения.

Долгое время программный модуль расчета размерных цепей ППП «Visual KursAR» [1] ограничивался расчетом плоских размерных схем без учета проекций размеров, участвующих в общей пространственной схеме. В этом случае часть размерных проекций приходилось решать отдельно, перенося результаты в программу для окончательного расчета. Нарастающие производственные объемы обнажили необходимость доработки программы математической библиотекой для интегрированного решения задачи полностью в ППП, вычисления проекций размеров на плоскую схему без использования сторонних решений, что повысило бы производительность для решения актуальных производственных задач.

Одной из основных особенностей нового математического модуля должна была стать универсальность и расширяемость, чтобы постановка новых математических задач проходила без переделки модуля, не было ограничения фиксированным набором формул. Немаловажной особенностью новой разработки стала и визуальная часть библиотеки, когда типовые задачи оформляются с поясняющей иллюстрацией для удобного выбора необходимого способа решения.

Задача была поставлена в реализации расчетного модуля функций множества переменных, заданных интервальными значениями. Реализация математической библиотеки разделилась на два этапа. На первом этапе был разработан алгоритм решения линейных функций, когда экстремум достигается на крайних точках. Для решения такой задачи необходимо перебрать все сочетания предельных значений переменных. Количество таких сочетаний составляет 2^n, где n – количество переменных, тогда минимальное и максимальное значения функции мы получаем, рассчитав значение функции 2^n раз.

Очевидно, что для решения квадратичных функций недостаточно рассматривать только предельные значения из поля допуска. Например, для решения простейшей функции $(x - 2)^2$ с допуском значений x в диапазоне [1.8…2.2] минимальное значение лежит внутри интервала. Вторым этапом разработки математической библиотеки стала реализация алгоритма с перебором фиксированного набора значений переменных из заданных полей рассеяния. Было решено ограничиться перебором 10 значений из интервала. Таким образом, получаем 10^n различных вариантов значений. Для нахождения минимального и максимального значений квадратичной функции с шестью переменными разработанный алгоритм должен выполнить один миллион вычислений значения этой функции.

Библиографический список

1. Шамин, В.Ю. Теория и практика решения конструкторских и технологических размерных цепей [Электронный ресурс]: электронное учебное пособие. – 5-е изд., перераб. и доп. / В.Ю. Шамин. – Электрон. текст. дан. (14,0 Мб). – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013.

К содержанию

УДК 621.922 + 621.9.01

РЕЖУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЛЕНТ С РАЗЛИЧНЫМИ СВЯЗУЮЩИМИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ФРИКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.М. Сарайкин, Ф.Я. Корчмарь, В.Ю. Гвоздев

В работе описаны результаты лабораторных экспериментов по определению режущей способности шлифовальных лент с различными связующими при шлифовании фрикционных материалов. Испытывались ленты со связующими: формальдегидная смола, формальдегидная смола с мездровым клеем, фурфуролальдегидная смола, мездровый клей.

Ключевые слова: шлифование, абразивная лента, фрикционный материал, режущая способность, период стойкости.

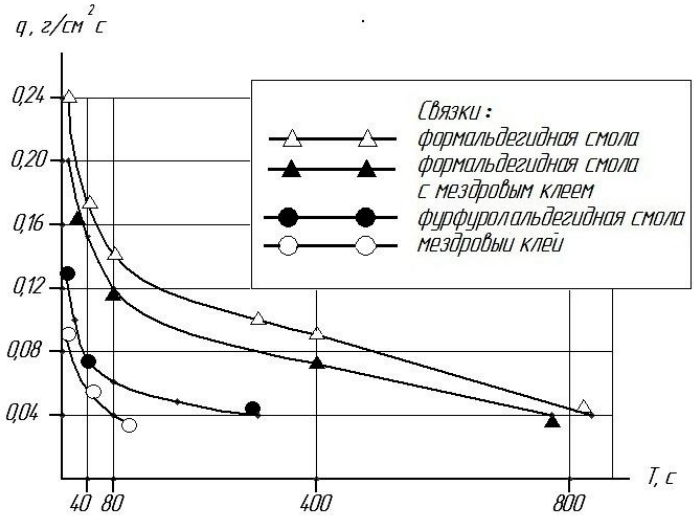
Шлифование и полирование абразивными лентами как процессы механической обработки на станках получили широкое применение [1]. Давление и силы, возникающие при этом виде шлифования, значительно меньше, чем при шлифовании кругами, а это позволяет с успехом применять шлифование лентами при обработке разнообразных материалов, в том числе и фрикционных. К преимуществам и особенностям процесса шли-

фования абразивной лентой по сравнению со шлифованием жесткими шлифовальными кругами следует отнести большую безопасность работы, постоянство скорости резания, эластичность и упругость лент, значительно большую рабочую поверхность лент, отсутствие необходимости балансировки инструмента, быструю смену отработанных лент, меньшую квалификацию работы и рабочих.

Режущая способность лент зависит от вида абразивного материала, зернистости абразивных зерен, способа нанесения абразивных зерен на основание (ткань), прочности сцепления зерен с основанием, режима шлифования и др.

В работе [2] нами описана принципиальная схема лабораторного стенда и результаты экспериментов по определению работоспособности абразивных лент из различных абразивных материалов при обработке фрикционных материалов. Установлено, что при скорости шлифования 30 м/с лентой зернистости Р40 ГОСТ 52381-2005 со связующим веществом – мездровый клей и давлении ленты к шлифуемому образцу 0,5 кгс/см^2 наибольший суммарный съем шлифуемого материала обеспечивали ленты с зерном черного карбида кремния марки 51С. Дальнейшая работа велась с использованием описанного стенда.

Целью настоящей работы являлось повышение режущей способности ленточного шлифования автомобильных тормозных накладок за счет применения эффективных клеевых составов, закрепляющих слой абразивных зерен к тканевому основанию. Исследовались ленты из шлифовальной шкурки серийного и лабораторного производства на следующих связующих: формальдегидная смола, формальдегидная смола с мездровым клеем, фурфуролальдегидная смола, мездровый клей. Осуществлялось врезное шлифование с постоянным давлением ленты на шлифуемый образец. Охлаждение – естественное, воздушное. Шлифование производилось прерывисто, циклами. Продолжительность первых пятен циклов – по 5 с, с 6 по 10 циклы – по 10 с, все последующие циклы – по 15 с. Такая технология лабораторных испытаний обуславливалась необходимостью иметь более подробную информацию изменения режущей способности в первоначальный период работы ленты. Продолжительность цикла более 15 с нецелесообразна из-за значительного нагрева шлифуемого образца. В процессе испытания абразивных лент определялась их режущая способность – съем материала в единицу времени с единицы площади заготовки (г/с·см^2) и период стойкости ленты (с) (см. рис.). Съем материала образца тормозной накладки определялся взвешиванием последнего до и после шлифования на технических весах с точностью 0,01 г.



Зависимость режущих свойств абразивных лент 51СР40
на различных связках за время их работы (p = 0,5 кгс/см^2)

По результатам экспериментов наибольшей работоспособностью обладают ленты с формальдегидной связкой меньшей – ленты со связкой из формальдегидной смолы и мездрового клея, еще меньшей – ленты с фурфуролальдегидной связкой и наименьшей работоспособностью обладают ленты на мездровом клее. Опыты были повторены при давлении ленты на образец p = 0,8 кгс/см^2, при этом получены аналогичные результаты. Большая работоспособность абразивных лент на формальдегидной связке может быть объяснена большей прочностью закрепления зерен этой связкой. Работоспособность лент на других связках уменьшалась по мере уменьшения прочности закрепления зерна этими связками: формальдегидная смола с мездровым клеем, мездровый клей, фурфуролальдегидная смола. Прочность закрепления зерна в лентах на мездровом связующем выше, чем в лентах с фурфуролальдегидной связкой. Меньшая работоспособность лент с мездровой связкой связана потерей благоприятной ориентации зерен в процессе шлифования под действием выделяющегося тепла, размягчающего мездровый клей. При более прочном закреплении зерна в связке большую работу резания производят зерна, наиболее выступающие над основным рабочим слоем. При менее сильном их закреплении эти зерна выбиваются из связки в начальный момент шлифования.

Библиографический список

1. Ипполитов, Г.М. Шлифование и полирование абразивными лентами / Г.М. Ипполитов, К.С. Митревич. – М.: Машиностроение, 1978.

2. Сарайкин, А.М. Эксплуатационные свойства абразивного инструмента для обработки фрикционных материалов / А.М. Сарайкин, Ф.Я. Корчмарь, В.Ю. Гвоздев // Прогрессивные технологии в машиностроении: сб. науч. тр. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013.

К содержанию

УДК 621.923.74

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ

А.А. Николаенко

Рассмотрено моделирование операций глубинного шлифования периферией круга для станков с ЧПУ. Приведенная методика моделирования операций глубинного шлифования разработана в соответствии с рекомендациями Международной академии технологии производства (*CIRP*) для механической обработки. Представлены математические модели для расчета сил резания, точности обработки и оптимизации режима резания. Разработанные математические модели введены в компьютерную программу, которая автоматически формирует управляющую программу для шлифовального станка с ЧПУ.

Ключевые слова: математические модели, глубинное шлифование, методика моделирования операций механической обработки.

Для моделирования механической обработки разработан стандарт *ISO* 3002 «Основные величины в резании и шлифовании» (*Basic quantities in cutting and grinding*) [1]. Дополнительная терминология представлена в документе Единая терминология *CIRP* (*CIRP Unified Terminology*) [2].

Аспекты моделирования. Главной целью моделирования процессов механической обработки является разработка системы прогнозирования их выходных параметров и эффективного планирования технологического процесса для достижения его оптимальных показателей: производительности, качества и стоимости.

Параметры процесса механической обработки разделены на две категории:

а) технические аспекты (*technical aspects*): точность формы и размеров, шероховатость обработанной поверхности и свойства поверхностного слоя детали;

б) экономические аспекты (*commercial aspects*), необходимые для управления: машинное время, стоимость обработки, производительность, брак и др.

Моделирование процессов механической обработки, предназначенное для практического применения может состоять из трех этапов.

Этап 1. Разработка моделей переменных процесса резания (моделируются основные явления в процессе образования стружки: напряжения, деформации, температуры, трение, длина контакта и площадь контакта, скорость стружки или усадка и др.).

Этап 2. Разработка моделей показателей процесса резания (моделируются несколько параметров обработки: силы, момент и мощность резания, износ инструмента, форма стружки, шероховатость обработанной поверхности или работоспособность поверхностного слоя и точность детали).

Этап 3. Определение оптимальных условий режима резания.

Цели моделирования: проектирование, оптимизация, управление процессами, имитация процессов, проектирование оборудования.

Рассмотрим основные этапы моделирования операций глубинного шлифования (ГШ) для станков с ЧПУ.

Исходные данные для моделирования операций ГШ включают в себя: параметры режима резания (глубину резания t, ширину резания $S_{поп}$, скорость круга V) геометрию режущего инструмента (наружный диаметр D), характеристики режущего инструмента (зернистость d_o, степень твердости ВМ1, номер структуры 12), свойства обрабатываемого металла (интенсивность напряжений σ_i), податливость станка с ЧПУ (f_i).

Этап 1. В общем случае при определении равнодействующей силы резания при шлифовании следует исходить в статике из равновесия активных (внешних) и реактивных (внутренних) сил, действующих на режущее зерно.

К реактивным силам относятся:

– сила сдвига от τ_S, действующая в направлении плоскости сдвига β_1;

– сила сжатия в направлении нормальных напряжений σ_N;

– сила трения стружки по передней поверхности зерна;

– сила трения обрабатываемого металла о площадку затупления (рис. 1).

В общем виде работа деформации A_D для объема деформируемого металла W составляет:

$$A_D = \iiint_W \sigma_i \, \varepsilon_i \, dW, \qquad (1)$$

а в движущейся вместе с инструментом системе координат эту формулу можно представить в следующем виде:

$$N = \frac{A_D}{dt} = \iiint_W \sigma_i \, \dot{\varepsilon}_i \, dW, \qquad (2)$$

где N – мощность деформаций; ε_i – интенсивность деформаций; $\dot{\varepsilon}_i$ – интенсивность скорости деформаций; σ_i – интенсивность напряжений в движущемся объеме деформируемого металла.

Этап 1. Зависимость для расчета тангенциальной составляющей силы резания единичным зерном:

$$P_Z^3 = \frac{k_3 \sigma_i \, \varepsilon_i \cdot a_s \cdot l_з \cdot V}{V} + \mu_i \, k_2 \sigma_i \cdot f_p = \frac{k_3 \sigma_i \, \varepsilon_i \cdot Q^3}{V} + \mu_i \, k_2 \sigma_i \cdot f_p. \qquad (3)$$

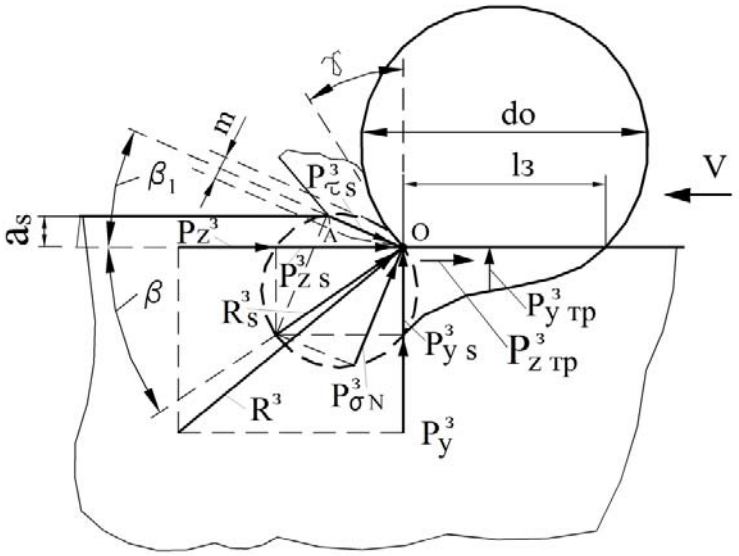


Рис. 1. Схема составляющих силы резания и эпюра напряжений при работе зерна с площадкой затупления

Формула (3) устанавливает зависимость тангенциальной составляющей силы резания зерном с интенсивностью съема металла $Q_з$.

Зависимость для расчета радиальной составляющей силы резания кругом:

$$P_{y_i} = \frac{k_1 \sigma_i \varepsilon_i \cdot V_{s\,пр}\, t_ф\, S_x}{V} + \frac{k_2 \sigma_i \pi \left(k_o d_o\right)^2 W_з W_c k_i \cdot \sqrt{D t_ф}\, S_x}{\left(W_з + W_c + W_п\right) 4 W_п d_o^2}, \qquad (4)$$

где $V_{s\,пр}$ – скорость продольной подачи; $t_ф$ – фактическая глубина резания; S_x – поперечная подача на ход (ширина шлифования).

Зависимость для расчета тангенциальной составляющей силы резания кругом:

$$P_{z_i} = \frac{k_3 \sigma_i \varepsilon_i \cdot V_{s\,пр}\, t_ф\, S_x}{V} + \frac{\mu_i k_2 \sigma_i \pi \left(k_o d_o\right)^2 W_з W_c k_i \cdot \sqrt{D t_ф} \cdot S_x}{\left(W_з + W_c + W_п\right) 4 W_п d_o^2}, \qquad (5)$$

Таким образом, уравнения (4, 5) устанавливают взаимосвязь составляющих силы резания кругом с режимом резания и характеристиками круга (зернистостью, твердостью, структурой).

Расчет погрешности обработки детали по данному параметру (размеру, отклонениям формы, расположения и т.п.) состоит из трех шагов.

На первом шаге проводят схематизацию реальной операции. На втором шаге выполняют теоретический анализ операции, в результате которого устанавливают зависимости для расчета элементарных и суммарной погрешностей. На третьем шаге экспериментально проверяют полученные соотношения.

Расчетная схема упругих перемещений для ГШ представлена на рис. 2.

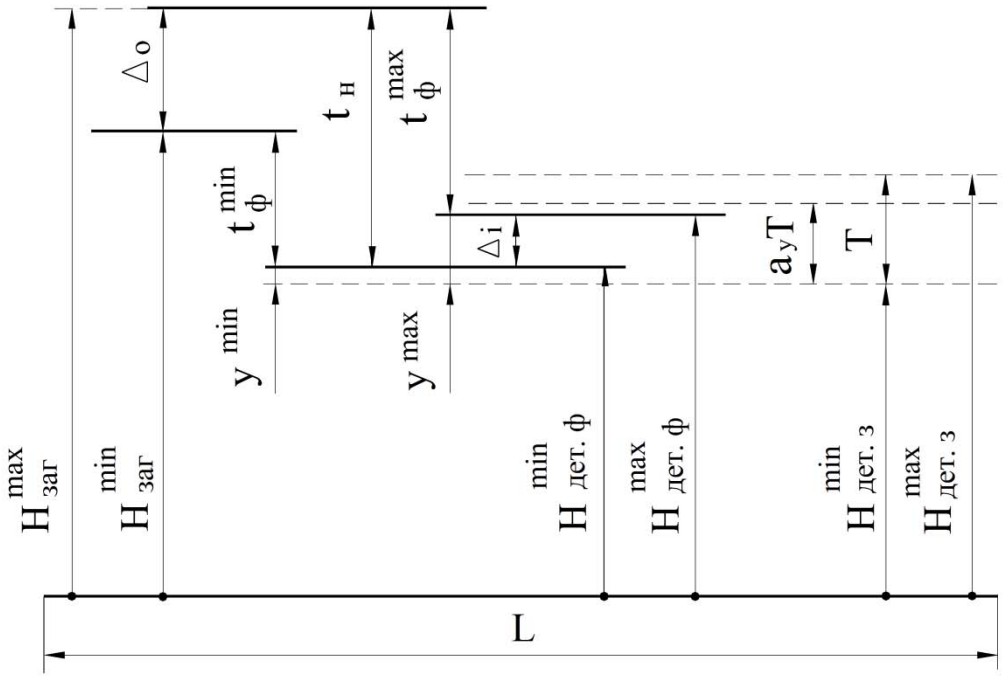


Рис. 2. Расчетная схема для определения упругих перемещений

Здесь $H_{заг}^{min}$, $H_{заг}^{max}$ – соответственно минимальная и максимальная высота заготовки; $H_{дет.ф}^{min}$, $H_{дет.ф}^{max}$ – соответственно минимальная и максимальная фактическая высота детали; $H_{äåò.ç}^{min}$, $H_{äåò.ç}^{max}$ – соответственно минимальная и максимальная заданная чертежом высота детали; $t_н$ – номинальная глубина резания; $t_ô^{min}$, $t_ô^{max}$ – соответственно минимальная и максимальная фактическая глубина резания; y^{min}, y^{max} – соответственно минимальное и максимальное упругое отжатие; T – допуск на размер; a_y – часть допуска на размер, отводимая для упругих перемещений.

Этап 3. Математически задача оптимизации режимов резания формулируется следующим образом. Найти вектор $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$, оптимизационных параметров, чтобы он:

а) удовлетворял системе ограничений:

$$\begin{gathered} f_1(x_1, x_2, \ldots, x_n) * f_1^o; \\ f_k(x_1, x_2, \ldots, x_n) * f_k^o; \\ f_{k+1}(x_1, x_2, \ldots, x_n) * f_{kn}^o; \\ f_m(x_1, x_2, \ldots, x_n) * f_v, \end{gathered} \qquad (6)$$

где * – один из знаков $=, \neq, <, >, \leq, \geq$;

б) обеспечивал экстремум функций цели:

$$F\left(x_1,\ x_2,\ \ldots,\ x_n\right) \rightarrow extr \qquad (7)$$

Ограничения на режимы резания для операций ГШ делятся на две основные категории:

1) технические (по мощности главного привода и диапазону подач станка);

2) технологические (по точности и качеству детали);

Технические ограничения

А. Ограничение на режим резания по мощности главного привода станка моделируется исходя из равенства максимальной мощности резания на рабочем ходе $N_{p.x}^{max}$ и максимально допустимой мощности главного привода станка $\left[N_{гл.\,пр}^{max}\right]$:

$$N_{p.x}^{max} = \left[N_{гл.\,пр}^{max}\right] = const, \qquad (8)$$

Максимально допустимая мощность главного привода станка определяется по мощности электродвигателя:

$$\left[N_{ãë.ïð}^{max}\right] = N_{ý.ä} \cdot k_{ï.ä} = const, \qquad (9)$$

где $N_{эд}$ – мощность электродвигателя на главном приводе станка; $k_{ï.ä}$ – коэффициент полезного действия.

По максимально допустимой мощности главного привода производится настройка защитных реле станка, которые выключают его, если $N_{p.x}^{max} > \left[N_{гл.пр}^{max}\right]$.

С учетом (9) уравнение (8) можно записать следующим образом:

$$\left[\ N_{p.x}^{max}\ \right] = N_{э.д} \cdot k_{п.д} = const. \qquad (10)$$

Максимально допустимая мощность, затрачиваемая на резание равна разнице между максимальной мощностью резания на рабочем ходе $N_{p.x}^{max}$ и мощностью электродвигателя на холостом режиме работы $N_{x.x}$:

$$\left[N_{рез}^{max}\right] = N_{p.\,x.}^{max} - N_{x.x}, \qquad (11)$$

Уравнение (11) показывает, что мощность, затрачиваемая на резание при рассчитанных по ограничениям режимах резания не должна превышать мощности $\left[N_{рез}^{max}\right]$, которая обусловлена мощностью привода станка.

С другой стороны мощность $[\,N_{рез}^{max}\,]$ можно рассчитать через предельную тангенциальную силу резания $\left[\sum_{i=1}^{n} P_{Z_i}^{max}\right]$ и скорость круга V. На операциях ГШ скорость круга принимается по прочности круга. Следовательно, можно записать:

$$\left[N_{рез}^{max}\right] = \left[\sum_{i=1}^{n} P_{Z_i}^{max}\right] \cdot V = \text{const}. \qquad (12)$$

Приравняв правые части уравнений (11) и (12), и решая относительно тангенциальной силы резания, получим значение $\left[\sum_{i=1}^{n} P_{Z_i}^{max}\right]$ по приводу станка:

$$\left[\sum_{i=1}^{n} P_{Z_i}^{max}\right] = \frac{\left[N_{p.x}^{max}\right] - N_{x.x}}{V} = \frac{\left[N_{рез}^{max}\right]}{V} = \text{const}. \qquad (13)$$

Условие, при котором будет обеспечена работа станка по мощности его главного привода, запишется следующим образом:

$$\sum_{i=1}^{n} P_{Z_i} \cdot V \le \left[N_{рез}^{max}\right]. \qquad (14)$$

Расчет тангенциальной силы резания производится по формуле (5).

Рассмотрим вариант увеличения силы Pz_i за счет изменения скорости продольной подачи. Зная предельное значение тангенциальной силы резания (13) можно, задавая в формуле (15) любую глубину резания (стремясь снять весь припуск за один рабочий ход), рассчитать максимально допустимое (по мощности главного привода) значение скорости продольной подачи. Расчет максимально допустимого значения скорости продольной подачи производится следующим образом.

Формулу (15) для расчета тангенциальной составляющей силы резания Pz_i можно сжато (через коэффициенты) записать как:

$$Pz_i = \frac{V_{s\,пр} \cdot t_{ф.i} \cdot k_4}{V} + \frac{k_5 \sqrt{t_{ф.i}}}{k_6}, \qquad (16)$$

где $k_4 = T_i\, \sigma_i\, \varepsilon_i\, k_3$; $k_5 = \sqrt{D_i^{max}} \cdot T_i\, \mu_i\, k_2\, \sigma_i\, \pi\, (k_o\, d_o)^2\, W_з\, W_п\, k_i$;

$k_6 = (W_з + W_c + W_п)\, 4\, W_п\, d_o^2$.

Подставляя (16) в (14), получим:

$$\frac{V_{s\,пр}\, t_{ф.i}\, k_4}{V} + \frac{k_5 \sqrt{t_{ф.i}}}{k_6} \le \frac{\left[N_{рез}^{max}\right]}{V}. \qquad (17)$$

Решая неравенство (17) относительно $V_{s\ пр}$, получим матмодель для расчета максимально допустимой скорости продольной подачи по мощности главного привода станка

$$V_{s\,пр\left[N_{рез}^{max}\right]} \le \left(\frac{\left[N_{рез}^{max}\right]}{t_{ф.i}\,k_4} - \frac{V\,k_5}{\sqrt{t_{ф.i}}\cdot k_6} \right). \qquad (18)$$

При глубине резания равной припуску ($t_{ф.i} = Z^i$) неравенство (18) позволяет проверить возможность снятия припуска за один рабочий ход.

Аналогично максимально допустимой скорости продольной подачи $Vs\,пр_{\left[N_{рез}^{max}\right]}$ определяется максимально допустимая (по мощности главного привода) глубина резания:

$$t_{ф.i\left[N_{рез}^{max}\right]} \le \left\{ \frac{\frac{-k_5 V}{k_6} + V\sqrt{\left(\frac{k_5}{k_6}\right)^2 + \frac{4V_{s\,пр}\,k_4\cdot\left[\,N_{рез}^{max}\,\right]}{V^2}}}{2V_{s\,пр}\,k_4} \right\}^2. \qquad (19)$$

Неравенство (19) является матмоделью для расчета максимально допустимой глубины резания по мощности главного привода станка.

Б. Ограничения на режим резания по диапазону скоростей и подач станка записываются следующим образом:

$$V_{s\,пр}^{min} \le V_{s\,пр}^{i} \le V_{s\,пр}^{max}, \qquad (20)$$

$$V^{min} \le V \le V^{max}, \qquad (21)$$

$$S_x^{min} \le S_x^{i} \le S_x^{max}, \qquad (22)$$

где $V_{s\,пр}^{i}$ – скорость продольной подачи для i–ой стадии шлифования; $V_{s\,пр}^{min}$ и $V_{s\,п\,р}^{max}$ – минимальная и максимальная скорости продольной подачи отрабатываемые станком; V – скорость шлифовального круга.

Полученные математические модели введены в компьютерную программу, которая позволяет автоматически сформировать режим резания (рис. 3) и управляющую программу (рис. 4) для любой стадии ГШ.

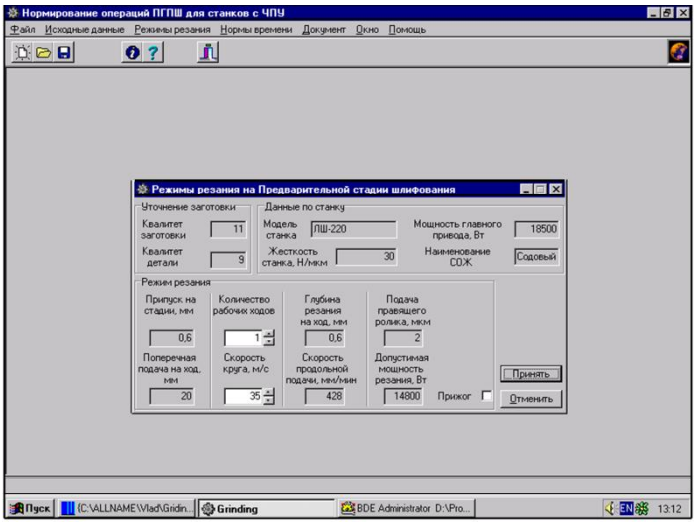


Рис. 3. Окно компьютерной программы
для расчета режима резания

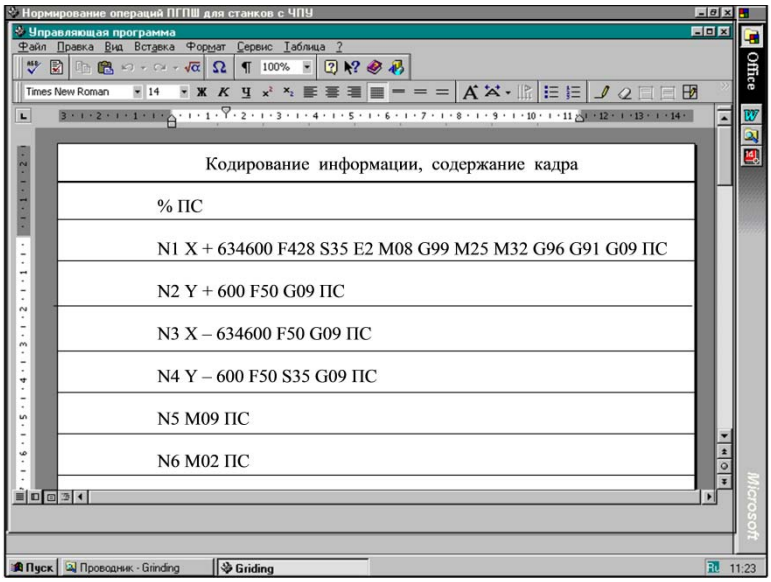


Рис. 4. Окно компьютерной программы с разработанной
управляющей программой для шлифовального станка с ЧПУ

Результатом моделирования является рассчитанный режим резания и управляющая программа для станка с ЧПУ.

Библиографический список

1. URL: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:3002:-3:ed-1:v1:en.
2. URL: https://www.cirp.net/images/cirpfichiers/publicfiles/UnifiedTerminology/unified_teminology_manufacturing_systems.pdf.

К содержанию

УДК 621.922 + 621.923

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ЕГО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С АБРАЗИВНЫМ МАТЕРИАЛОМ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Д.В. Ардашев

Статья содержит результаты эмпирических исследований взаимодействия абразивного зерна с обрабатываемым материалом при шлифовании. Выполненные экспериментальные исследования позволили установить количественные характеристики физико-химических процессов, протекающих при шлифовании. Созданные эмпирические модели позволяют прогнозировать коэффициент химического сродства для обрабатываемых материалов различного химического состава.

Ключевые слова: абразивное зерно, шлифование, физико-химическое взаимодействие.

В научно-технической литературе достаточно широко и полно описаны различные виды износа абразивных зерен при шлифовании. Это работы Т.Н. Лоладзе и Г.В. Бокучавы [1], Е.Н. Маслова [2], Л.Н. Филимонова [3], Л.Л. Мишнаевского [4], В.А. Носенко [5], S. Yossifon [6], S.J. Deutsch [7] и др. Одним из основных видов износа абразивных зерен при шлифовании является физико-химический.

Задача определения количественного параметра – коэффициента химического сродства абразивного и обрабатываемого материалов решалась на основе экспериментальных исследований, с применением электронного сканирующего микроскопа JSM 6460LV (JEOL, США) [8, 9]. В результате был получен достаточный объем экспериментальных данных, позволяющих оценить качественное и количественное влияние химического состава шлифуемого материала на интенсивность его физико-химического взаимодействия с абразивным материалом.

Анализируя влияние температуры в зоне контакта абразивного зерна и обрабатываемого материала можно заключить, что повышение температуры в зоне контакта абразивного зерна с обрабатываемой заготовкой приводит к повышению интенсивности физико-химического взаимодействия между материалами. Следовательно, в суммарном объеме изношенной части абразива увеличивается доля износа в результате данного механизма износа.

Полученные экспериментальные данные позволяют также оценить влияние конкретных химических элементов на интенсивность протекания физико-химического взаимодействия в зоне обработки (рис. 2) при средней температуре шлифования 600 ºС.

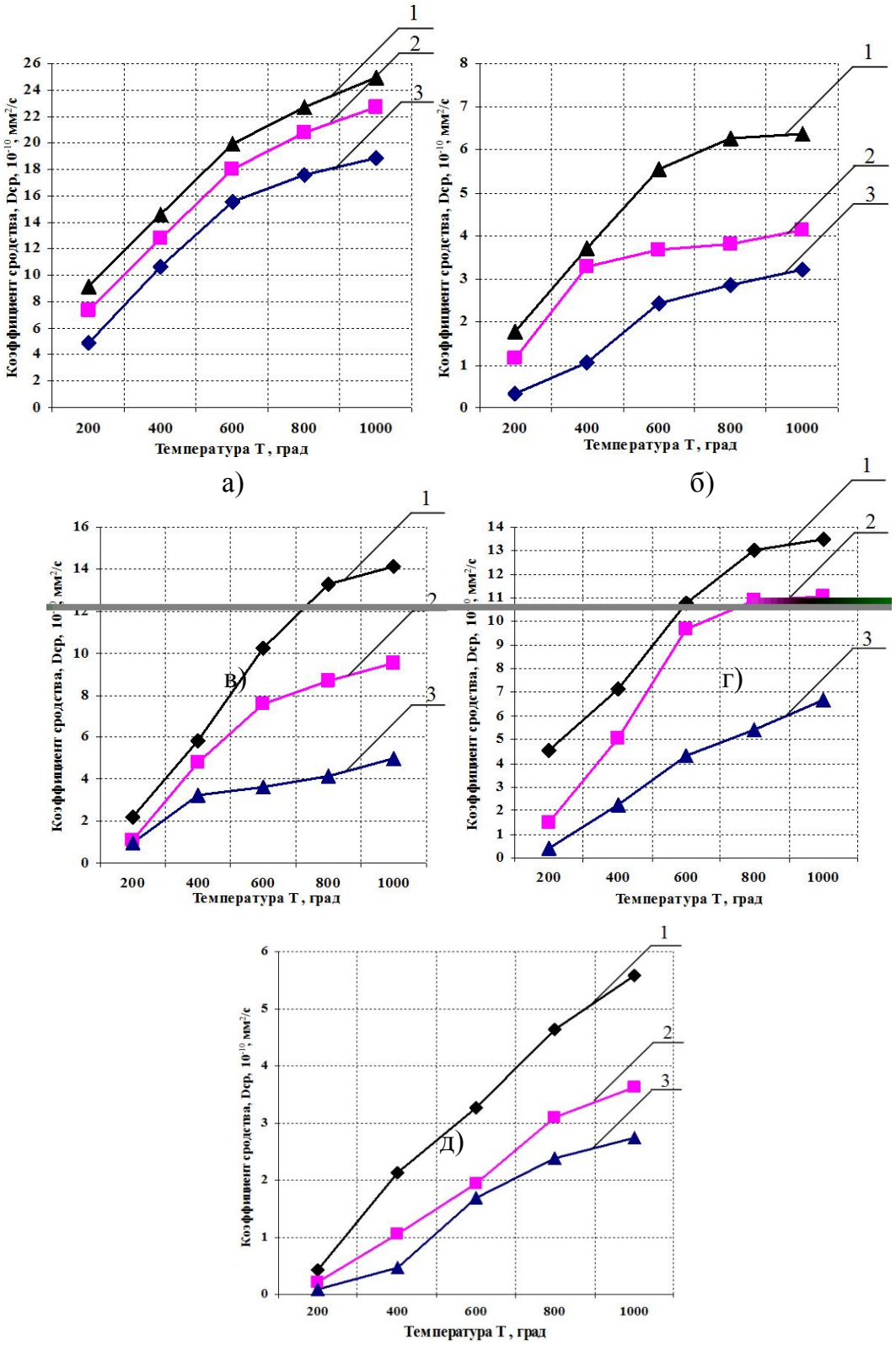


Рис. 1. Зависимость коэффициента химического сродства различных сталей от температуры: а) 1 – сталь 20, 2 – 30, 3 – 40; б) 1 – 20Х, 2 – 30Х, 3 – 40Х; в) 1 – 20Х13, 2 – 30Х13, 3 – 40Х13; г) 1 – 20ХН, 2 – 30ХН, 3 – 40ХН; д) 1 – 20ХН3А, 2 – 30ХН3А, 3 – 40ХН3А

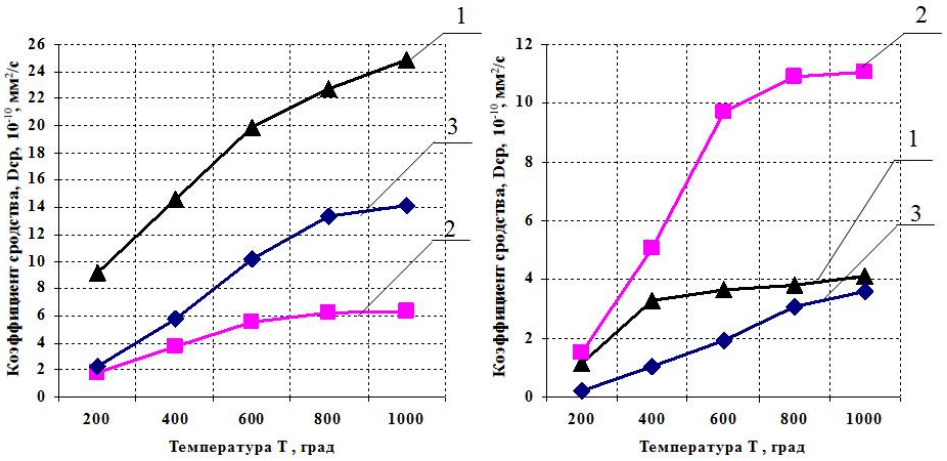


Рис. 2. Зависимость коэффициента химического сродства различных сталей от температуры: а) 1 – сталь 20, 2 – 20Х, 3 – 20Х13; б) 1 – 30Х, 2 – 30ХН, 3 – 30ХН3А

В таблице приведены данные для температуры 600 ºС. На рис. 3 приведены зависимости влияния углерода (а), хрома (б) и никеля (в) на величину коэффициента химического сродства.

Полученные данные позволяют оценить влияние основных химических элементов на интенсивность протекания физико-химического взаимодействия обрабатываемого материала с абразивным. Так, увеличение концентрации углерода в обрабатываемом материале приводит к снижению интенсивности физико-химических процессов при шлифовании: при увеличении в обрабатываемом материале концентрации углерода на 0,1 % коэффициент химического сродства снижается примерно на 10 %. При обработке материалов, содержащих в своем составе менее 1 % хрома, при увеличении концентрации хрома в составе обрабатываемого материала интенсивность взаимодействия с абразивным материалом резко снижается (более чем в 3 раза), в дальнейшем, увеличение концентрации хрома (более 1 %) повышает коэффициент химического сродства: при десятикратном увеличении концентрации хрома, коэффициент увеличивается примерно в 2…2,5 раза.

Обратное влияние оказывает концентрация в шлифуемом материале никеля. При его концентрации менее 1 % происходит увеличение коэффициента химического сродства примерно в 2 раза. Дальнейшее увеличение концентрации никеля приводит к снижению коэффициента: каждый дополнительный процент никеля уменьшает коэффициент примерно в 2 раза. Рассмотренное влияние в шлифуемой стали углерода на коэффициент химического сродства сохраняется при обработке хромоникелевых сталей: повышение концентрации углерода снижает интенсивность химического взаимодействия между обрабатываемым и абразивным материалом.

Таблица

Коэффициент химического сродства для материалов, отличающихся концентрацией различных химических элементов (для температуры 600 ºС)

Марка стали	Химический элемент	Содержание элемента, %, до	Коэффициент химического сродства $D_{ср} \cdot 10^{-10}$, мм^2/с
20	Углерод	0,2	19,88
30		0,3	18,02
40		0,4	15,58
20	Хром	0,25	19,88
20Х		1,00	5,54
20Х13		13,00	10,22
20Х	Никель	0,30	5,54
20ХН		1,00	10,75
20ХН3А		3,00	3,26
30	Хром	0,25	18,02
30Х		1,00	3,67
30Х13		13,00	7,57
30Х	Никель	0,30	3,67
30ХН		1,00	9,68
30ХН3А		3,00	1,93
40	Хром	0,25	15,58
40Х		1,00	2,43
40Х13		13,00	3,65
40Х	Никель	0,30	2,43
40ХН		1,00	4,29
40ХН3А		3,00	1,69

Дальнейшее исследование влияния концентрации химических элементов на интенсивность физико-химического взаимодействия с абразивным материалом при шлифовании позволит создать комплекс математических моделей для прогнозирования коэффициента химического сродства при абразивной обработке материалов различного химического состава. Это позволит вскрыть особенности физико-химического износа абразивного инструмента в различных технологических условиях.

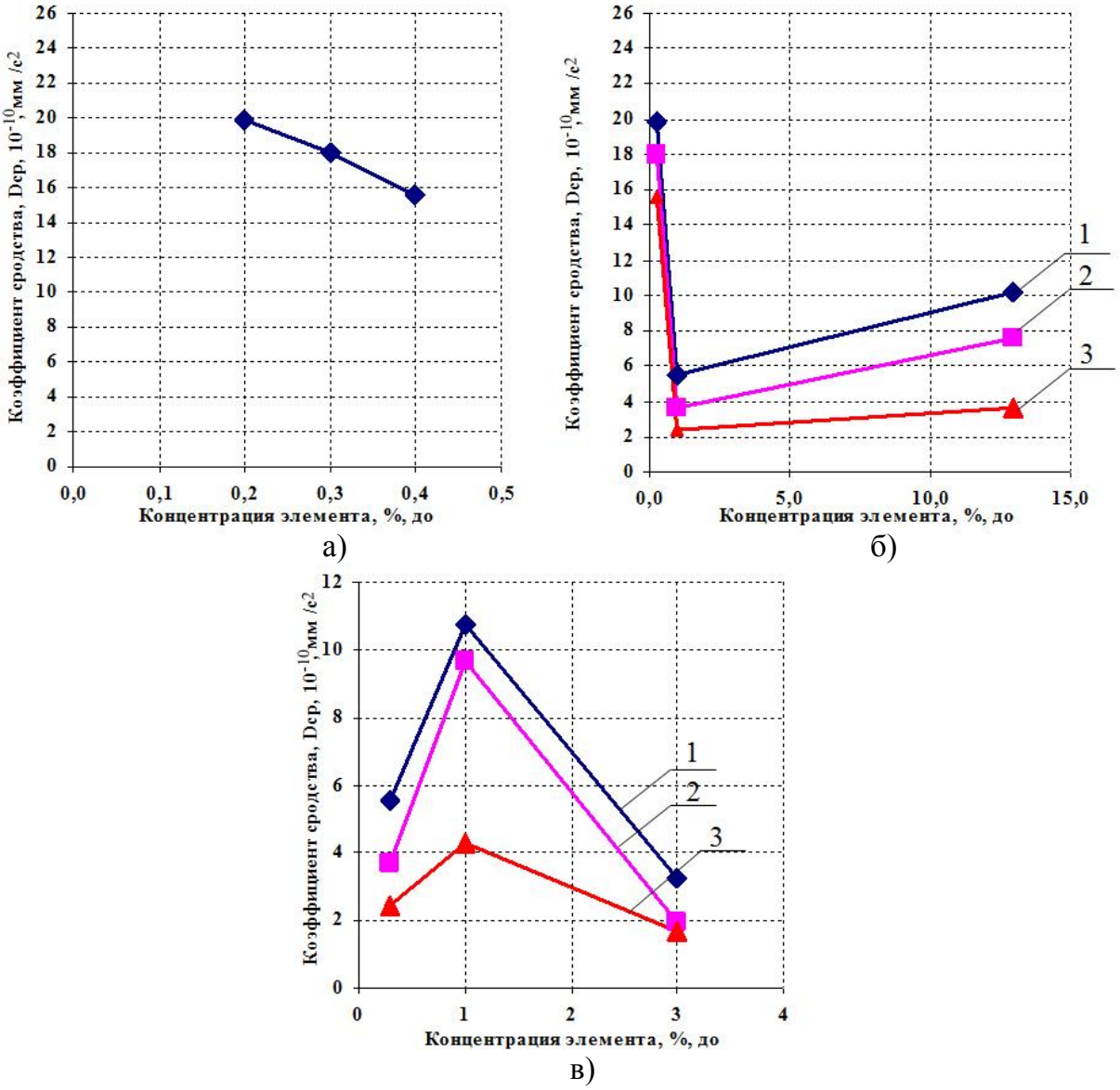


Рис. 3. Зависимость коэффициента химического сродства различных сталей от концентрации в стали: а – углерода; б – хрома, при концентрации углерода 1 – 0,2, 2 – 0,3 и 3 – 0,4 %; в – никеля, при концентрации углерода 1 – 0,2, 2 – 0,3 и 3 – 0,4 %

Прогнозирование интенсивности физико-химического взаимодействия различных шлифуемых материалов в зависимости от их химсостава позволит при определении величины износа абразивного зерна учитывать физико-химическое взаимодействие абразивного и обрабатываемого материала, что открывает возможности прогнозирования эксплуатационных показателей шлифования – составляющих силы [10], шероховатости [11], а также прогнозировать выходные показатели обработки полимерно-композитных слоистых систем [12].

Библиографический список

1. Лоладзе, Т.Н. Износ алмазов и алмазных кругов / Т.Н. Лоладзе, Г.В. Бокучава. – М.: Машиностроение, 1967. – 112 с.

2. Маслов, Е.Н. Теория шлифования материалов / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.

3. Филимонов, Л.Н. Стойкость шлифовальных кругов / Л.Н. Филимонов. – Л.: «Машиностроение», 1973. – 134 с.

4. Мишнаевский, Л.Л. Износ шлифовальных кругов / Л.Л. Мишнаевский. – Киев: Наукова думка, 1982. – 188 с.

5. Носенко, В.А. Вероятности видов изнашивания вершин зерен круга и их зависимость от силы контактного взаимодействия и твердости абразивного инструмента / В.А. Носенко, М.В. Даниленко // Известия ВолгГТУ. – 2009. – Т. 8. – № 5. – С. 20–23.

6. Yossifon, S. Wheel wear when grinding workpieces exhibiting high adhesion / S. Yossifon, C. Rubenstein // International Journal of Machine Tool Design and Research. – Vol. 22. – 1982. – Pp. 159–176.

7. Deutsch, S.J. Analysis of mechanical wear during grinding by empirical-stochastic models / S.J. Deutsch // Wear. – Vol. 29. – 1974. – Pp. 247–257.

8. Ардашев, Д.В. Прогнозирование величины износа абразивного зерна в результате физико-химического взаимодействия с обрабатываемым материалом / Д.В. Ардашев // СТИН. – 2014. – № 11. – С. 33–37.

9. Ардашев, Д.В. Прогнозирование величины износа абразивного зерна в результате физико-химического взаимодействия с обрабатываемым материалом / Д.В. Ардашев // СТИН. – 2014. – № 11. – С. 33–37.

10. Дьяконов, А.А. Имитационное моделирование процессов шлифования на основе применения высокопроизводительных кластеров и технологий параллельных вычислительных процессов / А.А. Дьяконов, Д.В. Ардашев, А.В. Лепихов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. – № 2/2(286) – С. 29–34.

11. Шипулин, Л.В. Разработка комплексной имитационной модели плоского шлифования периферией круга / Л.В. Шипулин // Наука. ЮУрГУ: материалы 65-ой Научной конференции. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – С. 277–280.

12. Шмидт, И.В. Напряженное состояние полимерно-композитной слоистой системы при механической обработке резанием / И.В. Шмидт // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2013. – № 7. – С. 27–31.

К содержанию

УДК 621.914.1

ЗАВИСИМОСТЬ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ОБЪЕМНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ОТ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

А.В. Выбойщик

Статья содержит описание и расчет динамики процесса объемного фрезерования. В работе приведено дифференциальное уравнение зависимости погрешности машинной обработки от геометрических и силовых параметров обработки, что позволяет найти точность формы обработанной поверхности при известных режимах резания.

Ключевые слова: пространственно-сложные детали, объемное фрезерование, концевые фрезы, жесткость технологической системы, упругие отжатия инструмента, дифференциальное уравнение процесса резания, динамическая характеристика процесса объемного фрезерования макронеровности.

Известно, что пространственно-сложные детали состоят из участков поверхностей различных геометрических форм и взаимного расположения. Как правило, для достижения требуемой точности такие поверхности обрабатываются концевыми фрезами, после чего выполняется слесарная доработка.

При статической настройке инструмента на заданную глубину резания добиваются такого положения, при котором фактическая траектория режущих кромок инструмента касается номинальной (теоретически требуемой) поверхности при снятии наименьшего слоя металла. Поэтому можно считать, что номинальная поверхность будет совпадать с прилегающей поверхностью (имеющей форму номинальной, но расположенной вне материала детали) по впадинам реальной поверхности. В этом случае измеряемая погрешность формы и погрешность измеряемого размера совпадут по направлению и будут измеряться от одной базы – прилегающей поверхности.

Формирование погрешностей обработки с учетом динамических характеристик процесса в зависимости от кривизны обрабатываемой поверхности (угла наклона обрабатываемой поверхности к горизонтальной плоскости ω) и переменной жесткости технологической системы $j_{\grave{O}\tilde{N}_n}$ в направлении действия нормальной составляющей силы резания P_n состоит в следующем.

От 50 до 80 % суммарной погрешности обработки пространственно-сложных поверхностей приходится на упругие отжатия инструмента n_i от обрабатываемой поверхности n_i. Отклонение реальной поверхности обработки от номинальной (требуемой) в основном зависит от величины n_i. Обычно программируемая траектория инструмента на получистовом и

чистовом переходах задается эквидистантно номинальной поверхности детали, а предварительно обработанная поверхность имеет, как правило, «ступенчатый» характер макронеровностей, форма и величина которых зависит от конфигурации рабочей части фрезы и периодической подачи на строку $S_{пер}$. В процессе фрезерования «ступенек» происходит постоянное изменение параметров резания (глубины резания t, а для криволинейных участков – и угла наклона обрабатываемой поверхности к горизонтальной плоскости ω), что приводит к изменению составляющих силы резания, которые (главным образом – нормальная составляющая P_n), в свою очередь, вызывают различные упругие перемещения фрезы и детали из-за разной податливости технологической системы (главным образом – фрезы) в разных направлениях.

Переменность направления действия нормальной составляющей P_n обусловлена перемещением «пятна контакта» сферической части фрезы с обрабатываемой деталью, вызванного переменностью угла наклона обрабатываемой поверхности к горизонтальной плоскости ω. Различные составляющие силы резания и различная жесткость в разных направлениях приводят к тому, что фактическая траектория движения центра сферической части фрезы (центра фрезы), а, следовательно, и траектория движения режущих кромок фрезы отклоняется от заданной и на детали образуется текущая погрешность формы, переменная для различных точек поверхности. При этом суммарные упругие отжатия складываются из двух составляющих – доли отжатий, вызванных макронеровностями предшествующей обработки (погрешностями формы предшествующей обработки) n_i, и доли отжатий, вызванных превышением фактической глубины резания над высотой микронеровностей предшествующей обработки. Последняя величина обычно учитывается величиной статической настройки инструмента на размер обработки. Чистовые переходы обычно выполняются с минимальным превышением глубины резания над величиной микронеровностей предшествующей обработки. Поскольку это превышение делается минимальным и практически постоянным, по величине оно мало влияет на величину погрешности формы, что позволяет исключить его из рассмотрения. В этом случае погрешность обработки, связанная с упругими отжатиями, вызванными макронеровностями предшествующей обработки n_i, определится следующим образом:

$$n_i = \frac{P_{n_i}}{j_{ÒÑ_n}}, \qquad (1)$$

где P_{n_i} – изменение величины нормальной составляющей силы резания, вызываемое изменением глубины резания; $j_{ÒÑ_n}$ – жесткость технологической системы в направлении действия нормальной составляющей силы резания P_n.

Так как нормальная составляющая силы резания P_n определяется как сумма проекций осевой P_x и радиальной P_y составляющих силы резания на нормальную ось N:

$$P_n = P_x \cos\omega + P_y \sin\omega,$$

а погрешность от упругих перемещений n_i – как сумма проекций упругих перемещений по координатам X и Y на ось N:

$$n_i = x\cos\omega + y\sin\omega, \qquad (2)$$

то, подставив в уравнение податливости $\frac{1}{j_{ÒÑ_n}} = \frac{n_i}{P_{n_i}}$ формулы расчета осевой P_x и радиальной P_y составляющих силы резания, получим:

$$\frac{1}{j_{ÒÑ_n}} = \frac{x\cos\omega + y\sin\omega}{P_x\cos\omega + P_y\sin\omega}. \qquad (3)$$

Величина P_{n_i} представляет собой изменение нормальной составляющей силы резания, зависящее от переменного характера кинематической глубины резания t_i. Изменение кинематической глубины резания t_i влияет на изменение составляющих сил резания, которые, в свою очередь, влияют на величину упругих перемещений, т.е. отклонения реальной траектории движения режущих кромок инструмента от программируемой. Переменный характер кинематической глубины резания t_i влияет на изменение составляющих силы резания, а, следовательно, и упругих перемещений, не мгновенно, а с некоторым запаздыванием (инерционно), что оказывает влияние на величину и расположение наследственно формируемых погрешностей формы. Дифференциальное уравнение функции изменения нормальной составляющей силы резания получено в [2] в виде $P_n(\tau) = W_p(p)t(\tau)$ и определяется переменным характером кинематической глубины резания $t(\tau)$ и передаточной функции процесса резания $W_p(p)$. При подстановке этого уравнения и уравнения (3), описывающего жесткость технологической системы, в формулу (1) получим дифференциальное уравнение изменения погрешности формы, оцениваемую через переменную погрешность обработки $n(\tau)$ (с учетом динамической характеристики процесса $W_p(p)$):

$$n(\tau) = W_p(p)t(\tau)\left(\frac{x\cos\omega + y\sin\omega}{P_x\cos\omega + P_y\sin\omega}\right), \qquad (4)$$

где $p \equiv \frac{d}{d\tau}$ – оператор дифференцирования (оператор Лапласа).

Входящая в уравнение (4) передаточная функция процесса резания имеет вид (5):

$$W_p(p) = \frac{n(\tau)}{P_n(\tau)} = \frac{k_p}{T_p p + 1}. \quad (5)$$

Передаточная функция $W_p(p)$, входящая в уравнение (5), зависит от:

– длительности переходного процесса τ_0, равного для нашего случая времени прохождения фрезой длины одной «ступеньки» (вдоль программируемой траектории со скоростью минутной подачи, которая, в свою очередь, зависит от подачи на зуб, числа зубьев фрезы и частоты ее вращения);

– угла наклона обрабатываемой поверхности к горизонтальной плоскости ω;

– жесткости фрезы в осевом направлении (по координате ***X*** станка) $j_{ô_x}$;

– жесткости технологической системы без учета фрезы в направлении, перпендикулярном оси фрезы (по координате Y станка) $j_{ñ_y}$;

– коэффициента K_{tn}, зависящего от геометрических параметров инструмента и обрабатываемых макронеровностей, который, в свою очередь, учитывается статическим коэффициента передачи звена k_p и постоянной времени процесса резания T_p.

Подставив (5) в (4), получим дифференциальное уравнение в общем виде, описывающее изменение погрешности обработки при заданной передаточной функции процесса резания:

$$n(\tau) = \frac{k_p\left(\frac{x\cos\omega + y\sin\omega}{P_x\cos\omega + P_y\sin\omega}\right)t(\tau)}{T_p p + 1}. \quad (6)$$

Дифференциальное уравнение (6) для различных схем изменения кинематической глубины резания $t(\tau)$ позволило решить поставленную задачу, заключающуюся в установлении взаимосвязи точности обработки пространственно-сложных поверхностей «поперек» следа при «ступенчатом» характере макронеровностей от предшествующей обработки.

Библиографический список

1. Базров, Б.М. Определение суммарной погрешности обработки детали / Б.М. Базров // Вестник машиностроителя. – 1978. – № 8. – С. 50–55.

2. Выбойщик, А.В. Повышение точности и производительности фрезерования пространственно-сложных поверхностей на станках с ЧПУ: автореф. дис. … канд. техн. наук / А.В. Выбойщик. – Челябинск: ЮУрГУ, 2000. – 24 с.

К содержанию

УДК 378.14:001.895 + 378.014

ОСВОЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА

Н.В. Сырейщикова

Приведены результаты совершенствования образовательного процесса путем внедрения инновационных технологий в условиях ЧелГМА. Даны описание и визуализация процесса «Освоение инновационных технологий в рамках образовательного процесса ЧелГМА», разработаны оценочные показатели процесса. Показана суть разработанных и внедренных методик освоения следующих инновационных технологий: лекция с запланированными ошибками; лекция пресс-конференция; лекция вдвоем; метод кластеров; диаграмма Исикавы; метод инцидента. Результаты работы имеют практическую ценность и приняты к освоению в ГБОУ ВПО ЧелГМА.

Ключевые слова: образовательный процесс, инновационные технологии, методики освоения, внедрение, практическая ценность.

Согласно Концепции развития системы здравоохранения в Российской Федерации до 2020 года, эффективность функционирования системы определяется следующими системообразующими факторами:

– совершенствование организационной системы, позволяющей обеспечить формирование здорового образа жизни и оказание качественной бесплатной медицинской помощи все гражданам Российской Федерации;

– развитием инфраструктуры и ресурсного обеспечения здравоохранения, включающего финансовое, материально-техническое оснащение лечебно-профилактических учреждений на основе инновационных подходов и принципа стандартизации;

– наличием достаточного количества подготовленных медицинских кадров, способных решать задачи, поставленные перед здравоохранением Российской Федерации [1].

Развитие системы медицинского образования как основы обеспечения улучшения здоровья населения и демографических показателей является национальной стратегической целью. Важнейшим шагом на этом пути является приоритетный национальный проект «Образование», который ставит стратегические задачи инновационного развития образования. Одним из средств такого развития являются инновационные технологии. Они не только позволяют формировать у студентов важнейшие компетенции – знания, навыки, умения, стремление к саморазвитию, – но и позволяют оптимизировать процесс обучения [2].

На кафедре технологии машиностроения ЮУрГУ выполнен проект по совершенствованию образовательного процесса путем внедрения инновационных технологий для условиях ЧелГМА.

Педагогические инновации могут существовать как за счет собственных ресурсов образовательной системы (интенсивный путь развития) так и за счет привлечения дополнительных мощностей (инвестиций) – новых средств, оборудования, технологий, капитальных вложений и т.п. (экстенсивный путь развития). Учитывая особенность финансирования академии (денежные средства поступают из государственного бюджета), наиболее приемлемыми для ЧелГМА являются методы, направленные на интенсивный путь развития. Главной характеристикой таких методов является динамичность и стимулирование активной мыслительной и практической деятельности студентов в процессе овладения профессиональными знаниями. Такие методы направлены на личность и ее развитие, предусматривают творческий подход, партнерский тип отношений, взаимопомощь, умение работать в команде, мотивированность в достижении цели и креативное решение задач. Повышение качества, эффективности обучения студентов прямо зависит от умелого подбора и использования разнообразных, наиболее адекватных тематике и ситуации методов обучения [3].

На современном этапе развития образования очевидно, что информационно-накопительная модель учебного процесса потеряла свою продуктивность. Роль преподавателя высшей школы сегодня все более смещается в сферу организации условий творческой деятельности студента, развития у него умений самостоятельного поиска истины. Поэтому, в свою очередь, инновационные методы и технологии обучения должны быть ориентированы не на знаниевый, а на деятельностный подход и направлены на воспитание творческой активности и инициативы студентов. Данный подход реализуется не только в ходе практических занятий, но и в ходе лекций. Главная цель лекций инновационных технологий обучения – приобретение знаний учащимися при непосредственном действенном их участии [4].

В рамках проекта для решения поставленных задач в результате анализа передовых инновационных технологий выбраны следующие методы: «лекция с запланированными ошибками»; «лекция-пресс-конференция»; «лекция вдвоем»; «кластери»; «рыбья кость»; метод инцидента. Эти методы позволяют модернизировать образовательный процесс, как при чтении лекций, так и при проведении практических занятий.

Наибольшая степень вовлеченности студентов достигается при проведении «лекции вдвоем». Применение «лекции вдвоем» эффективно для формирования теоретического мышления, воспитания убеждений студентов, а также как и в проблемной лекции развивается умение вести диалог, и как уже отмечалось, студенты учатся культуре ведения дискуссии. В этой лекции учебный материал проблемного содержания дается студентам в живом диалогическом общении двух преподавателей между собой.

Моделируются реальные профессиональные ситуации обсуждения теоретических вопросов с разных позиций двумя специалистами, например теоретиком и практиком, сторонником или противником той или иной точки зрения и т.п. В ходе лекции привлекаются к решению проблемы и студенты, которые задают вопросы, высказывают свою позицию, формируют свое отношение к обсуждаемому материалу лекции, показывают свой эмоциональный отклик на происходящее. В процессе «лекции вдвоем» создается проблемная ситуация или несколько таких ситуаций, выдвигаются гипотезы по их разрешению, развертывается система доказательств или опровержений, обосновывается конечный вариант совместного решения. «Лекция вдвоем» заставляет студентов активно включаться в мыслительный процесс. С представлением двух источников информации задача студентов сравнить разные точки зрения и сделать выбор, присоединиться к той или иной из них или выработать свою [5].

Подготовка и чтение «лекции вдвоем» предъявляет повышенные требования к подбору преподавателей. Они должны быть интеллектуально и личностно совместимы, обладать развитыми коммуникативными умениями, способностями к импровизации, иметь быстрый темп реакции, показывать высокий уровень владения предметным материалом, помимо содержания рассматриваемой темы. Если эти требования при проведении «лекции вдвоем» будут соблюдены, у студентов будет сформировано доверительное отношение к такой форме работы.

Такой метод не подходит для регулярного применения, поскольку не рационально привлекать для простого изложения теоретического материала двух лекторов. Для более частого применения можно использовать другой инновационный метод – «лекция–пресс-конференция». В начале изучения темы основная цель лекции – выявление круга интересов и потребностей обучаемых, степени их подготовленности к работе, отношение к предмету. «Лекция-пресс-конференция» в середине темы или курса направлена на привлечение внимания слушателей к главным моментам содержания учебного предмета, уточнение представлений преподавателя о степени усвоения материала, систематизацию знаний обучаемых, коррекцию выбранной системы лекционной и семинарской работы по курсу. Основная цель «лекции-пресс-конференции» в конце темы или раздела – определение уровня развития усвоенного содержания в последующих разделах.

Методика проведения «лекции-пресс-конференция» состоит из следующих этапов: 1) предварительный этап; 2) основная часть; 3) подведение итогов. На предварительном этапе преподавателю необходимо объявить тему лекции. Затем, в течение 2–3 минут студенты должны сформулировать вопросы и сдать их в письменном виде. Далее преподавателю в течение 3–5 минут нужно отсортировать вопросы по их смысловому содержанию и перейти ко второму этапу. На втором этапе производится непосредственно чтение лекции. Необходимо учесть, что изложение мате-

риала строится не как ответ на каждый из вопросов, а в виде связанного раскрытия темы, в процессе которого формулируются соответствующие ответы. Третий этап проходит в форме проведения итогов. Преподаватель должен оценить вопросы с точки зрения отражения знаний и интересов слушателей. Появляется возможность на основе полученной информации скорректировать как текст лекций, так и содержание практических занятий.

В завершение темы или раздела учебной дисциплины, когда у слушателей уже сформированы основные понятия и представления, в рамках данного проекта рекомендовано применять «лекции с запланированными ошибками». Данный метод разработан для развития у слушателей умений оперативно анализировать профессиональные ситуации, выступать в роли экспертов, оппонентов, рецензентов, вычленять неверную или неточную информацию. Работа с лекцией состоит из следующих этапов: 1) подготовка к лекции; 2) проведение лекции; 3) анализ. Данный тип лекций требует от преподавателя более тщательной подготовки, чем при других видах лекций. Преподаватель должен подготовить план и конспект содержания лекции по выбранной теме, при этом обязательно на отдельном листе выделить ошибки, заложенные в материале лекции, а так же выбрать и выписать учебные средства и приемы, которые будут использоваться при проведении занятия. При выборе ошибок преподавателю необходимо придерживаться следующих правил: а) ошибки не должны быть явными; б) ошибки не должны касаться малозначительных деталей; в) ошибки должны затрагивать наиболее типичные случаи; г) ошибки должны быть хорошо замаскированы в тексте; д) число ошибок должно соответствовать тем учебным элементам (дидактическим единицам), которые подлежат усвоению по теме (дисциплине). Второй этап должен начинаться с того, что преподаватель объявляет тему лекции, количество ошибок и их характер (содержательный, методический, поведенческий). При чтении лекции студенты письменно фиксируют замеченные ошибки. Длительность третьего этапа составляет 10–15 минут, в которые студенты сдают листы со своим записями на проверку преподавателю, после чего озвучиваются ошибки. Ошибки разбираются, даются правильные ответы на вопросы, это делается либо преподавателем, либо слушателями, либо совместно. Необходимо помнить, что слушатели могут найти больше ошибок (чаще всего это связано с речевыми ошибками преподавателя). В таком случае необходимо признать правоту слушателей и внести соответствующие коррективы в текст лекции.

Образовательный процесс высшего учебного заведения предусматривает практические занятия. Они предназначены для углубленного изучения дисциплины. Практические занятия играют важную роль в выработке у студентов навыков применения полученных знаний для решения практических задач. Методика практического занятия может быть различной, она

зависит от авторской индивидуальности преподавателя. Важно, чтобы различными методами достигалась общая дидактическая цель. В рамках данного проекта предложены следующие методы: а) «кластери»; б) «рыбья кость»; в) метод инцидента.

Метод «кластери» это способ графической организации материала, позволяющий сделать наглядными те мыслительные процессы, которые происходят при погружении в ту или иную тему. Этот способ называют наглядным «мозговым штурмом». Данная технология помогает развитию критического мышления. Выделяются три этапа при работе данным методом. Первый этап начинается до начала изучения материала. Учащийся посередине верхней строчки чистого листа бумаги пишет название изучаемого раздела, затем на второй строчке учащийся записывает слова, которые приходят ему на ум в связи с названием этого раздела. На следующей строке (или строках) он записывает слова, ассоциированные со словами второй строки, и т.д. Вся эта работа выполняется в течение 10 минут. Затем учащемуся дают несколько книг по изучаемому разделу и предлагают внимательно изучить их оглавления и предметные указатели. Итогом этой работы должно стать подчеркивание среди написанных учащимся слов тех, которые он встретил в книгах [5]. Второй этап происходит во время чтения лекции. Учащийся снова на чистом листе бумаги на первой строке пишет название темы, а на второй строке – те слова, которые приходят ему на ум в связи с названием темы. Затем на следующей строке он пишет слова, ассоциированные с написанными словами второй строки и т. д. Затем преподаватель читает часть лекции по данной теме. После этого учащийся подчеркивает те из написанных слов, которые прозвучали в прочитанном фрагменте лекции, и дописывает недостающие слова другим цветом. В законченном виде на листе бумаге представлен кластер из терминов. Затем преподаватель читает следующую часть лекции и все повторяется. Аналогичным образом изучаются остальные темы раздела. К концу изучения раздела у учащегося накопится целая папка листов с кластерами по конкретным темам. Эти листы с кластерами будут для учащегося опорой при подготовке и сдаче экзамена или зачета по дисциплине, а также прекрасным пособием, напоминающим ему, как расходились его представления об учебной дисциплине с ее истинным содержанием. Совокупность кластеров будет представлять собой терминологическую модель содержания дисциплины, увязанную с бытовыми, непрофессиональными и ранее существующими знаниями.

Метод «рыбья кость» или причинно-следственная диаграмма или диаграмма Исикавы применяется в различных сферах деятельности, в том числе и в образовательном процессе. Основное назначение метода – это выделение из множества влияющих факторов тех, которые имеют особое значение для достижения поставленных целей, выяснения причин следст-

вия (результата, несоответствия) и поэтому должны обладать более высоким приоритетом [6]. Занятия по диаграмме Исикавы проводятся следующим образом:

1) преподаватель озвучивает условия проведения метода «рыбья кость»;

2) предоставляется «скелет рыбы», «головой» которой является какая-то проблема или, например, заболевание;

3) студенты формируют «скелет рыбы», путем нанесения на карточке проблем – «косточек» и прикрепление их к «хребту» рыбы;

4) после выявления и обсуждения причин студенты начинают предлагать методы лечения;

5) в конце работы преподаватель делает заключение – насколько были раскрыты вопросы, точность и полнота ответов, терминологически правильная речь, демонстрация коммуникативных навыков при работе, каков уровень знаний и подготовки каждого студента.

Следующий рекомендуемый метод – метод инцидента, может быть использован не только для практических занятий, но и для оценки знаний студентов. Балльно-рейтинговая система, действующая в рамках академии, безусловно, качественно и всеобъемлюще оценивает знания студентов, но, в силу специфики медицинского образования, существуют вопросы, которая данная система охватить не может. В таком случае и рекомендуется применять метод инцидента. Клиническое обучение студентов выпускных курсов сфокусировано на решении проблем, иногда требующих у врача принятия незамедлительного решения. Методика инцидента эффективно активизирует клиническое мышление студента, отрабатывает скорость принятия решений в экстремальных ситуациях. Цель метода инцидента – подготовить студента самостоятельно действовать в условиях, связанных с угрозой жизни больного. Студенту дается конкретная краткая ситуация ургентного состояния, требующего принятия быстрого решения. На анализ случая отводится 0,5–1,5 минуты. Оценивается не глубина теоретических знаний, а быстрота и алгоритм оказания помощи больному. Ответ должен быть безошибочным [5].

В ходе разработки рабочей учебной программы, учитывая специфику той или иной дисциплины разумно подбирать целесообразную комбинацию методов. Комплексное их применение позволит увеличить результативность образовательного процесса. Мониторинг за показателями результативности и эффективности должен осуществляться со стороны руководства, и анализ полученных данных служит основанием для внесения корректирующих и предупреждающих действий [3].

Процесс «Освоение инновационных технологий в рамках образовательного процесса ЧелГМА» описан паспортом процесса и визуализирован блок-схемой (рис.), определены его оценочные показатели.

Диаграмма последовательности процесса освоения инноваций

Для осуществления мониторинга в рамках проекта определены контролирующие параметры процесса. Показатель полноты охвата учебных дисциплин ($П_{охв}$) позволяет получить информацию о том, насколько широко используются инновационные методы в вузе, и определяется по формуле:

$$П_{охв} = \frac{П_{исп}}{П_{общ}} \times 100\%, \quad (1)$$

где $П_{исп}$ – число дисциплин, в преподавании которых используются инновационные технологии;

$П_{общ}$ – общее число преподаваемых дисциплин.

Степень вовлеченности преподавателей ($В_{уч}$) определяет, какой процент преподавателей использует в своей деятельности инновационные методы и определяется по формуле:

$$В_{уч} = \frac{В_{ак}}{В_{общ}} \times 100\%, \quad (2)$$

где $В_{ак}$ – число преподавателей, использующих в своей образовательной деятельности инновационные технологии, чел.;

$В_{общ}$ – общее число преподавателей вуза, чел.

Показатель успеваемости студентов ($У_{ст}$) отражает, какой процент студентов прошел итоговую проверку знаний после внедрения инновационных методов обучения и рассчитывается по формуле

$$У_{ст} = \frac{N_{ус}}{N_{общ}} \times 100\%, \quad (3)$$

где $N_{уст}$ – число успевающих студентов;

$N_{общ}$ – общее число студентов.

Разработаны методики освоения следующих инновационных технологий: «лекция с запланированными ошибками», «лекция–пресс-конференция»; «лекция вдвоем»; метод кластеров; диаграмма Исикавы; метод инцидента. Результаты проекта имеют практическую ценность и позволяют: сократить число студентов, отчисленных вследствие неуспеваемости; повысить уровень репутации академии, что поможет в привлечении большего числа абитуриентов, в том числе и на коммерческой основе; улучшенная репутация академии также способствует привлечению новых организаций к сотрудничеству.

Библиографический список

1. Концепция развития системы здравоохранения в Российской Федерации до 2020. – URL: http://nrma.ru/Reform/zdr_conception_2020.shtml.

2. Сырейщикова, Н.В. Обеспечение качества образовательного процесса в вузе / Н.В. Сырейщикова, О.Ю. Худякова // Оптимизация высшего образования: менеджмент качества и инновации: материалы 11 научно-практической конференции. – Челябинск: Изд-во ЧГМА, 2011. – 140 с.

3. Гузеев, В.И. Роль инновационных технологий обучения при подготовке специалистов в области метрологии, стандартизации и сертификации / В.И. Гузеев, Н.В. Сырейщикова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015. – Т.15. – № 1. – С. 91–97.

4. Исикава, К. Японские методы управления качеством / К. Исикава. – М.: Экономика, 2008. – 215 с.

К содержанию

УДК 621.914.1 + 621.762

РОТАЦИОННАЯ ГОЛОВКА МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВ РЕЗАНИЕМ

С.Д. Сметанин, Д.М. Федоров

Описаны существующие методы получения порошков различных материалов, одним из которых является обработка резанием. Среди методов получения порошков резанием, фрезерование является одним из немногих видов обработки, при котором гарантированно получается элементная стружка, размеры которой можно прогнозировать. Ротационное фрезерование при этом имеет ряд преимуществ перед традиционным фрезерованием. В статье проанализированы различные схемы ротационного фрезерования. Предложена модульная конструкция инструмента, позволяющая комбинировать данные схемы.

Ключевые слова: ротационное фрезерование, схема резания, порошок, стружка, порошковые материалы.

Порошки различных материалов в промышленных масштабах производят достаточно давно. После того как современная физика металлов подробно разъяснила причины их пластичности, прочности и ее увеличения, началась интенсивная систематическая разработка новых материалов. Большое внимание уделяется созданию комбинированных материалов, усиленных волокнами или диспергированными твердыми частицами. У данных материалов в неорганическую металлическую или органическую полимерную матрицу введены тончайшие высокопрочные волокна, порошки или нитевидные монокристаллы из стекла, углерода, бора, бериллия, стали и др. материалов. В результате такого комбинирования максимальная прочность сочетается с высоким модулем упругости и небольшой плотностью. Именно такими материалами будущего являются композиционные материалы. Во многом свойства композиционных материалов зависят от того из каких компонентов они состоят и каким способом были получены.

Реализация любого способа получения композиционных материалов требует применения компонентов, обладающих строго регламентированными физико-химическими и технологическими свойствами. Для их производства разработано большое количество методов получения, которые непрерывно развиваются и совершенствуются.

Все методы получения порошков, которые встречаются в современной практике, можно разделить на две группы: механические и физико-химические. Механическими методами получения порошков считаются такие технологические процессы, при которых исходный материал в результате воздействия внешних сил измельчается без изменения химическо-

го состава. К физико-химическим методам относят такие технологические процессы, в которых получение порошка связано с изменением химического состава исходного сырья в результате глубоких физико-химических превращений. При этом конечный продукт (порошок), как правило, отличается от исходного материала по химическому составу.

Одним из механических методов получения порошков является обработка резанием. При этом подбирается такой режим резания, который обеспечивает образование частиц, а не сливной стружки. Образующиеся отходы в виде крупной стружки целесообразно использовать для дальнейшего измельчения в шаровых, вихревых и других аппаратах, а мелкую стружку и опилки с величиной частиц порошка около 1 мм можно использовать для изготовления изделий без дополнительного дробления. В некоторых случаях применение этого метода для получения порошка является почти единственным. Прежде всего, это относится к тем металлам, которые очень активны по отношению к кислороду, особенно в состоянии высокой дисперсности. Например, этим методом получают магниевый порошок [1]. Для повышения огнестойкости гранулы магния обрабатывают поверхностно-активным веществом.

Среди методов получения порошков резанием, фрезерование является одним из немногих видов обработки, при котором гарантированно получается элементная стружка, размеры которой можно прогнозировать. Ротационное фрезерование при этом имеет ряд преимуществ перед традиционным фрезерованием. Ротационные фрезы с поворачивающимися режущими кромками отличаются высокой стойкостью, что в отдельных случаях является важным фактором. Так, при обработке длинных плоскостей стандартная торцовая фреза из-за недостаточной размерной стойкости не позволяет обеспечить непрерывность обработки без переточки ее или замены пластинок. Отличительной особенностью данного процесса резания является замена традиционного трения скольжения между рабочими поверхностями режущего элемента и обрабатываемого материала трением качения. Это достигается оснащением инструмента вращающимся режущим элементом, режущая кромка которого имеет ось вращения, что позволяет существенно изменить кинематику процесса резания. Вращение режущего элемента может совершаться принудительно от специального привода или самовращением под действием сил трения в контакте инструмента с деталью. Геометрические, кинематические и конструктивные особенности ротационных режущих инструментов, их высокая стойкость, большой радиус кривизны режущего лезвия обеспечивают высокое качество и хорошие эксплуатационные показатели обработанной поверхности.

Многообразие признаков ротационного резания с разделением их на кинематические, конструктивные и установочные достаточно полно отражено в работе [2]. Наиболее важными классификационными признаками для выявления особенностей ротационного резания в соответствие с рабо-

тами [3, 4] являются: ориентация режущего элемента относительно векторов главного движения (первая и вторая геометрические схемы) и движения подачи инструмента (прямая и обратная схемы).

Рассмотрим образование геометрических схем ротационного резания применительно к процессу фрезерования. Режущий элемент совместно с корпусом фрезы вращается вокруг оси шпинделя со скоростью ω_r, а также вращается вокруг своей оси скоростью ω_o. Заготовка совершает поступательное движение со скоростью подачи D_S (рис. 1).

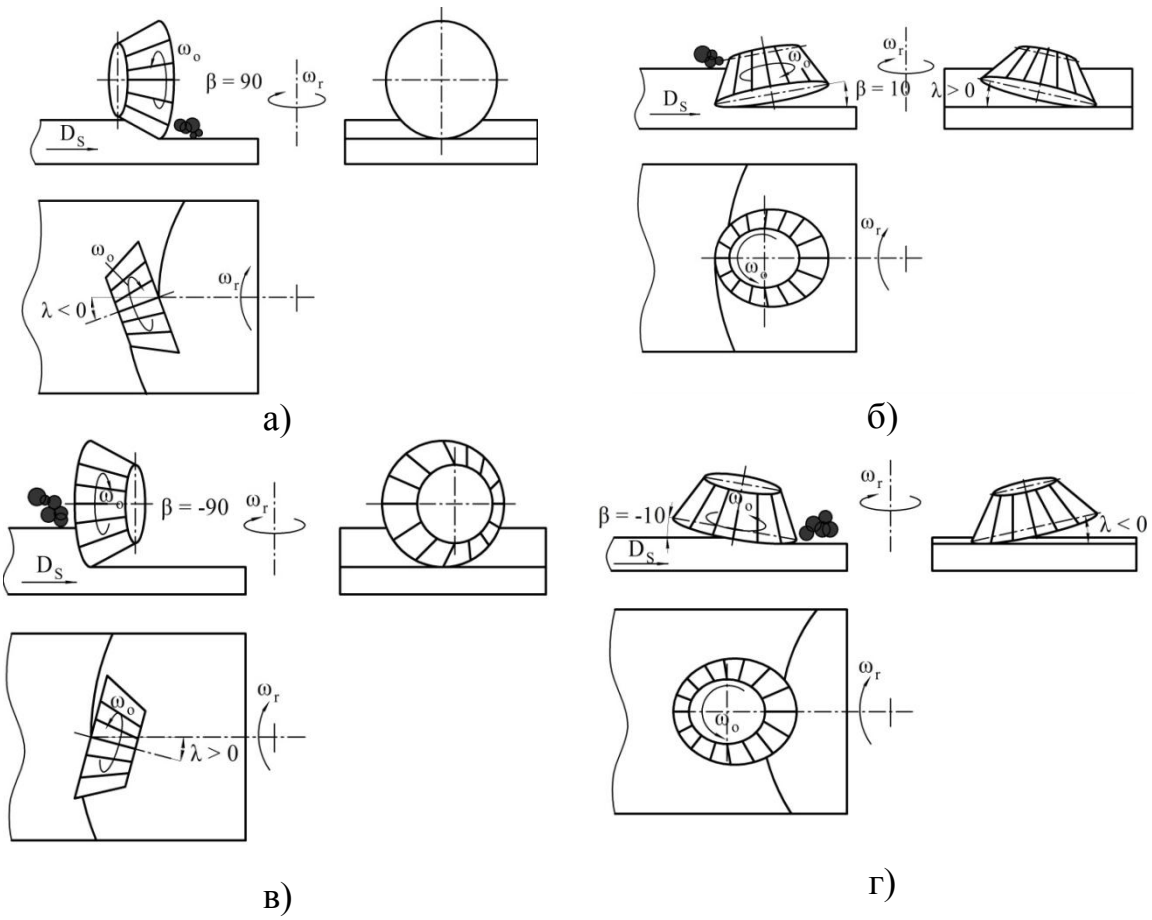


Рис. 1. Схемы ротационного резания

Первая прямая схема (рис. 1а) обеспечивает возможность снятия значительного припуска, что позволяет использовать ротационный инструмент на ее основе для конструирования буровой техники, фрезерования дорожного полотна, на черновых операциях механической обработки. Вторая прямая схема (рис. 1б) при конструировании фрезерного инструмента имеет преимущества перед первой, так как снимает ограничения на размеры подшипникового узла [3], что положительно сказывается на его жесткости. В случае комбинирования в одном подшипниковом узле нескольких режущих элементов данная схема может использоваться в тех же областях, что и первая прямая. Обратная геометрическая схема (рис. 1в, г) примени-

ма для чистовых операций механической обработки. Повышение производительности по сравнению с традиционным инструментом достигается в этом случае существенным увеличением подачи ротационного инструмента. Конструкция ротационной фрезерной головки, работающей по первой обратной схеме, показана на рис. 2.

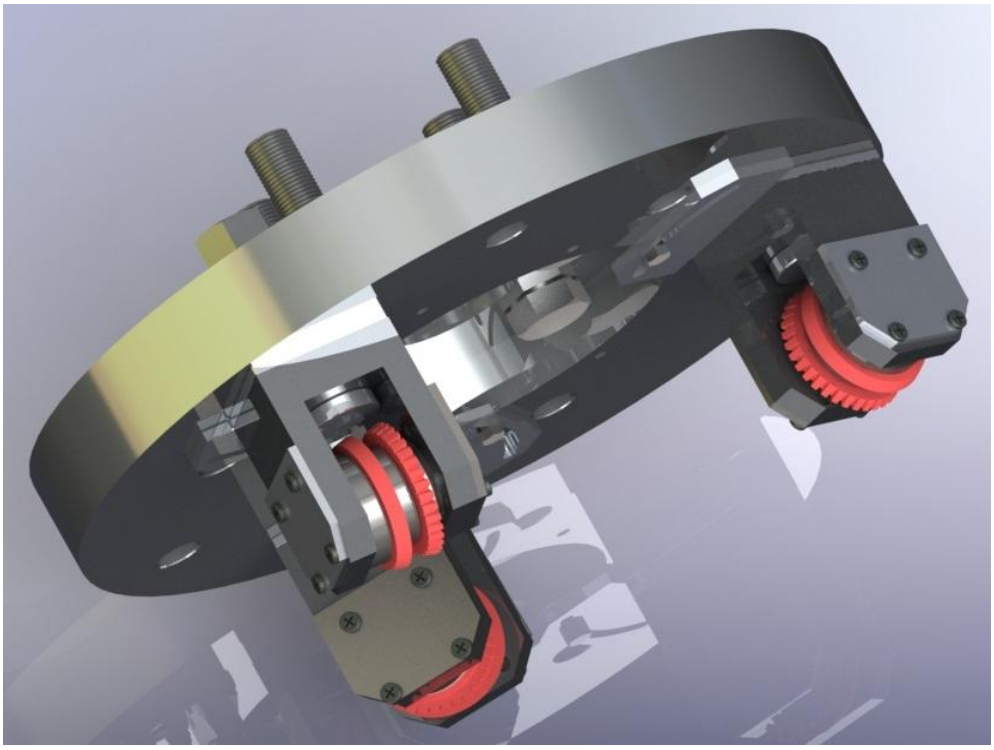


Рис. 2. 3D модель ротационной головки

Обеспечить в одной конструкции достоинства различных схем возможно путем создания комбинирования ротационных узлов, которые являются сменными модулями. При этом корпус фрезы служит базой, на которую в определенной последовательности устанавливаются узлы, работающие по разным схемам резания.

При экспериментальных исследованиях свойств получаемых порошков требуется в широких пределах варьировать их форму и размеры. Часто при этом необходимо использование разных инструментов и полная перенастройка оборудования, что экономически неэффективно. Конструкция фрезы со сменными режущими блоками устраняет данные недостатки, так как для получения другого типа порошка достаточно либо изменить параметры установки блоков, либо поменять состав и расположение блоков на корпусе.

Таким образом, модульная конструкция ротационной фрезы обеспечит возможность быстрой переналадки для получения порошков требуемой формы и размеров.

Библиографический список

1. Металлические порошки и порошковые материалы: справочник / Б.Н. Бабич, Е.В. Вершинина, В.А. Глебов и др.; под ред. Ю.В. Левинского. – М.: Экомет, 2005. – 520 с.

2. Новоселов, Ю.А. Классификация видов ротационного резания / Ю.А. Новоселов, Н.Н. Попок. – Минск: Высшая школа, 1983. – 219 с.

3. Коновалов, Е.Г. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов / Е.Г. Коновалов, В.А. Сидоренко, А.В. Соусь. – Мн.: Наука и техника, 1972. – 272 с.

4. Ермаков, Ю.М. Развитие способов ротационного резания / Ю.М. Ермаков. – М.: ВНИИТЭМР, 1989. – 56 с.

К содержанию

УДК 621.92.06-529

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

А.А. Савельев

Рассматривается параметрический способ программирования управляющих программ для обработки заготовок на станках с ЧПУ. Приводится пример параметрического программирования.

Ключевые слова: управляющие программы, станки с ЧПУ, технологический процесс.

В современном производстве необходимо обеспечить быструю переналадку оборудования с соблюдением технологичности и качества обрабатываемой продукции. Для достижения результатов используют различные варианты, подбирают инструмент, используют сквозное проектирование, и т.д. Для подготовки управляющей программы используют два метода. При ручном методе технолог-программист формирует УП непосредственно в кодах станка, описывая в каждом кадре элементарные перемещения или технологические команды (включение шпинделя, смена инструмента, включение охлаждения и т.д.). Автоматизированный метод подготовки УП требует наличия системы автоматизированного программирования – САП (в англоязычном варианте – CAM – Computer Aided Manufacturing) и соответствующей ЭВМ. Подобный способ подготовки УП имеет ряд неоспоримых преимуществ перед ручным: 1) сокращение сроков подготовки УП; 2) возможности достаточно быстрой подготовки УП на обработку сколь угодно сложных поверхностей; 3) возможности автоматической корректировки УП при изменении геометрии обрабатываемой поверхности; 4) обеспечивает быстрый перевод УП с одной модели устрой-

ства ЧПУ на другую. Когда детали однотипные и имеют те же самые переходы, но имеют разные размеры, то использование CAM систем не целесообразно. Увеличивается количество программ и соответствующей документации. Для ручного метода приходится постоянно менять основные размеры и в некоторых случаях значительно переписывать программу.

Для упрощения корректировки программы необходимо использовать параметрический метод программирования [1]. При этом, чтобы произвести разработку управляющей программы надо решить следующие задачи.

1) проектирование маршрутного технологического процесса обработки, представляемого в виде последовательности операций с выбором режущих и вспомогательных инструментов, станочных приспособлений, с разработкой технических условий на исходную заготовку;

2) разработку операционного технологического процесса с расчетом (или назначением) режимов резания, с построением траекторий движения режущих инструментов;

3) расчет координат опорных точек траектории движения режущих инструментов;

4) составление расчетно-технологической карты;

5) разработку карты наладки станка;

6) кодирование информации – формирование кадров УП с их ручной записью в виде текста или таблицы;

7) нанесение информации на программоноситель;

8) контроль программы и исправление ошибок.

Рассмотрим процедуры программирования для детали, показанной на рис. 1.

Для выполнения такой детали на фрезерном станке под СЧПУ Fanuc УП программа будет иметь вид:

```
T01 M6
G54 G80 G90
M3 S1000
G0 X0 Y0
G0 Z20 G43 H1
G0 Y45
G0 Z2
G1 Z-21 F400
G1 Y40 G41 D1
G1 X-40
G1 Y-40
G1 X40
G1 Y40
G1 X0
G1 Y45 G40
G0 Z100
```

M5
M30

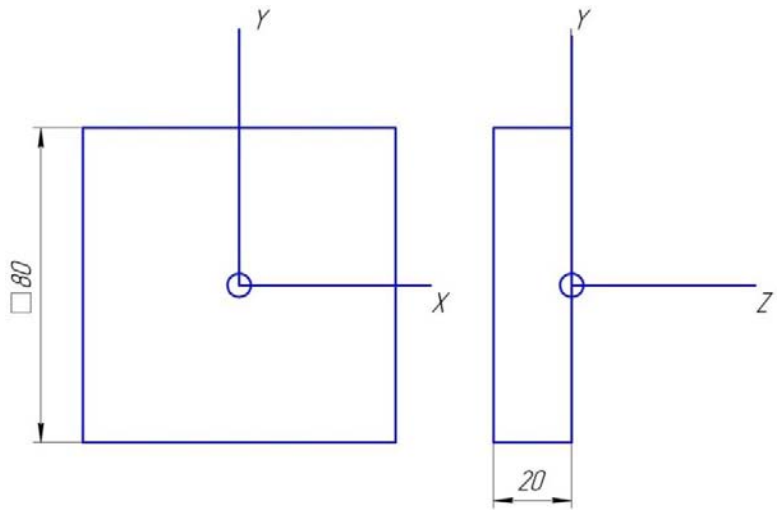


Рис. 1. Чертеж детали

На рис. 2 показан результат обработки.

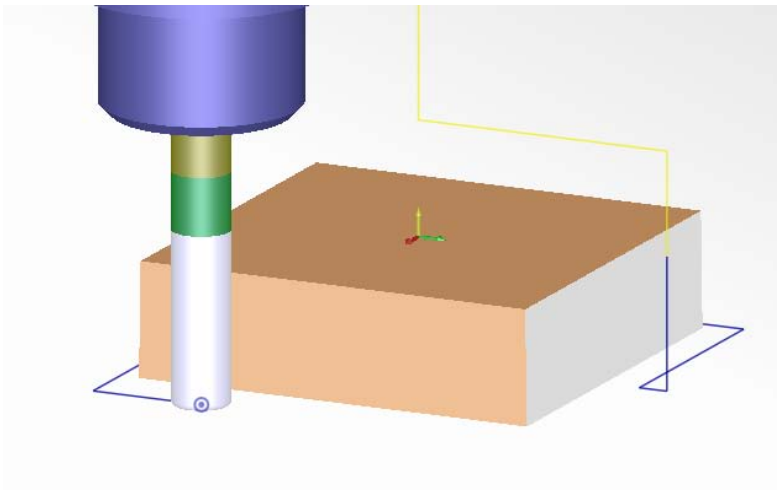


Рис. 2. Результат обработки

Управляющая программа, написанная с помощью переменных имеет следующий вид:

#101=80
#102=80
#103=–20
#104=5
T01 M6
G54 G80 G90
M3 S1000
G0 X0 Y0
G0 Z20 G43 H1

```
G0 Y[#102/2+#104]
G0 Z2
G1 Z#103 F400
G1 Y[#102/2] G41 D1
G1 X[-#101/2]
G1 Y[-#102/2]
G1 X[#101/2]
G1 Y[#102/2]
G1 X0
G1 Y[#102/2+#104] G40
G0 Z100
M5
M30
```

Здесь параметр #101=80 – длина детали по оси X, параметр #102=80 – ширина детали по оси Y, параметр #103=-20 – глубина обработки, параметр #104=5 – радиус фрезы.

Если изменим размеры детали в параметрах #101=50 и #102=100 программа у нас автоматически преобразуется по этим размерам (рис. 3).

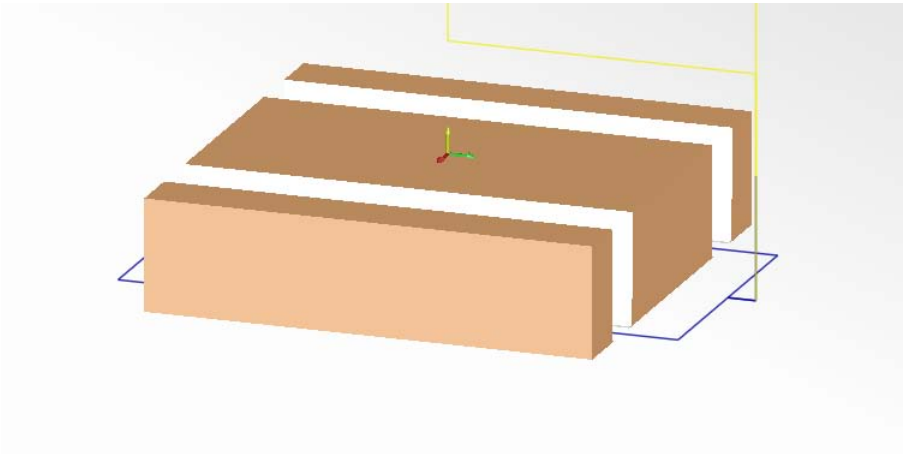


Рис. 3. Результат обработки с изменениями в программе

Аналогично можно разрабатывать более сложные управляющие программы и создавать свои циклы обработки.

Разрабатывается учебное пособие по созданию параметрических программ для обработки и измерения деталей на станках токарной и фрезерной группы под управлением СЧПУ Fanuc и Sinumerik.

Библиографический список

1. S.K. Sinha CNC Programming using Fanuc Custom Macro B McGraw-Hill Professional; 1 edition (June 1, 2010) 288 p.

К содержанию

УДК 621.914.1.04

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОНЫ РЕЗАНИЯ ПРИ МНОГОКООРДИНАТНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

В.А. Батуев, В.В. Батуев

На основе аналитической геометрии в пространстве разработана математическая модель зоны резания при многокоординатном фрезеровании. Данная математическая модель позволяет производить расчет положения и длины активной части режущей кромки при обработке пространственно-сложных поверхностей с равномерным и ступенчатым припуском концевыми радиусными фрезами.

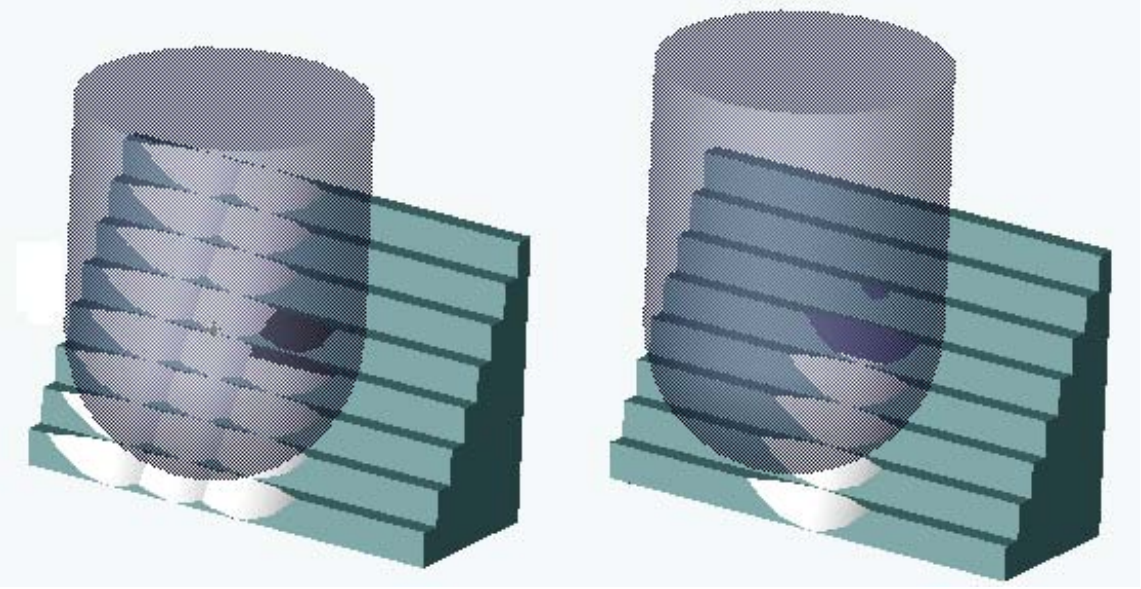
Ключевые слова: положение и длина активной части режущей кромки; фрезерование; зона резания; многокоординатная обработка.

Важным геометрическим параметром зоны резания является положение и длина активной части режущей кромки. При любых траекториях движения концевой радиусной фрезы, обрабатывающей пространственно-сложные поверхности, происходит перемещение и изменение величины контакта инструмента с заготовкой вдоль криволинейной режущей кромки. Это происходит из-за наличия трех и более взаимосвязанных движений инструмента и заготовки, ее конфигурации и величины ступенчатого припуска (высота, ширина ступенек).

Наибольшее распространение в промышленности при использовании фрез с радиусной частью получил способ обработки строчками. При строчечном фрезеровании можно выделить два различных перехода: фрезерование паза в сплошном металле (имеет место в начале обработки) и фрезерование строчки смещенной на величину периодической подачи $S_{пер}$ от предыдущего хода фрезы. Поэтому в дальнейшем будет рассматриваться взаимодействие инструмента с заготовкой для перечисленных двух переходов.

Следует отметить, что большинство деталей машиностроения ограничено достаточно простыми поверхностями, сечения которых состоят из сопряжения отрезков прямых и дуг окружностей. К поверхностям, которые формируют большинство деталей машиностроения, относятся: плоскость, цилиндр, конус, сфера, тор, линейчатая и таблично-заданная поверхности. Любую сложную криволинейную поверхность можно аппроксимировать набором простых поверхностей. Поэтому в данной работе приведено исследование по аналитическому определению величины и положения активной части режущей кромки в каждый момент поворота зуба фрезы при обработке такой простой геометрической поверхности, как плоскость, произвольно ориентированной в пространстве.

При чистовом фрезеровании деталей пространственно-сложной формы наиболее распространена обработка строчками. При строчечном фрезеровании можно выделить два различных перехода: фрезерование паза в сплошном металле, что имеет место в начале обработки (рис. 1б) и фрезерование по строке (рис. 1а), смещенной на величину периодической подачи $S_{пер}$ от предыдущей строки. Введем обозначение «$-S_{пер}$» – строка слева, «$+S_{пер}$» – строка справа. В дальнейшем будет рассматриваться взаимодействие инструмента и заготовки для перечисленных двух переходов.



а) б)

Рис. 1. Фрезерование наклонной поверхности, имеющей ступенчатый припуск: а – фрезерование по строке; б – фрезерование паза

На рис. 2 изображено фрезерование паза, где ступенчатую поверхность припуска формируют плоскости Π_2^i и Π_3^i. Система координат XYZ, начало которой совпадает с центром O радиусной части фрезы, а ось OZ с осью вращения фрезы, сориентированы таким образом, чтобы вектор контурной подачи $\bar{S}$ находился в плоскости ZOY. В этой системе координат углы наклона обрабатываемой поверхности обозначены

$$\alpha = 90 - \lambda;$$
$$\eta = 90 - \lambda_{п},$$

где λ – угол наклона обрабатываемой поверхности относительно горизонтальной плоскости в направлении движения подачи; $\lambda_{п}$ – угол наклона обрабатываемой поверхности относительно горизонтальной плоскости в направлении перпендикулярном движению подачи.

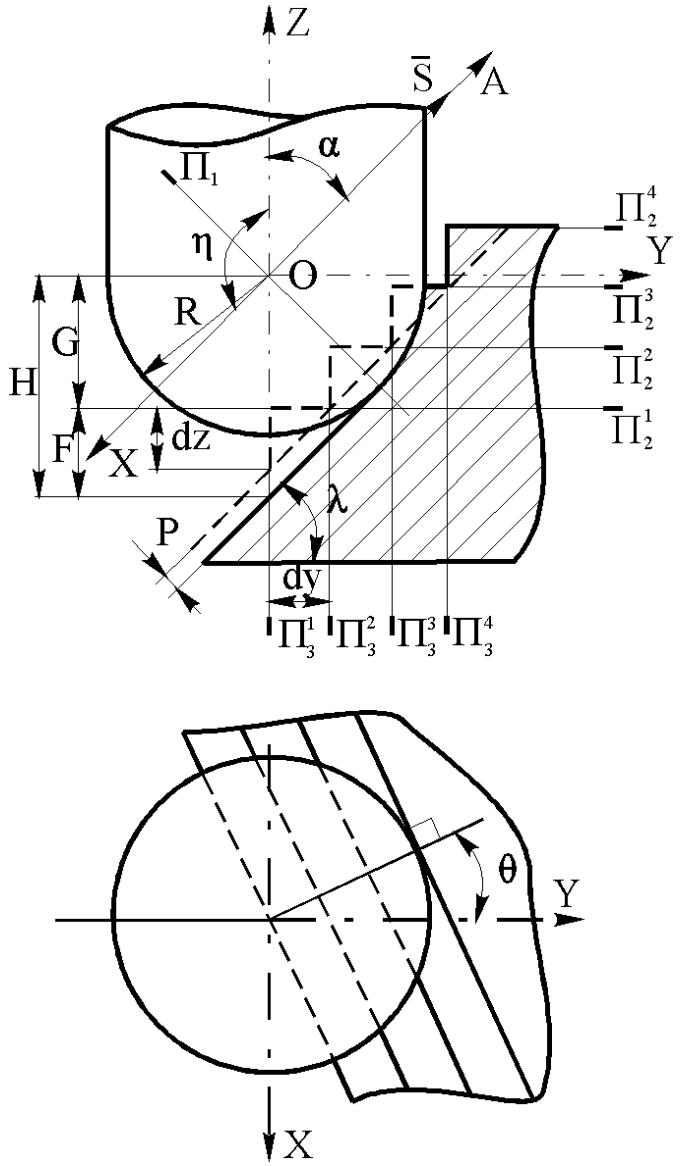


Рис. 2. Расчетная схема обработки

Задача описания «пятна контакта» фрезы с припуском и определение длины активной части режущей кромки, проходящей по нему, сводится к определению центральных углов $\varphi_в$ и $\varphi_н$ между осью вращения фрезы и крайними точками пересечения лезвия с припуском.

В данном случае «пятно контакта» представляет собой часть сферической поверхности фрезы ограниченной плоскостями Π_1, Π_2^n и Π_3^n.

Из уравнения (1) следует, что угловой параметр $\varphi_н$ нижней границы активной части режущей кромки проходящей по «пятну контакта» при повороте зуба на угол ψ зависит только от угла наклона обрабатываемой поверхности в направлении движения подачи. Следовательно, уравнение (1) справедливо для любой конфигурации обрабатываемой поверхности

при любой схеме резания. Зная угловой параметр $\varphi_н$ и по формулам (2) и (3) определив угловые параметры $\varphi_{в1}$ и $\varphi_{в2}$, получим полную информацию о положении и длине активной части режущей кромки в каждый момент поворота зуба при фрезеровании паза.

При фрезеровании поверхности по строке (рис. 1а) «пятно контакта» дополнительно ограничено цилиндрической поверхностью $П_4$ предыдущей строки. Уравнение цилиндрической поверхности предыдущей строки $П_4$ смещенной на величину периодической подачи $S_{пер}$ от обрабатываемой строки в сферической системе координат имеет вид:

$$(R\sin\varphi_{в3}\cos\psi - S_{пер}\sin(\mathrm{tg}(\cos(90-\theta)\mathrm{ctg}\alpha)))^2 + (R\sin\varphi_{в3}\sin\psi \cdot \\ \cdot\cos\alpha + (R\cos\varphi_{в3} + S_{пер}\cos(\mathrm{tg}(\cos(90-\theta)\mathrm{ctg}\alpha)))\sin\alpha)^2 = R^2. \quad (4)$$

Подставляя в уравнения (1), (2), (3) и (4) исходные данные (углы, описывающие положение поверхностей в пространстве, радиус сферической поверхности фрезы R, мгновенный угол положения зуба ψ и величину периодической подачи на строку $S_{пер}$) и решая их относительно угловых параметров $\varphi_н$, $\varphi_{в1}$, $\varphi_{в2}$ и $\varphi_{в3}$ получим информацию о положении и длине активной части режущей кромки в каждый момент поворота зуба при фрезеровании по строке.

Для анализа изменения положения и длины активной части режущей кромки рассчитаем значения углов $\varphi_н$, $\varphi_{в1}$, $\varphi_{в2}$ и $\varphi_{в3}$, и построим диаграммы «пятен контакта» при изменении угла ω, угла θ и положения инструмента относительно ступенчатого припуска в направлении подачи с шагом равным подаче на зуб. В полярных координатах, начало которых совпадает с осью вращения фрезы, отметим рассчитанные на компьютере значения граничных точек пересечения лезвия фрезы с припуском при различных углах поворота зуба ψ от 0° до 180°. Соединив эти точки, получим развернутое изображение «пятна контакта» и его положение относительно оси вращения фрезы.

На рис. 3 изображена диаграмма «пятна контакта» при фрезеровании поверхности с углами наклона:

А. α – 30°, θ – 45°, dz=2 мм:

1) «пятна контакта», получаемые при фрезеровании паза (области ab, cdefg);

2) «пятна контакта», получаемые при фрезеровании по строке с $S_{пер}$ = +1,5 мм (область c34efg);

3) «пятна контакта», получаемые при фрезеровании по строке с $S_{пер}$ = –1,5 мм (области ab и 1d2).

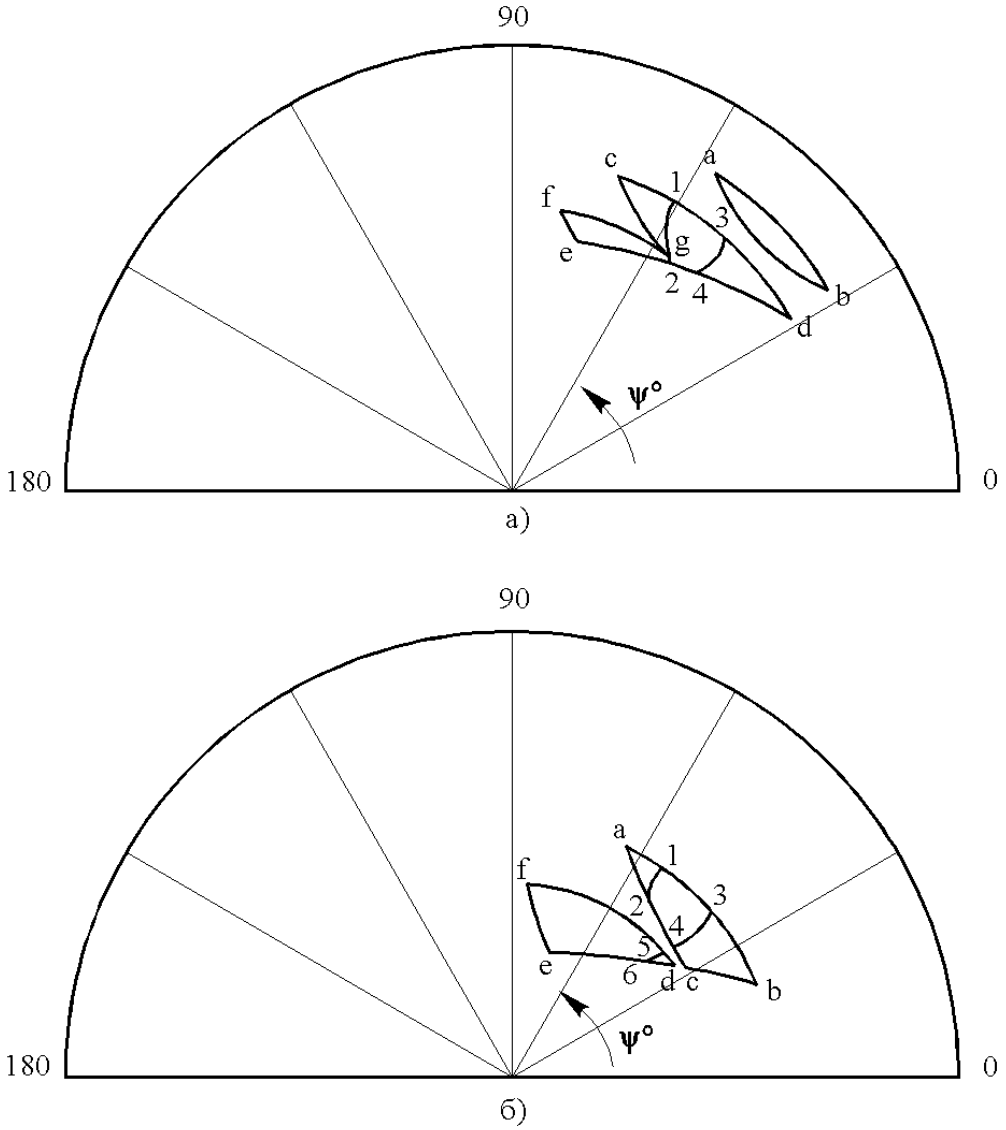


Рис. 3. Диаграммы «пятен контакта» фрезы со ступенчатым припуском
а – α=30°; θ=45°; R=6 мм; dz=2 мм; б – α=45°; θ=60°; R=6 мм; dz=2 мм

Б. α – 45°, θ – 60°, dz=2 мм:

1) «пятна контакта», получаемые при фрезеровании паза (области abc, def);

2) «пятна контакта», получаемые при фрезеровании по строке с $S_{пер}$ = +1,5 мм (области a34 и 56ef);

3) «пятна контакта», получаемые при фрезеровании по строке с $S_{пер}$ = –1,5 мм (область 1bc2).

Анализ полученных диаграмм показал, что при перемещении инструмента относительно ступенчатого припуска происходит изменение количества, положения и формы «пятнен контакта». Поскольку «пятно контакта» характеризует взаимное положение инструмента и заготовки, его форма и расположение оказывают существенное влияние на положение и длину ак-

тивной части режущей кромки, а также на количество зубьев одновременно участвующих в работе. Нестабильность геометрии зоны резания за один оборот можно наблюдать по этим же диаграммам, где видно как при повороте зуба фрезы на угол ψ значительно изменяются положение и длина активной части режущей кромки.

Из диаграмм видно существенное изменение «пятен контакта» и в пределах малых линейных перемещений фрезы соизмеримых с величиной подачи на оборот даже при фиксированных углах наклона обрабатываемой поверхности. С помощью полученных расчетных зависимостей установлено влияние ступенчатого припуска и углов наклона обрабатываемой поверхности на геометрию зоны резания, а именно перемещение вдоль зуба фрезы активной части режущей кромки и изменение ее длины как за оборот фрезы, так и в пределах малых линейных перемещений.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили, что при обработке концевыми радиусными фрезами пространственно-сложных поверхностей со ступенчатым припуском, происходит значительное изменение геометрии зоны резания. Это объясняется большим количеством возможных вариантов сочетания взаимосвязанных факторов (углов наклона обрабатываемой поверхности, размеров инструмента, схем резания, величин подач и параметров ступенчатого припуска). Только аналитические зависимости, учитывающие кинематику фрезерования пространственно-сложных поверхностей и взаимовлияние всех факторов обработки, позволяют получить правильную и всеобъемлющую информацию о геометрии зоны резания. Полученные математические модели позволяют рассматривать режущую кромку не как непрерывную кривую, а как последовательность точек, имеющих неодинаковые геометрические параметры и условия резания. Поэтому они могут использоваться для расчета сил резания и исследования их нестабильности.

К содержанию

УДК 658.512-52 + 621:658.562

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫПУСКНОГО КЛАПАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Н.В. Сырейщикова

Приведены результаты внедрения системы статистического регулирования технологических процессов на примере одного вида продукции – впускного клапана в условиях завода с использованием таких статистических методов менеджмента качества как: контрольные карты, контрольные листки, гистограммы, диаграммы Парето, АВС-анализ, диаграммы Исикавы, диаграммы последовательности.

Ключевые слова: статистическое регулирование, управление, технологический процесс, клапан, статистические методы, внедрение.

Любой технологический процесс для правильной его реализации и достижения поставленных результатов нуждается в грамотном управлении. На ОАО «ЧАМЗ» до настоящего времени система статистического регулирования продукции в процессе производства отсутствовала. Отделом технического контроля (ОТК) осуществлялся лишь контроль готовой продукции. Производилась лишь отбраковка, которая сама по себе не приводит к улучшению изделий: она лишь разделяет их на две группы: годных и негодных. Качество, как данной, так и будущих партий изделий не меняется, что влечет за собой большие издержки, связанные с дорогостоящим браком (затраты на ценные ресурсы, затраченные на изготовление: материальные, трудовые, энергоресурсы и т.д. – идут в отходы), а также сама система тотального контроля является дорогостоящей. В то время, как профилактика, то есть система мер, направленных на предотвращение появления некачественной продукции, ведет к улучшению качества будущих партий. В качестве таких предупреждающих мер для условий ОАО «ЧАМЗ» кафедрой технологии машиностроения ЮУрГУ предложен и выполнен проект по внедрению системы статистического регулирования технологическими процессами, позволяющей избежать производства негодной продукции. Система предполагает сбор информации о процессах и управление ими, вместо контроля уже готовой продукции. «Встраивание» регулирования качества в технологический процесс позволяет изменить процесс до того, как в нем создастся возможность изготовления дефектных изделий.

Проект статистического регулирования технологического проекта осуществлялся на примере клапана впускного ОАО «ЧАМЗ» (рис. 1).

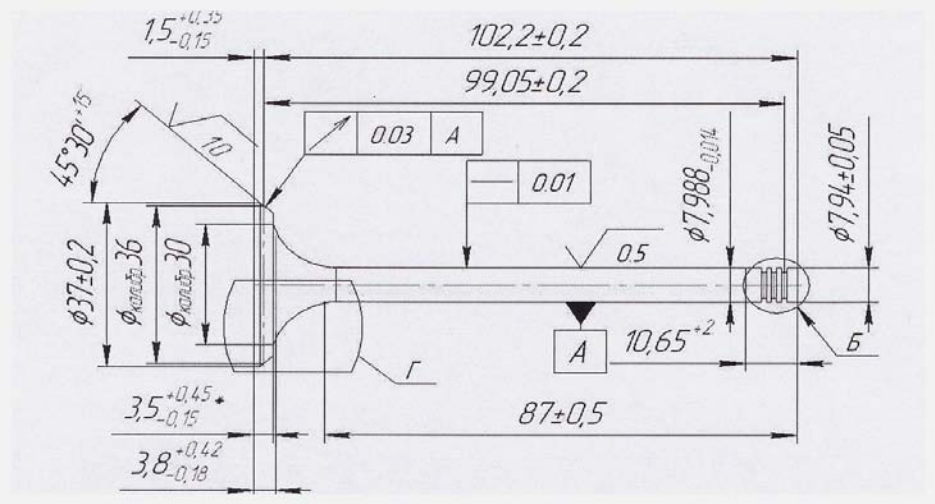


Рис. 1. Чертеж клапана впускного мод. 406

Проведенный анализ по установлению основного вида брака клапана осуществлялся на основе данных ежемесячных отчетов по качеству ОТК. Было произведено выделение немногочисленных наиболее часто встречающихся или наиболее существенных дефектов путем применения метода Парето. Выявленные типы дефектов впускного клапана (см. табл.) и разработанная по этим дефектам диаграмма Парето представлена на рис. 2.

Таблица

Данные по типам дефектов клапана впускного

Типы дефектов	Число бракованных изделий, шт.	Накопленная сумма числа дефектов, шт.	Процент брака по каждому виду дефекта в общей сумме	Накопленный процент
1. Брак по длине до калибровой линии (102,2–0,1)	4386	4386	49,442	49,442
2. Шлифовальные зарезы	1586	5972	17,878	67,320
3. Прослабленные клапана	1398	7370	15,760	83,080
4. Транспортный брак	550	7920	6,200	89,280
5. Токарные зарезы	411	8331	4,640	93,920
6. Тонкая тарелка	229	8560	2,644	96,563
7. Брак ТВЧ	204	8764	2,230	98,793
8. Прочие	107	8871	1,207	100,000
Итого	8871		100,000	

Проведенный АВС-анализ данной диаграммы Парето показал, что к группе А, содержащей небольшое число признаков, дающих большее число дефектов (около 70-ти процентов от общего числа бракованных из-

делий) относятся такие дефекты, как «брак клапана по длине до калибровой линии» (№ 1) и «шлифовальные зарезы» (№ 2); к группе В (промежуточная группа признаков) относятся такие дефекты, как «прослабленные клапаны» (№ 3), «транспортный брак» (№ 4), «токарные зарезы» (№ 5), остальные виды дефектов относятся к группе С, содержащей много малозначительных признаков. Таким образом, АВС-анализ определил основной вид дефекта впускного клапана – «брак клапана по длине до калибровой линии».

Для выяснения причин возникновения данных видов брака (прежде всего, основного) был проведен анализ на основе применения причинно-следственной диаграммы, так называемой диаграммы «рыбий скелет». Составленная диаграмма Исикавы по выявлению причин появления дефектов клапана показана на рис. 3.

Результаты проведенного анализа по методу Исикавы позволили сделать выводы о приоритетности влияния выделенных факторов на появление брака. Так как производство клапана ведется на автоматической линии, то влияние человеческого фактора на появление дефекта по длине изделия было определено как наименее вероятное. Материалы также были признаны не оказывающими первостепенного влияния, так как процесс входного контроля материалов на предприятии осуществляется достаточно тщательно.

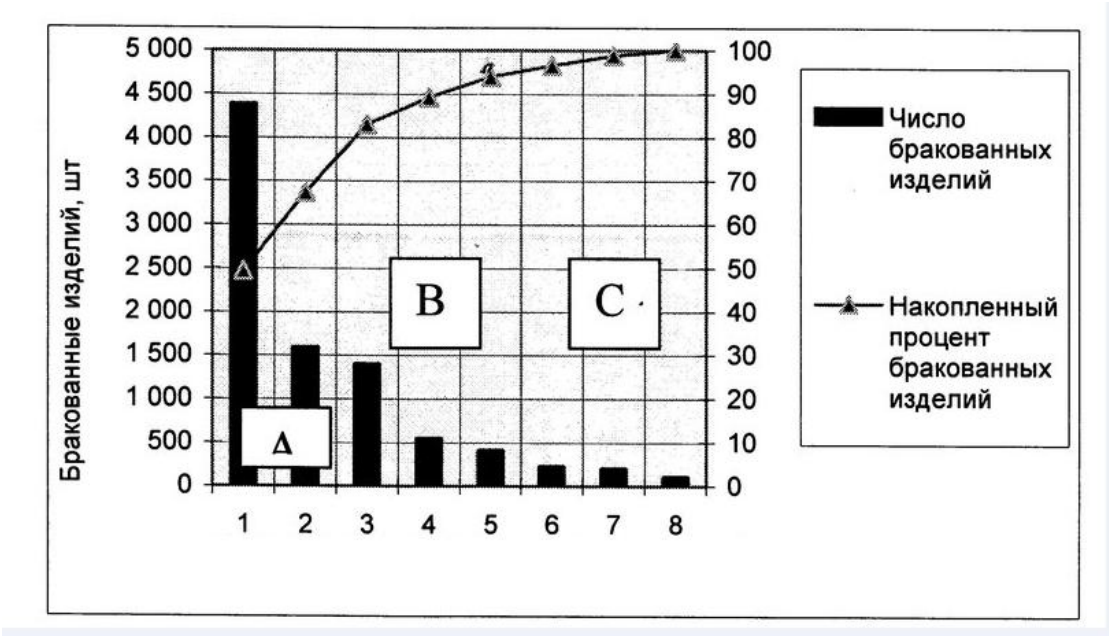


Рис. 2. Диаграмма Парето по видам брака клапана впускного

Факторы окружающей среды также не могли оказывать существенного влияния на качество продукции, так как по данным отдела охраны труда все показатели микроклимата в процессе производства и контроля явля-

лись удовлетворительными. После отделения неглавных факторов, были выделены следующие причины, способные существенно повлиять на качество изделия в целом и на появление исследуемого дефекта в частности: они связаны с технологическим методом и со средствами технологического оснащения. Анализ возможностей технологического процесса выполнять требования рабочего чертежа детали показал, что оборудование на данной автоматической линии является физически устаревшим и не всегда способно обеспечить заданную точность на технологической операции. Основной причиной брака клапанов была признана нестабильность условий обработки на некоторых операциях и требование периодической подналадки оборудования.

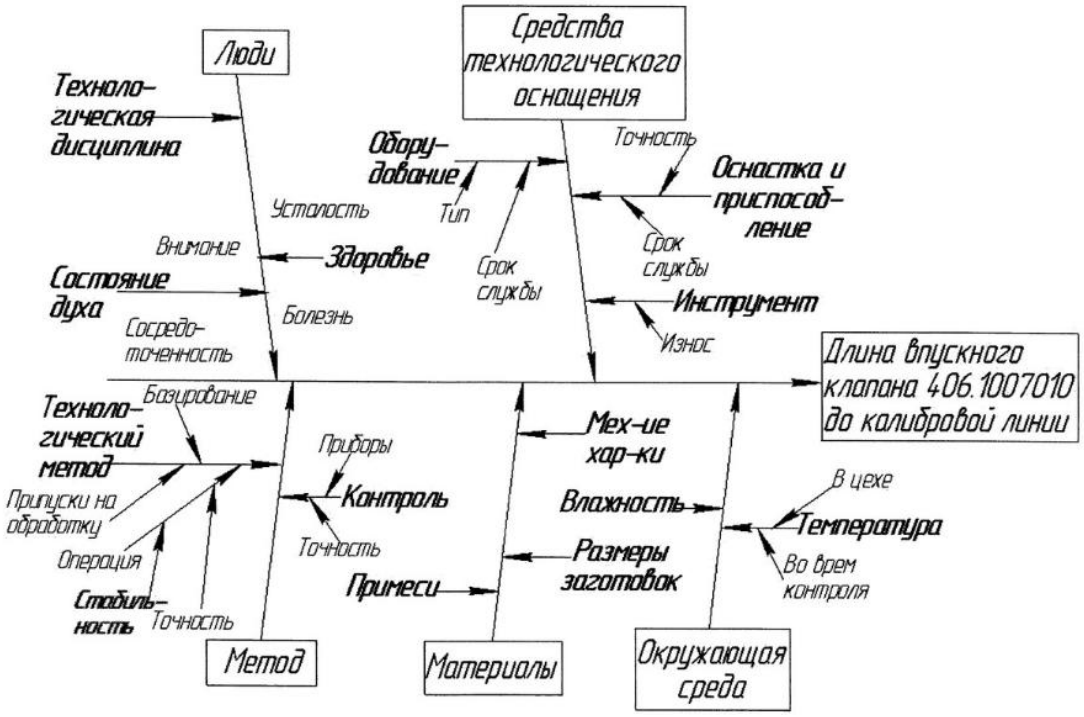


Рис. 3. Диаграмма Исикавы причин появления дефектов клапана

Для поддержания стабильности и определения причин вариабельности технологического процесса изготовления впускного клапана, было принято решение о введении статистического регулирования тех технологических операций, которые оказывают прямое или косвенное влияние на формирование его линейного размера.

Выбор конкретных операций, как объектов статистического регулирования, был осуществлен исходя из следующего.

1. Линейные размеры клапана формируются при токарной обработке торца стержня и торца тарелки клапана; при шлифовальной обработке торца стержня клапана; при обработке конуса головки клапана, которая влияет на смещение калибровой линии.

2. Последней операцией, на которой осуществляется шлифование конусной поверхности головки клапана, является операция 085-круглошлифовальная. На операции 060-специальной торцешлифовальной также происходит формирование окончательной длины клапана до калибровой линии, так как обработанный торец является базовой поверхностью на операции 085. Именно операции 060 и 085 были признаны критическими в силу предъявляемых к ним высоких требований при обработке и нестабильного состояния оборудования, требующего постоянной подналадки.

Осуществлена оценка точности данных технологических операций (060 и 085) последующим основным исходным данным: характеристикам технологического оборудования и оснастки; параметрам точности заготовки на входе проверяемой операции; предельным значениям параметров изготавливаемой продукции; точностным характеристикам используемых средств контроля (погрешность средств измерения не более 20–35 % допуска контролируемого параметра); данным о нарушениях технологической дисциплины. Перед началом проведения оценки точности была обеспечена подготовка операции на соответствие требованиям технологии, были проверены: соблюдение режимов обработки; наличие и соответствие оснастки, режущего и мерительного инструментов; исправность технологического оборудования; соответствие квалификации персонала. По данным контроля продукции, полученной в ходе проверки, оценка точности операций осуществлялась с использованием гистограмм по количественным данным и расчета показателей точности процесса.

По результатам анализа полученных показателей точности операция 060 признана годной для осуществления ее статистического регулирования. Полученное значение индекса воспроизводимости хотя и меньше единицы, но очень близко к ней; а показатель работоспособности позволил определить, что значения исследуемого параметра немного смещены к верхней границе поля допуска. После выполнения корректирующих мероприятий, назначенных в акте проверки технологической точности и направленных на устранение этих явлений, операция признана способной обеспечить заданную точность.

При оценке операция 085 была признана негодной, не способной обеспечить заданную на операции технологическую точность. Полученное значение индекса воспроизводимости процесса было очень мало (Ср=0,6), значение индекса работоспособности (Cpk = 0,3157)показало наличие очень сильного смещения среднего выборочного значения относительно поля допуска. Доля деталей со значениями исследуемого параметра, выходящими за границы поля допуска, составила при такой настроенности оборудования 17,51 %, что являлось значительным показателем дефектности. В акте проверки операции 085 на технологическую точность были определены следующие корректирующие мероприятия: 1 провести наладку оборудования для приближения линейного размера 102,2–0,1 к середине поля

допуска; 2 проверить фиксацию зажима клапана (загрузку клапана в цангу, реле давления масла, состояние упора и цанги); 3 проверить работоспособность шлифовального круга. По результатам повторной проверки после выполнения корректирующих мероприятий операция 085 была признана годной для осуществления ее статистического регулирования.

Статистическое регулирование технологического процесса осуществлялось введением периодического контроля выбранных технологических операций и анализа результатов измерений методом контрольных карт (карт управляемости). Процесс построения контрольных карт визуализирован диаграммой последовательности, приведенной на рис. 4.

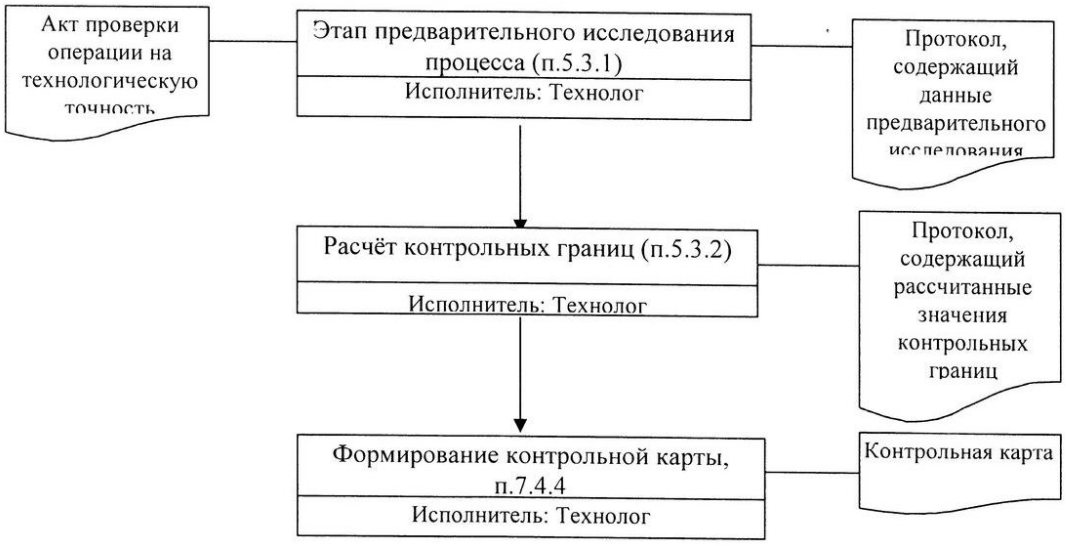


Рис. 4. Процесс построения контрольных карт

Для анализа информации о текущем состоянии технологических операций 060 и 085, полученной по выборкам, использовались пары контрольных карт: $\bar{x}$ и R–карты, где $\bar{x}$ – это среднее значение небольшой подгруппы, мера положения, R – размах значений внутри каждой подгруппы, мера разброса [1]. На основе данных рассчитывались пробные контрольные границы, которые изображаются на карте как направление для анализа. Для вычисления контрольных границ контрольных карт на операциях 060 и 085, было отобрано по шесть выборок объемом 15 изделий. Рассчитывались средние выборочные значения $\bar{x}$ и стандартные выборочные отклонения S. Чтобы определить, насколько средние и размахи подгрупп могут изменяться, если присутствуют только обычные причины изменчивости, рассчитывались контрольные границы. Они основаны на объеме подгрупп и на величине изменчивости внутри подгруппы, отражаемой размахами.

Распределение параметров процесса, которое остается стабильным и находится внутри контрольных пределов, будет удовлетворительным, только если контрольные границы лежат внутри допуска [2].

Анализ контрольных карт для операции 060 выявил особые причины вариабельности процесса, и были разработаны корректирующие мероприятия по их устранению. 1 Средние выборочные значения выборок с 1 по 7 в контрольной карте представляли серию точек, расположенных ниже среднего значения процесса. Было установлено, что возможной причиной является несовершенство контроля измеряемого параметра. Контроль осуществлялся работником, в чьи должностные обязанности не входят данные функции. После поручения контроля работнику ОТК среднее выборочное значение приблизилось к центральной линии, что показало о правильности определения источника особой вариации. 2 Средние значения выборок с 9 по 11 были расположены слишком близко к нижней контрольной границе. После измерения значений выборки 10 и занесения их в контрольную карту, процесс производства на этой операции был приостановлен для выяснения причин того, почему среднее значение этой выборки оказалось меньшим нижней контрольной границы. Совместно с наладчиком была установлена наиболее вероятная причина – недостаточное натяжение цепей прижимающих заготовку. При измерении деталей выборки № 9 этому явлению не было уделено достаточного внимания по причине того, что измерения проводились в начале смены, то есть оказал влияние человеческий фактор 3. На второй контрольной карте выборки № 10 были показаны плохие результаты: наблюдался резкий выпад среднего значения выборки. Предположительно, причиной возникновения несоответствий был назван износ торцовых упоров. Результаты следующей выборки, произведенной после выполнения корректирующих мероприятий (шлифование торцевых упоров) оказались неудовлетворительными. Было установлено, что причиной низкого значения выборки стала засоренность клапана на распределителе воздуха, который оказывал влияние на силу натяжения прижимных цепей. Была назначена чистка клапана. В процессе анализа контрольных карт для операции 085 также были выявлены особые пять причин вариабельности процесса и разработаны корректирующие мероприятия по их устранению.

При внедрении и осуществлении в течении года статистического регулирования технологического процесса изготовления клапана сократились потери предприятия от внутренних и внешних отказов (на 23,69 %) (см. рис. 5 и 6). Затраты на предупреждение и контроль увеличились на 10–15 %, так как при внедрении требовались достаточно большие первоначальные затраты (на обучение, контрольное оборудование, организационную технику).

Внедрение результатов данного проекта принесло предприятию следующие выгоды: сокращение численности контролеров, осуществляющих тотальный контроль готовой продукции; сокращение потерь от брака путем выявления дефектов на ранней стадии производства; возможность быстрого регулирования оборудования, условий производства на технологической операции в случае появления каких-либо несоответствий до выхода

процесса из-под контроля; выявление общих и специальных причин вариабельности технологического процесса, выработка на основе этого различных типов управленческих решений.

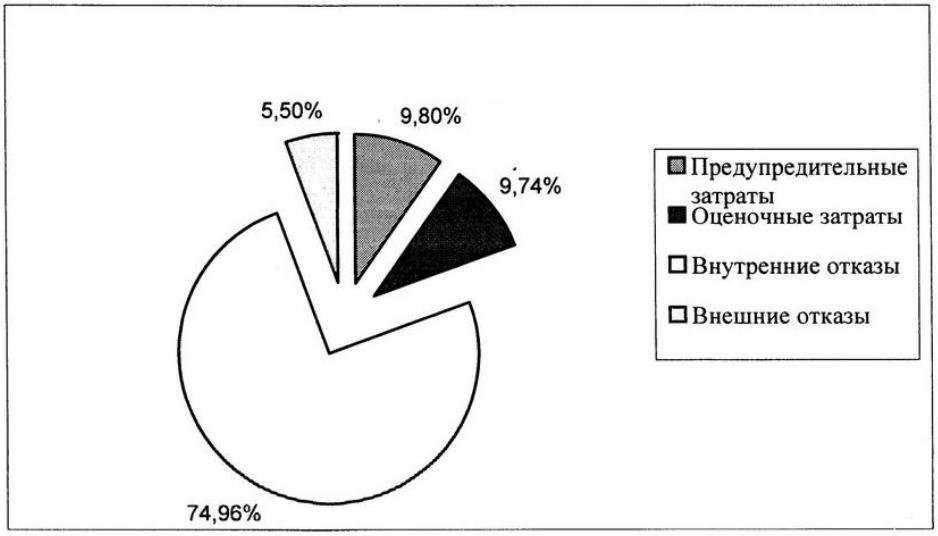


Рис. 5. Диаграмма соотношения затрат на качество до внедрения

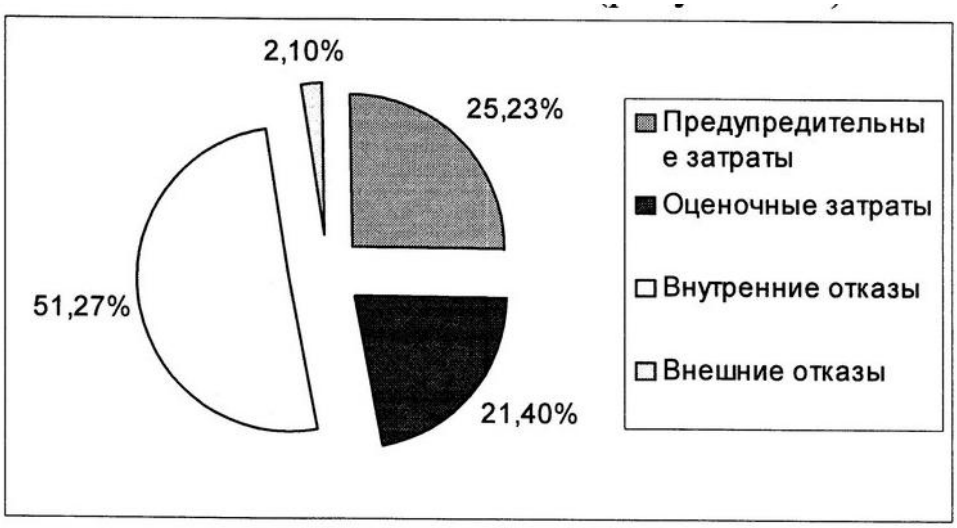


Рис. 6. Диаграмма соотношения затрат на качество после внедрения

Библиографический список

1. Адлер, Ю.П. Управление качеством. Часть 1: Семь простых методов: учебное пособие для вузов / Ю.П. Адлер, Т.М. Полховская, В.Л. Шнер. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСиС, 2010. – 139 с.

2. Сырейщикова, Н.В. Статистические методы в управлении качеством: учебное пособие / Н.В. Сырейщикова, А.Х. Нуркенов. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2015. – 60 с.

К содержанию

УДК 621.992.4 + 621.914.1

ОБРАБОТКА УПОРНЫХ РЕЗЬБ ПЛАНЕТАРНЫМ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ НА СТАНКАХ С ЧПУ

И.А. Щуров, Е.В. Немытова

Фрезерование резьб упорного профиля на станках с ЧПУ является перспективным способом обработки. Однако проведенные авторами исследования показали принципиальную невозможность применения этого способа для получения целого ряда размеров указанных резьб. Определение возможных областей применения и возможных решений являются целью данной работы.

Ключевые слова: резьбофрезерование, упорная резьба, станок с ЧПУ.

Широкое распространение станков с ЧПУ в машиностроении заметно снизило долю применения при резьбонарезании мерных инструментов, таких как метчики, плашки, резьбонарезные головки. Соответственно, увеличилась доля резьбонарезных резцов и фрез [1]. К преимуществам резьбофрезерования на станках с ЧПУ относят высокую производительность, большую гибкость и надежность процесса [2]. Однако вопросы формообразования резьб, полученных таким методом, исследованы еще не достаточно полно. Встречаются проблемы при нарезании резьб неметрического профиля. Например, авторами решалась одна из практических задач резьбофрезерования упорной резьбы по ГОСТ 10177-82 диаметром 32 и шагом 6 мм с особо большой длиной свинчивания. На практике было установлено, что происходит существенное искажение профиля резьбы детали и затирание задней поверхности инструмента. В связи с этим были проведены дополнительные исследования возможностей формообразования резьб упорного профиля фрезерованием на станках с ЧПУ.

Процесс планетарного резьбофрезерования связан с образованием винтовой поверхности (ВП) как огибающей ряда последовательных положений производящих поверхностей инструмента (ППИ) при его относительном движении [3, 4]. Закономерным следствием этого является то, что профиль винтовой поверхности не совпадает с профилем резьбообразующего инструмента, и в каждом конкретном случае необходимо принимать решение о дополнительных исследованиях по его определению. В связи с этим первоначально была решена классическая обратная задача формообразования, а именно: принятый профиль инструмента позволил определить профиль, получаемый у обрабатываемой заготовки. Такие исследования показали, что в ряде случаев получение резьб упорного профиля на трех-координатных станках с ЧПУ является достижимым, но в ряде других случаев это принципиально невозможно.

Теоретические исследования позволили установить, что для упорной резьбы по ГОСТ 10177-82 с углами профиля 30 и 3 градуса, принципиально невозможно получение резьб для максимальных стандартных шагов и соответствующих им диаметров при отношении диаметра фрезы к диаметру резьбы детали более 0,5. Для указанного отношения, равного 0,3, появляется возможность получения некоторых резьб с преимущественно крупными диаметрами. Для мелких шагов, предусмотренных стандартом, появляется вероятность получения требуемых резьб с указанным отношениям до 0,5. Соответственно, сдвигается граница возможности получения резьб с меньшими диаметрами.

Теоретические исследования были проверены экспериментально на вертикально-фрезерном станке с ЧПУ HAAS (рис. 1, 2). Разрезанные заготовки позволили определить фактический профиль резьбы (рис. 3), который совпал с расчетным. Тем самым была подтверждена адекватность математической модели.

Рис. 1. Обработка резьбы фрезерованием на станке HAAS

Рис. 2. Приспособление, заготовка и фреза в момент работы

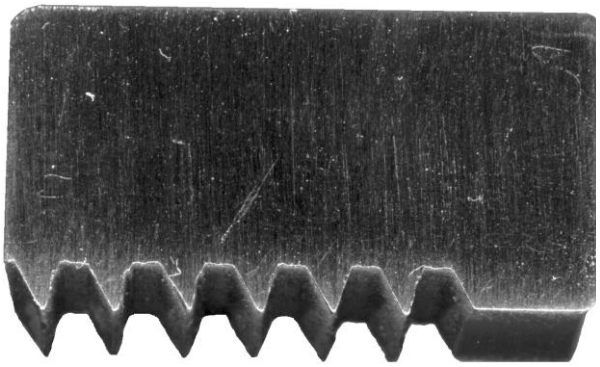


Рис. 3. Вырезанный фрагмент резьбы

Поставленная в начале исследования задача резьбофрезерования на станке с ЧПУ по трем управляемым координатам (случай обработки резьбы с большой длиной свинчивания диаметром 32 мм с шагом 6 мм) оказалась недостижимой в любом из описанных выше случаев соотношений диаметров инструмента и резьбы детали. С учетом этого была предпринята попытка многопроходного нарезания резьбы. Предполагалось вырезать требуемый профиль по частям, используя фрезу специального профиля с минимально возможным диаметром. Однако и этот подход обработки оказался неудачным. Таким образом, требуются дополнительные исследования в решении поставленной задачи.

Вывод. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что получение резьб упорного профиля вызывает затруднения как при использовании однопроходного фрезерования на станках с ЧПУ, так и при использовании многопроходной обработки. Часть типоразмеров стандартных резьб может быть получена указанным способом, однако большая часть таких резьб недоступна для трехкоординатной обработки. Все это требует дополнительных исследований для решения данной задачи.

Библиографический список

1. Глушко, Е.В. Резьбофрезерование методом огибания / Е.В. Глушко // СТИН. – 2008. – № 4. – С. 28–31.

2. Руководство DORMER 2008. Обработка резанием. Электронный ресурс. – URL: http://mip.zavod-vtuz.ru/component/content/article/31-dormer/%20rukovodstvo-2008-obrabotka-rezaniem/957-str-87-rukovodstvo-dormer-2008-obrabotka-rezaniem-rezbofrezerovanie-ukazaniya-metod-polucheniya-rezby-stanok-programma-chpu-din66025-iso-kody-heidenhain-fanuc-siemens-stojkost-instrumenta-pdf-page-87-handbook-dormer-imk-baza-znanij.

3. Щуров, И.А. Аналитическое решение задачи формообразования метрической резьбы фрезерованием на станке с ЧПУ / И.А. Щуров, Е.В. Немытова, Е.А. Суетина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2012. – Вып. 19. – № 12(271). – С. 162–164.

4. Щуров, И.А. Нарезание упорных резьб планетарным фрезерованием на 3-х осевых станках с ЧПУ / И.А. Щуров, Е.В. Немытова // Технологическое обеспечение машиностроительных производств. Сб. научн. тр. I Междун. заочной науч.-техн. конф. – Челябинск: ЮУрГУ, 2014. – С. 499–505.

К содержанию

УДК 621.922

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЪЕМА МЕТАЛЛА НА ПРИМЕРЕ ВНУТРЕННЕГО ШЛИФОВАНИЯ

П.П. Переверзев, А.В. Попова

Представленная в данной статье модель формирования фактически снимаемого припуска, позволяющая рассчитать количество ходов и время цикла путем моделирования процесса съема металла для каждого хода при заданных значениях режимов резания, с учетом упругих деформаций и особенностей кинематики резания.

Ключевые слова: внутреннее шлифование, модель сил, модель съема припуска

Шлифование является самым распространенным видом «чистовой» обработки деталей, прошедших термообработку. Более четверти от общего объема шлифовальных операций составляет внутреннее шлифование. Оно позволяет обрабатывать: сквозные и глухие отверстия различной формы; отверстия с пересеченной поверхностью; отверстия в деталях с неодинаковой толщиной стенок или с неоднородной твердостью металла; ступенчатые отверстия; отверстия больших диаметров (свыше 100 мм). Внутреннему шлифованию могут подвергаться детали из различных материалов – стали с различными физико-механическими свойствами (закаленных, труднообрабатываемых), чугун, цветные сплавы и др.

Появления современных шлифовальных станков с ЧПУ, высокопроизводительного режущего инструмента, позволяющих производить обработку изделий на более высоких скоростях [1, 2], столкнуло современное машиностроение с отсутствием нормативно-справочной литературе, позволяющей назначать режимы обработки, удовлетворяющих требования современного производства. Имеющая на данный момент справочная литература, разработанная в 60-х, 70-х, 80-х годах для универсальных станков на основании статических данных, полученных в советский период. В результате, на предприятиях вынуждены подбирать режимы резания экспериментальным путем. Процесс подбора режимов резания имеет ряд значительных недостатков: значительная затраты материальных средств, времени на подбор режимов; требуемые качества и точность изделия не всегда достигаются; потеря производительности процесса обработки (на первое место ставится качество и точность изделия); нерентабельность для серийного и мелкосерийного типа производства из-за ограниченности количества пробных заготовок и др. Покупка нормативно-справочной литературы, методик расчета режимов обработки за рубежом не всегда является возможной, т.к. данный продукт является стратегическим и не находится в свободном доступе для

обычного потребителя. С целью решения данной проблемы нами впервые разработана методика создания оптимальных ступенчатых циклов внутришлифовальной обработки, основанная на модели съема металла и применяемая для выбора оптимального решения метод динамического программирования [3].

Моделирование процесса съема металла для внутреннего шлифования базируется на двух основополагающихся моделях – модели сил резания и модели взаимосвязи программного и фактического значений радиальной подачи с упругими деформациями технологической системы. Разработанная силовая модель процесса внутреннего шлифования охватывает практически все технологические факторы, влияющие на изменение сил: фактические и программные значения радиальной подач, скорость вращения детали и круга, механические свойства шлифуемого металла (интенсивность напряжений), геометрические параметры зоны контакта круга и заготовки, характеристика круга, коэффициент трения при шлифовании, затупление зерен круга. Более подробно с разработанной моделью сил резания для внутреннего шлифования можно ознакомиться в работе [4]. Ниже представлен общий вид модели сил резания, возникающих в процессе внутреннего шлифования.

Радиальная составляющая силы резания:

$$P_{Yz,i} = \frac{1{,}86\sigma_i \pi d_{заг} V_{Soc} S_{радz,i}}{\sqrt{\left(V_{кр} + V_{заг}\right)^2 + V_{Soc}^2}} + \frac{\sigma_i \eta T_{общ}}{3} \sqrt{\frac{d_{заг} D_{кр} S_{радz,i}}{d_{заг} - D_{кр}}}. \quad (1)$$

Тангенциальная составляющая силы резания:

$$P_{Zz,i} = \frac{2{,}732\sigma_i V_{заг} \pi d_{заг} V_{Soc} S_{радz,i}}{(V_{кр} + V_{заг})^2 + V_{Soc}^2} + \frac{\sigma_i \eta \mu V_{заг} T_{общ}}{3\sqrt{(V_{кр} + V_{заг})^2 + V_{Soc}^2}} \sqrt{\frac{d_{заг} D_{кр} S_{радz,i}}{d_{заг} - D_{кр}}}.$$

Осевая составляющая силы резания:

$$P_{Xz,i} = \frac{2{,}732\sigma_i \pi d_{заг} V_{Soc}^2 S_{радz,i}}{(V_{кр} + V_{заг})^2 + V_{Soc}^2} + \frac{\sigma_i \eta \mu V_{Soc} S_X}{3\sqrt{(V_{кр} + V_{заг})^2 + V_{Soc}^2}},$$

где z – порядковый номер ступени цикла; i – порядковый номер хода шлифовального круга; $S_{радz,i}$ – радиальная подача шлифовального круга, мм/ход; $V_{кр}$ – окружная скорость круга, мм/мин; V_{Soc} – скорость осевая подача, мм/мин; σ – среднее значение интенсивности напряжений, Н/мм^2; S_X – площади контакта круга с заготовкой в плоскости действия осевой силы резания, мм^2; $d_{заг}$ – диаметр заготовки, мм; $D_{круга}$ – диаметр круга, мм; $T_{общ}$ – высота шлифовального круга, мм; η – степень затупления шлифовального круга, равная отношению суммарной площади площадок затупления зерен круга, образующихся в результате их износа по задней поверхности и расположенных на рабочей поверхности круга, к геометрической площади рабочей поверхности круга.

Многие параметры сохраняют свои значения, практически не изменяясь (диаметры заготовки и круга, скорости вращения круга и др.), поэтому их можно выразить через коэффициенты, тем самым упрощая вид основных формул. После преобразований, формула для расчета радиальной составляющей силы резания (1) примет следующий вид:

$$P_{Yz,i,} = M_1 S_{радz,i,} + M_2 T_{общ} \sqrt{S_{радz,i}}, \quad (2)$$

где M_1, M_2 – коэффициенты, определяющиеся по формулам (3) и (4).

$$M_1 = \frac{1{,}86\sigma\pi d_{заг} V_{Soc}}{\sqrt{(V_{кр} + V_{заг})^2 + V_{Soc}^2}}, \quad (3)$$

$$M_2 = \frac{\sigma\eta}{3}\sqrt{\frac{d_{заг} D_{круга}}{(d_{заг} - D_{круга})}}. \quad (4)$$

Из всех элементов технологической системы в процессе внутреннего шлифования наибольшей податливостью обладает шлифовальной шпиндель с оправкой и кругом [5]. Под действием радиальной составляющей силы резания происходит частичное «выдавливание» круга из зоны контакта круга с заготовкой. В результате, чего съем припуска осуществляет не всей общей высотой круга, а только ее частью – активной высотой круга. Выделим три варианта контакта круга с заготовкой, возникающих при различных условиях обработки. Первый вариант, круг – частично контактирует с заготовкой, при этом величина активной части высоты круга меньше общей высоты круга (рис. 1а). Второй и третий варианты возможны при полном контакте круга с заготовкой. При втором варианте заготовка и круг находятся в контакте по всей высоте круга, т.е. величина активной высоты круга равна общей высоте (рис. 2а) – идеальный случай. Третий вариант становится возможным в результате резкого увеличения значения программной радиальной подачи при малом значении общей высоты круга. При нем теоретически максимально возможное значение активной высоты круга больше общей высоты круга (рис. 2б). В дальнейшем, в процессе расчетов для данного случая величину активной части высоты круга принимаем равной общей высоте.

Степень полноты контакта круга и заготовки определяется двумя параметрами: углом поворота и упругой деформацией (прогибом) режущей кромки круга. Данные параметры находятся из дифференциального уравнение упругой линии шлифовального шпинделя, разработанного на основании методики, представленной в источнике [6].

Угол поворота режущий кромки круга можно найти по формуле

$$\varphi = P_Y \left(\frac{4A_1 - W_q^2}{4EJ_{X1}} \right). \quad (5)$$

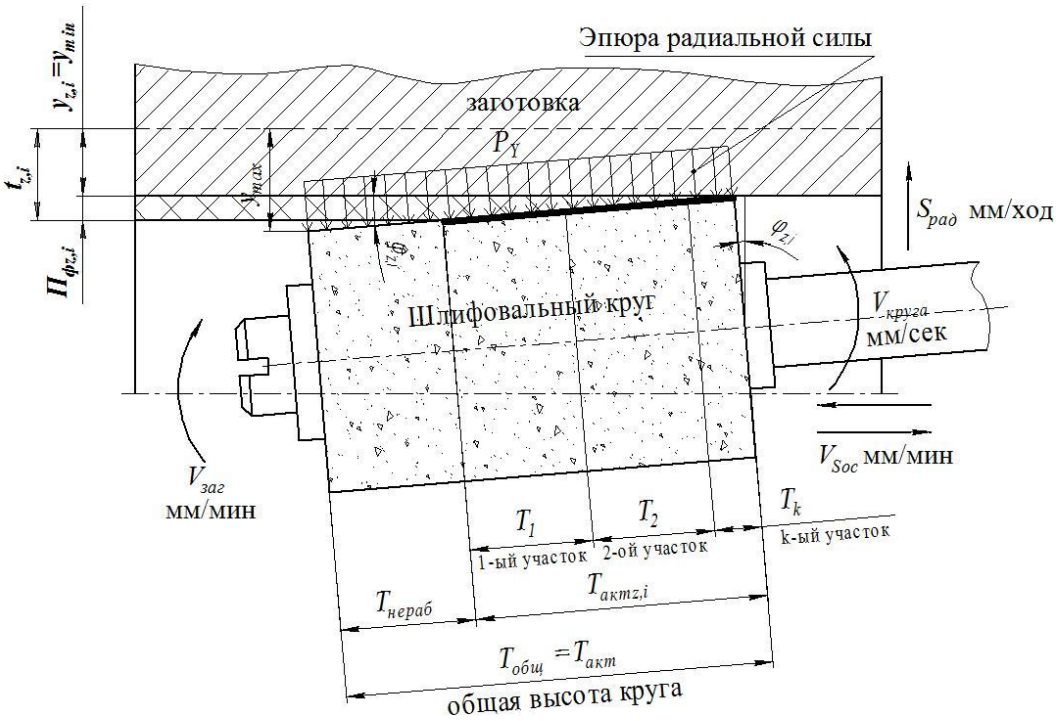


Рис. 1. Расчетная схема снятия припуска
при неполном контакте круга с заготовкой ($T_{общ} > T_{акт}$)

Минимальное значение упругой деформации режущей кромки круга находится по формуле:

$$y = P_Y\left(\frac{12A_1W_q + 12A_3 - W_q^3}{12EJ_{X1}}\right), \qquad (6)$$

где E – модуль упругости, МПа; J_{Xn} – полярный момент инерции n-ого сечения шлифовальной оправки, м^4; L – длина вылета шлифовальной оправки, мм; A_1, A_2 – коэффициенты, определяющие по формулам

$$A_1 = \frac{4J_{X1}L^2 + 4J_{X1}W_qL + W_q^2J_{X2}}{4J_{X2}}, \qquad (7)$$

$$A_3 = \frac{-4J_{X1}L^3 - 9J_{X1}L^2W_q - 6J_{X1}W_q^2L - 2J_{X2}W_q^3}{12J_{X2}}. \qquad (8)$$

В результате действия радиальной силы резания изменяется не только величина активной высоты круга, но величина фактически-снятого припуска:

$$П_{Фz,i} = t_{z,i} + y_{z,i},$$

где $y_{z,i}$ – упругая деформация режущей кромки круга, определяется по формуле (6), мм; $t_{z,i}$ – глубина резания, мм.

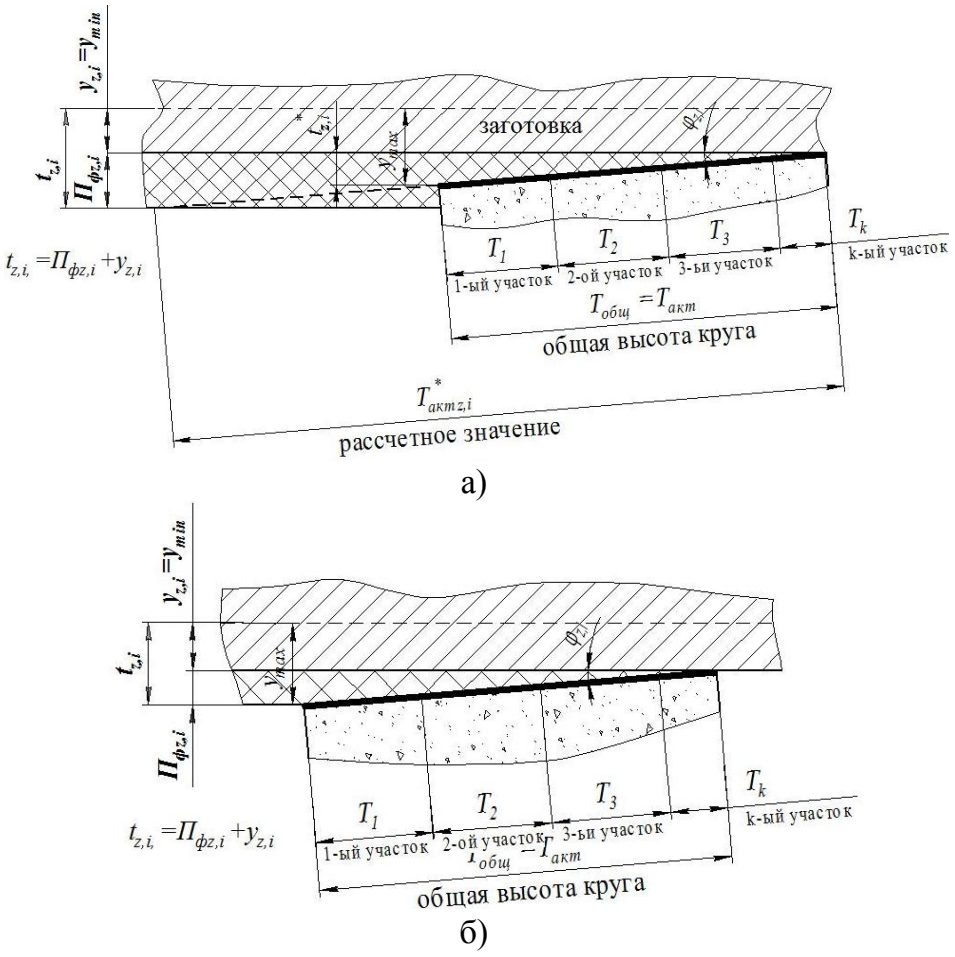


Рис. 2. Расчетная схема снятия припуска: при полном контакте круга с заготовкой: а – $T_{общ} = T_{акт}$; б – $T_{общ} < T_{акт}$

Глубина резания – расстояние между обротанной и обрабатываемой поверхностями, измеренное в перпендикулярном направлении. Наличие упругих деформаций режущей кромки круга глубина резания на текущем ходе включает в себя помимо радиальной подачи и величину неснятого припуска с предшествующих ходов. Таким образом, можно сказать, что глубина резания зависит от порядного номера хода и его вида (рабочий, нерабочий):

– для первого рабочего хода:

$$t_{z,i} = S_{радz,i},\qquad (9)$$

– для последующих рабочих ходов:

$$t_{z,i} = S_{радz,i} + y_{z,i-1},\qquad (10)$$

– для последующих нерабочих ходов:

$$t_{z,i} = y_{z,i-1}.\qquad (11)$$

На рис. 3. на примере 4-х ходов (нечетный – рабочий, четный – нерабо-

чий) подробно рассмотрена взаимосвязь глубины резания ($t_{z,i}$, мм), фактически-снятого припуска ($П_{Фz,i}$, мм), активной высотой круга ($T_{актz,i}$, мм) с упругими деформациями режущей кромки ($y_{z,i}$, мм) и программным значением радиальной подачи ($S_{радz,i}$, мм).

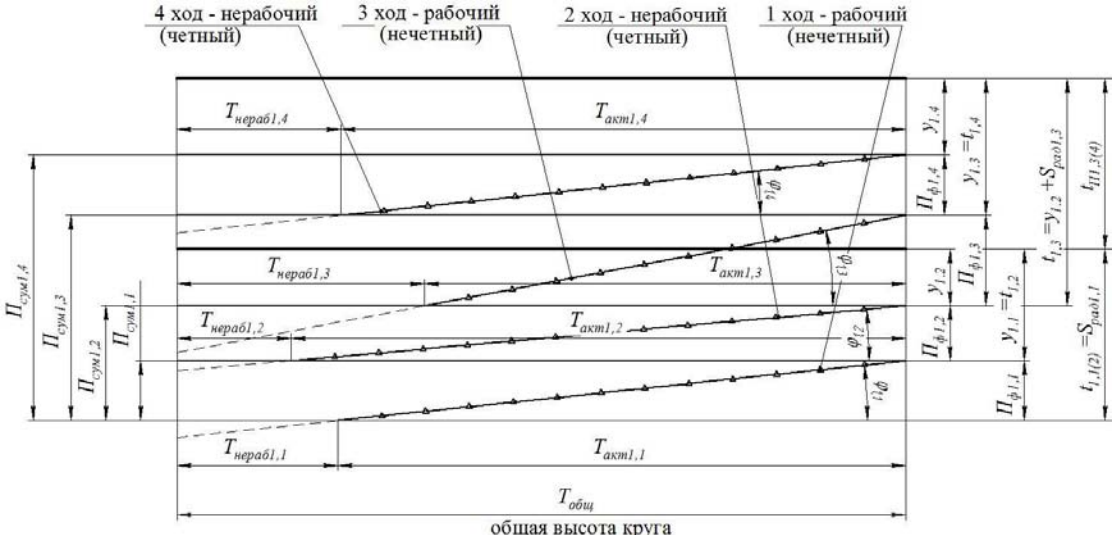


Рис. 3. Схема снятия припуска для 4-х ходов

Выделим три сечения на протяжении всей длине обрабатываемого отверстия: начальное, среднее и конечное сечения. Для учета исходного биения заготовки форма каждого сечения обрабатываемой принимается в виде эллипса, описываемого массивом радиус векторов [6]. Вследствие малости угла поворота (не превышает 1° [7]) величина активной высоты круга и угол наклона режущий кромки для каждого радиуса изменяются по высоте круга незначительно. Рассмотрим подробно методику расчета, позволяющую определить текущего значения b-ого радиуса g-ого сечения в течение всего цикла обработки.

На основании разработанной силовой модели (4), формулы для расчета упругой деформации режущей кромки круга, учитывающая активную часть высоты круга (5, 6), а также размерных схем и формул (9, 10, 11), полученных для различного сочетания ходов выведена формула для расчета величины фактически-снятого припуска с b-ого радиуса g-ого сечения на i-ом ходе z-ой ступени [8]:

$$П_{z,i,g,b} = \left[\frac{-A_4 M_2 W_q}{2(1+A_4 M_1)} + \sqrt{\left(\frac{A_4 M_2 W_q}{2(1+A_4 M_1)} \right)^2 + \frac{S_{сум.рад.z,i} - R_{z,i-1,g,b} + R_{min}}{1+A_4 M_1}} \right]^2,$$

где W_q – активная части высота круга для q-ом пересчета, мм; $S_{сум.рад.z,i}$ –

сумма радиальных подач, мм; R_{min} – значение минимального радиуса заготовки, мм; $R_{z,i-1,g,b}$ – значение b-ого радиуса g-ого сечения на предшествующем ходе z-ой ступени, мм; M_1, M_2 – коэффициенты, определяемые по формулам (3) и (4); A_4 – коэффициент, определяемый по формуле:

$$A_4 = \frac{W_q^3 - 12A_1W_q - 12A_3}{12EJ_{X1}},$$

где A_1, A_3 – коэффициенты, определяемые по формуле (7) и (8).

Величина активной части высоты круга определяется методом математического подбора. Для первого пересчета она принимается равной общей высоте круга, для последующих пересчетов определяется по формуле

$$W_{q+1} = 0.5(W_q + T_{акт/z,i}),$$

где $T_{акт/z,i}$ – расчетное значение активной части высоты круга, определяющиеся по формуле:

$$T_{актz,i,g,b} = \frac{\Pi_{z,i,g,b}}{A_2M_1\Pi_{z,i,g,b} + A_2M_2W_q\sqrt{\Pi_{z,i,g,b}}},$$

где A_2 – коэффициент, определяемый по формуле:

$$A_2 = \frac{4A_1 - W_q^2}{4EJ_{X1}}.$$

Количество пересчетов q определяется погрешность расчета активной части высоты круга:

$$\left|\frac{W_q - T_{акт/z,i,k}}{W_q}\right| \cdot 100\% < 1\%.$$

Основное время является одним определяющих факторов эффективности технологического процесса помимо точности и качества обрабатываемой поверхности. Основное время находится в прямой зависимости по количества ходов круга. В подавляющем большинстве нормативно-справочной литературе определение количества ходов осуществляется без учета влияния упругих деформаций режущей кромки, т.е. для абсолютно жесткой системы. В результате, по формулам, представленным в нормативно-справочной литературе, невозможно определить основное время и количество ходов, необходимых для снятия заданного припуска, из-за нелинейного изменения фактически-снятого припуска (при постоянном значении программной подачи), вследствие влияния упругих деформаций режущей кромки. Тем более, это невозможно сделать для процесса внутреннего шлифования, где на каждом ходе шлифование ведется при разной полноте кон-

такта круга и силе резания, из-за сложной функциональной связи упругих деформаций с параметрами режимов резания и технологических параметрами. В результате чего можно сделать принципиальный вывод: количество ходов можно только путем пошагового моделирования процесса съема металла.

Выводы

1. Разработанная силовая модель процесса внутреннего шлифования охватывает большую часть технологических факторов, влияющих на изменение силы резания: изменения значения программной и фактической радиальной подачи, механические свойства шлифуемого металла, геометрические параметры зоны контакта круга и заготовки, характеристику круга степень затупления зерен круга и т.д.

2. Разработанный математический аппарат позволяет рассчитать количество ходов и время цикла путем моделирования съема металла на каждом ходе при заданных режимах резания, с учетом упругих деформаций и особенностей кинематики резания.

Библиографический список

1. Ардашев, Д.В. Современные проблемы проектирования операций абразивной обработки / Д.В. Ардашев, О.С. Захарова // Международное научное издание «Современные фундаментальные и прикладные исследования». – 2015. – № 1. – С. 25–29.

2. Rowe, W.B. Principles of modern grinding technology / W.B. Rowe. – Liverpool: Elsevier Inc, 2013. – 437 p.

3. Переверзев, П.П. Моделирование и оптимизация управляющих программ для станков с ЧПУ с использованием динамического программирования / П.П. Переверзев, Д.Ю. Пименов // СТИН. – 2014. – № 6. – С. 18–24.

4. Переверзев, П.П. Аналитическое моделирование взаимосвязи силы резания при внутреннем шлифовании с основными технологическими параметрами / П.П. Переверзев, А.В. Попова // Металлообработка. – 2013. – № 3. – С. 24–30.

5. D’yakonov, A.A. Capabilities of internal-grinding wheels / A.A. D’yakonov // Russian Engineering Research. – Vol. 34, iss. 12. – 2015. – Pp. 781–784.

6. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов / В.И. Феодосьев. – М.: Наука, 1979. – 560 с.

7. Наерман, М.С. Справочник молодого шлифовщика / М.С. Наерман, Я.М. Наерман, А.Э. Исаков. – М.: Высшая школа, 1991. – 207 с.

8. Ваксер, Д.Б. Внутреннее шлифование / Д.Б. Ваксер. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1967. – 99 с.

9. Переверзев, П.П. Аналитическое моделирование взаимосвязи силы резания при внутреннем шлифовании с упругими деформациями технологической системы / П.П. Переверзев, А.В. Попова, Д.Ю. Пименов // СТИН. – 2014. – Вып. 9. – С. 23–27.

К содержанию

УДК 621.791.75.037

О ВОПРОСЕ ЭМИССИИ ПЕРВИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ С КАТОДА СВАРОЧНОЙ ДУГИ

А.Ю. Третьяков, Г.К. Сафонов

Расчетным путем, с учетом экспериментальных данных установлено, что эмиссия первичных электронов с катода сварочной дуги может обеспечиваться за счет напряженности электрического поля у катода. Такая напряженность электрического поля у катода позволяет преодолеть потенциальный барьер, препятствующий выходу первичных электронов.

Ключевые слова: напряженность электрического поля, доля ионного тока, эмиссия первичных электронов.

У катода дуги под влиянием объемного заряда положительных ионов возникает электрическое поле, достаточное для понижения потенциального барьера у поверхности металла. При таких условиях должна наблюдаться холодная эмиссия электронов с катода.

Для возможности эмиссии электронов у катода за счет полей высокой напряженности следует учитывать плотность ионного тока и плотность электронного тока у катода. Изменение работы выхода электронов (эффект Шоттки) должно наступать при напряженности электрического поля у катода порядка $10 \cdot 10^7$–$1{,}8 \cdot 10^8$ В/см.

При таких напряженностях потенциальный барьер должен быть преодолен [1].

Тогда плотность тока в катодном пятне должна составлять соответственно порядка 10^8 А/см^2.

Однако в дугах с ячеечной структурой катодного пятна при плотности тока в ячейках порядка $1 \cdot 10^8$ А/см^2 электростатический механизм высвобождения электродов из катодов металлических дуг является решающим [2].

Основной нагрев переносится с поверхности катода. Ионизированное пространство, расположено на расстоянии от одного до десяти свободных пробегов атомов газовой среды от поверхности катода [1]. Из-за небольшой теплоемкости и теплопроводности газа вблизи поверхности катода газ должен нагреваться при прохождении тока гораздо сильнее, чем какой-либо участок металла катода. В этом объеме газа должно происходить освобождение электронов за счет высоких температур. Регенерация необходимых для поддержания разряда электронов и ионов обеспечивается за счет термической ионизации газа в ионизированном пространстве, откуда образующиеся ионы направляются к катоду, а электроны к аноду, проводя ионизацию газа в анодном столбе. Следовательно, роль основного носителя тока в области катодного падения предоставляется ионами.

Однако утверждение, что образование первичных электронов в катодной области за счет высоких температур кажется маловероятных.

Расчет ожидаемых напряженностей электрического поля у катода показывает, что объемный заряд у отрицательного электрода в разряде создается движущимися к нему положительными ионами, плотность которых определяется концентрацией ионов в плазме дуги.

Эмиттируемые катодом электроны компенсируют положительный объемный заряд. Результаты вычисления напряженности поля у катода должны зависеть от того, какая часть переноситься ионами. Эта зависимость напряженности поля от величины ионного тока вносит неопределенность в задачу вычисления поля у катода. В настоящее время доля ионного тока для различных холодных дуг принимается порядка 0,5 [3].

Настоящее исследование катодных пятен сварочной дуги позволило установить их структуру [4]. На основании полученных данных, следует иметь в виду, что общее катодное пятно состоит из отдельных автономных пятен, которые, в свою очередь, образуются отдельными ячейками, перемещающимися с большой скоростью (3000 см/сек). Диаметр ячеек составляет порядка $1{,}5 \cdot 10^{-4}$ см.

Полученные данные позволяют оценить долю ионного тока и напряженность электрического поля у катода.

Доля ионного тока:

$$f \cdot a = \frac{q}{I_я(U_к + U_i - \varphi)},$$

где f – доля ионного тока у катода; a – коэффициент аккомодации; q – тепловая мощность ячейки; $U_к$ – катодное падение напряжения; $U_к$ – катодное падение напряжения; U_i – потенциал ионизации; φ – работа выхода электрона.

Тепловая мощность ячейки:

$$q = \frac{бсу\Delta\nu T_{пл}}{0{,}484}.$$

Расчеты показывают: доля ионного тока у катода составит 0,065.

Напряженность электрического поля у катода:

$$E_к^2 = 7{,}57 \cdot 10^5 j_e U_к^{\frac{1}{2}} \left(\frac{43\mu^{\frac{1}{2}} j_i}{j_e} - 1 \right).$$

Напряженность электрического поля у катода позволяет определить снижение работы выхода электронов:

$$\Delta\varphi = 3{,}8 \cdot 10^{-4} E^{1/2}.$$

Таким образом, при напряженности поля $1{,}73 \cdot 10^8$ В/см и плотности тока у катода $5{,}1 \cdot 10^8$ А/см^2 преодолевается потенциальный барьер, что обеспечивает эмиссию первичных электронов у катода.

Библиографический список

1. Кесаев, И.Г. Катодные процессы электрической дуги / И.Г. Кесаев. – М.: Наука, 1968. – 244 с.
2. Лесков, Г.И. Энергетическая сварочная дуга / Г.И. Лесков. – М.: Машгиз, 1970. – 330 с.
3. Раховский, В.И. Физические основы коммутации электрического тока в вакууме / В.И. Раховский. – М.: Наука, 1970. – 536 с.
4. Норин, П.А. Структура, геометрические и физические характеристики катодного пятна / П.А. Норин, А.Ю. Третьяков // Сварочное производство. – 2001. – № 9. – С. 3–5.

К содержанию

УДК 621.99:621.9.04 + 621.951.04

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ ПОД РЕЗЬБУ ВРАЩАЮЩИМСЯ ПУАНСОНОМ В ТОНКОЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВКАХ

П.В. Шаламов, Д.А. Савельев, В.Э. Бабкин, Р.М. Валеева

Рассмотрено формообразование отверстий под резьбу комбинированным инструментом. Выявлена оптимальная подача для данного процесса при заданных параметрах.

Ключевые слова: пластическое сверление, тонколистовая заготовка; комбинированный инструмент; осевая сила; принудительная подача.

В машиностроении широко применяются изделия из тонколистовых заготовок, предусматривающие резьбовое крепление к ним различных комплектующих изделий [1]. Работоспособность резьбового соединения обеспечивается длиной свинчивания, т.е. за счет размещения необходимого количества витков резьбы по длине отверстия, что для тонкостенных заготовок проблематично. Существующие способы увеличения длины свинчивания (гибка листов, приварка втулок, пробивка отверстий в закрытых штампах и др.) не обладают достаточной технологичностью и требуют дополнительных расходных материалов и оборудования [2, 3]. В связи с этим наиболее рациональным способом получения отверстий под резьбу в тонколистовых заготовках является метод пластического сверления (рис. 1), позволяющий получить достаточную длину свинчивания за счет образования отбортовок отверстия, в виде вытянутого участка [4]. При этом полу-

чаемые отверстия имеют более высокую точность и меньшую шероховатость по сравнению с традиционными способами. Вместе с этим данный вид формообразования отверстий под резьбу эффективен не для всех технологических режимов обработки, в некоторых случаях наблюдается деформация заготовки или поломка инструмента [5].

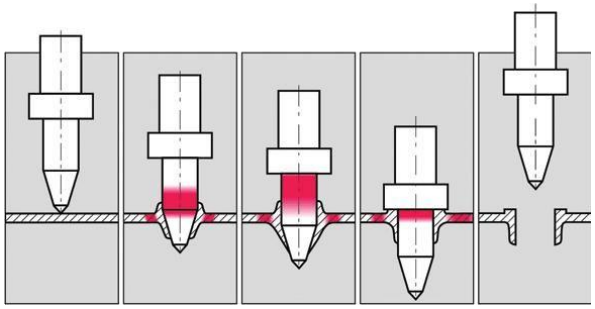


Рис. 1. Стадии процесса формообразования
отверстия пластическим сверлением

Опубликованные исследования не указывают эффективные режимы обработки отверстий в тонколистовых заготовках под метрическую резьбу диаметром 7 миллиметров и выше, отсутствуют данные по геометрии получаемого отверстия. В связи с этим был проведен ряд экспериментов с листовой заготовкой толщиной 2 миллиметра. В качестве инструмента был выбран пуансон диаметром 7 миллиметров (для получения резьбы М8х1), изготовленный из стали ВК6 (рис. 2). Для предотвращения скалывания на конце инструмента изготавливался предохранительный конус с углом 80 градусов. Рабочий конус составлял 60 градусов. Заточка проводилась на универсальном заточном станке 3Е642Е.

Рис. 2. Пуансон

Эксперименты показали, что принудительная подача вызывает деформацию заготовки, поэтому применение инструмента диаметром больше 7 миллиметров для данного вида обработки нецелесообразно (рис. 3). Исключение составил режим обработки при подаче инструмента 0,1 мм/об и частоте вращения шпинделя 2000 об/мин. Однако применение подачи 0,1 мм/об повышает основное время на обработку, что нецелесообразно в условиях серийного производства.

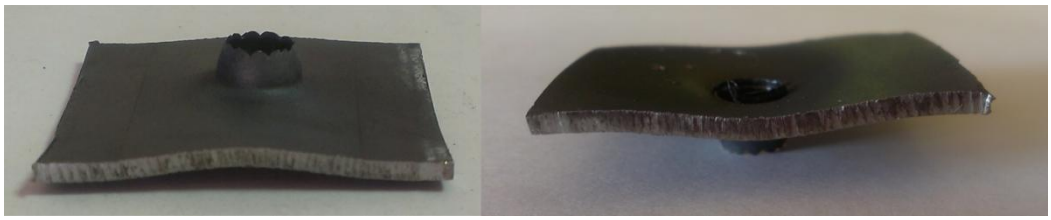


Рис. 3. Деформированная заготовка

Во избежание деформаций при получении отверстий был изготовлен комбинированный инструмент с двумя рабочими частями (рис. 4).

Рис. 4. Комбинированный инструмент

Первая рабочая часть данного инструмента имеет диаметр 4 миллиметра, а вторая – 7,2 миллиметров. Оба рабочих конуса составляют 60 градусов.

В заготовках толщиной 2 миллиметра на различных режимах обработки проводилось формообразование отверстий. Во время обработки фиксировалась действующая на заготовку осевая сила с помощью трехкомпонентного динамометра фирмы Kistler (Швейцария), модель 9257B, внешний вид которого представлен на рис. 5.

Рис. 5. Внешний вид динамометра модели 9257B

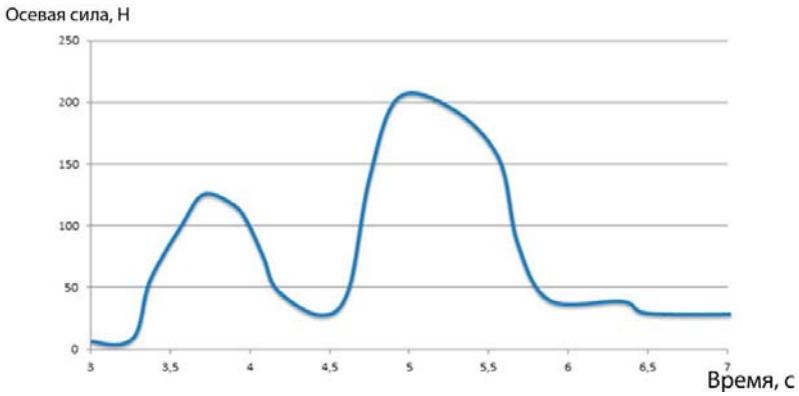
Результаты данных исследований приведены в таблице. Изменение осевой силы для некоторых режимов резания представлено на графиках (рис. 6). На рис. 7 представлен внешний вид отверстия с отбортовками, изготовленного комбинированным инструментом.

При подаче инструмента 0,4 мм/об и частоте вращения шпинделя 710 об/мин формообразование отверстий невозможно, так как инструмент продавливает отверстие в заготовке, а не образует его, благодаря процессу течения металла. Нарезать резьбу в таких отверстиях не получится.

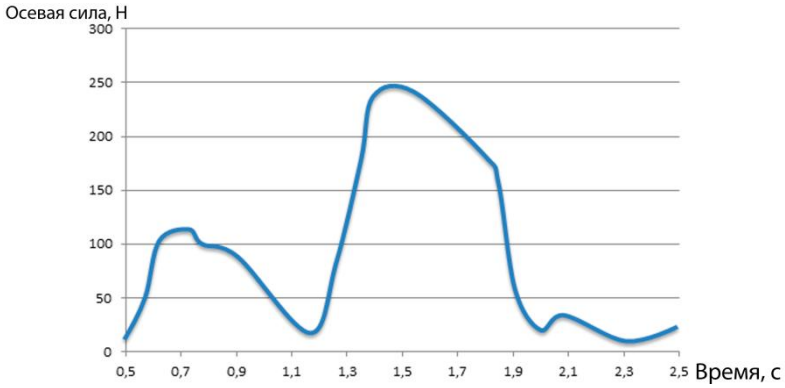
Таблица

Результаты исследования

n, мин$^{-1}$	S, мм/об	F_z, Н	t, сек
2000	0,1	165	7
	0,14	240	4
	0,2	200	3
	0,4	300	1,5
1400	0,1	240	9
	0,14	250	7
	0,2	260	5
	0,4	220	1,5
1000	0,1	240	11
	0,14	260	7
	0,2	270	6
	0,4	180	3
710	0,1	240	12
	0,14	250	12
	0,2	260	9
	0,4	–	–



а)



б)

Рис. 6. Графики изменения осевой силы при режимах обработки:
а – s = 0,2 мм/об, n = 2000 об/мин; б – s = 0,4 мм/об, n = 2000 об/мин

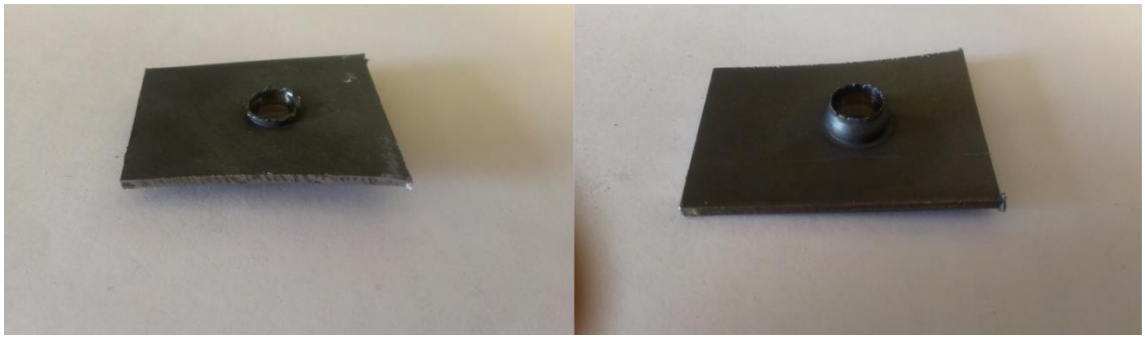


Рис. 7. Внешний вид отверстия,
образованного комбинированным инструментом

Таким образом, отверстия диаметром более 7 мм наиболее целесообразно изготавливать комбинированным инструментом (рис. 7). Принимая во внимание то, что сокращение основного времени приводит к увеличению производительности, наиболее оптимальными режимами обработки являются: частота вращения шпинделя – 2000 об/мин, подача инструмента – 0,4 мм/об.

Библиографический список

1. Дроздов, М.В. Прочность и виды разрушений резьбовых соединений шпилек при их применении в статических нагрузках / М.В. Дроздов // ООО «Инженерный Союз». Технические статьи.

2. Шаламов, П.В. Формообразование отверстий под резьбу вращающимся пуансоном в тонколистовых заготовках: дис. … канд. техн. наук / П.В. Шаламов. – Челябинск, 2012. – С. 153.

3. Шаламов, П.В. Формирование отверстий вращающимся пуансоном в листовой заготовке / П.В. Шаламов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2011. – Вып. 18. – № 31 (248). – С. 81–84.

4. FormDrill, 2014. – URL: http://www.formdrill.com/english/formdrill.htm.

5. Усачев, В.В. Технология термопластического сверления / В.В. Усачев // Труды XXIV Междун. инновационно-ориентировочной конф. молодых ученых и студентов «Актуальные проблемы машиностроения» (МИКМУС–2012). – М.: Изд-во ИМАШ РАН, 2012 – С. 181–184.

К содержанию

УДК 621.923.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТИЧЕСКОЙ ЖЕСТКОСТИ ТС ПРИ КРУГЛОМ ВРЕЗНОМ ШЛИФОВАНИИ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

А.Х. Нуркенов, Д.А. Савельев

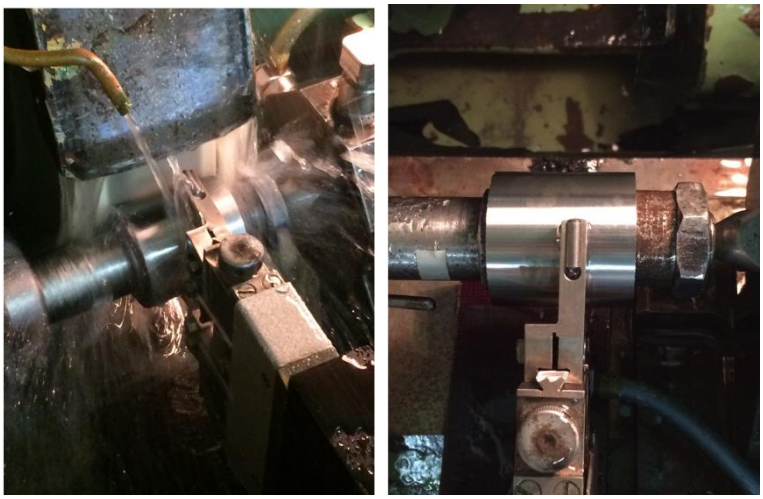
В публикации произведено исследование влияния геометрии тонкостенных изделий на фактическую жесткость технологической системы на основе ее предварительного тестирования. Полученные результаты позволили установить влияние фактического параметра жесткости на проектируемый цикл круглого врезного шлифования.

Ключевые слова: фактическая жесткость технологической системы, круглое врезное шлифование.

Современные станки с ЧПУ позволяют обрабатывать широкую номенклатуру изделий. Трудоемкость разработки управляющих программ (УП) зависит в первую очередь от конструкторских требований готовой детали. На основе проведенных ранее исследований, автором предложен способ определения фактической жесткости технологической системы (ТС) [1]. Входной параметр жесткости определяется за счет тестового удаления части припуска с заготовки.

В данной публикации рассмотрено влияние исходной геометрии заготовки (тонкостенных) деталей на измеряемый параметр жесткости ТС. На его основе затем проектируется цикл обработки для станка с ЧПУ.

Произведенные раннее эксперименты для шлифуемого на оправке кольца из различных марок сталей, показали сходимость результатов при различных способах определения жесткости ТС. Таким образом, произведена дополнительная серия экспериментов для тонкостенных изделий (рис. 1). Измерения представляют собой сигналы с прибора активного контроля в мВт. В результате тарировки концевыми мерами длины измерения представляют собой изменение диаметра заготовки в процессе шлифования (рис. 2).



а) б)

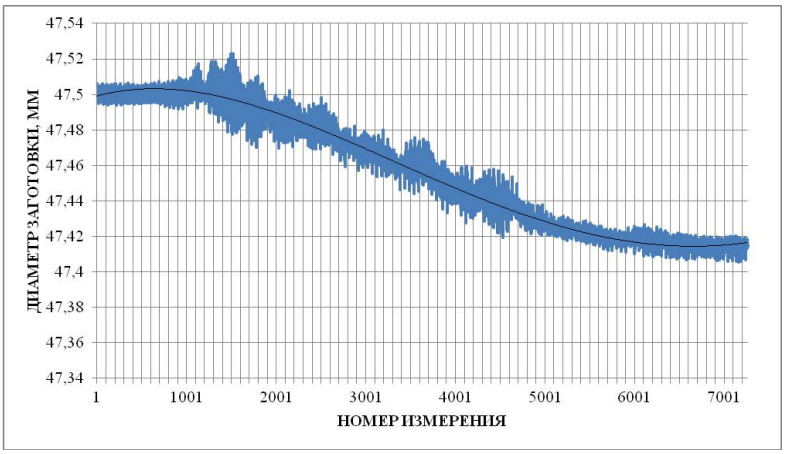
Рис. 1. Обработка тонкостенного стакана на круглошлифовальном станке с ЧПУ 3М151Ф2: а – в процессе шлифования; б – обработанная деталь

На станке с ЧПУ 3М151Ф3 были прошлифованы стаканы с различной толщиной стенки. Исходные данные эксперимента: толщина стенки 1,5 и 5 мм, диаметр заготовки 48,5 мм, ширина шлифования 50 мм, материал сталь 45 (после закалки HRC 33…35), удаляемый припуск 2П = 0,1 мм, скорость резания V = 50 м/с, поперечная подача шлифовального круга S = 0,002 мм/об, частота вращения заготовки n = 140 об/мин. Результаты обработки представлены в табл. 1.

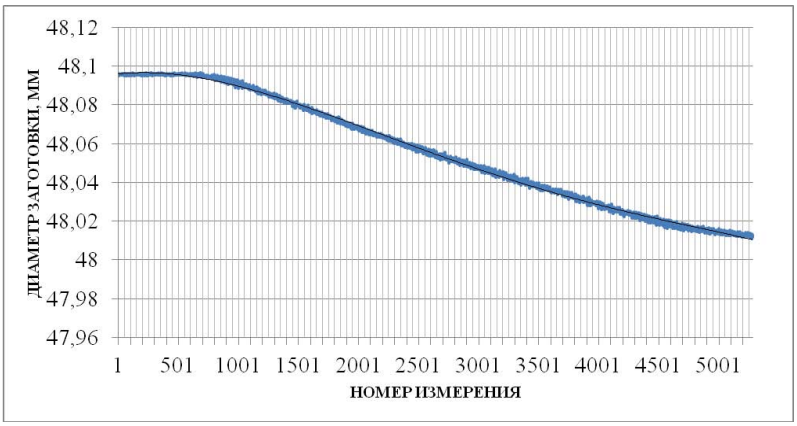
Таблица 1

Результаты измерения жесткости ТС

Серия, №	Составляющая силы резания P_y, Н	Толщина стенки шлифуемого стакана	
		1,5 мм	5 мм
		Упругие деформации Y, мм	
1	143,984	0,01708	0,0038
2		0,0136	0,01312
3		0,01708	0,0166
4		0,01696	0,01624
5		0,016	0,00808



а)



б)

Рис. 2. Показания прибора активного контроля после тарировки:
а – стакана с толщиной стенки 1,5 мм; б – стакана с толщиной стенки 5 мм

На основе экспериментальных и расчетных данных получим средние упругие деформации ТС для стакана 1 и 2 равные 0,0161 и 0,0107 мм. По известному выражению $I = P_y/y$ получим следующие жесткости ТС $I_1 = 0{,}0178$ Н/м и $I_2 = 0{,}0268$ Н/м.

Следует отметить существенные величины упругих деформаций в ТС и их отличие от деформаций, измеряемых при шлифовании более жестких деталей. Полученные результаты в первую очередь оказывают влияние на проектируемый цикл шлифования [2]. Для отображения влияния фактической жесткости ТС на проектирование цикла построены графики ступенчатых циклов (рис. 3).

Синим цветом на графиках отображено изменение программной врезной подачи, а красным изменение фактической врезной подачи. Отличие спроектированных циклов в зависимости от фактической жесткости ТС представлены в табл. 2.

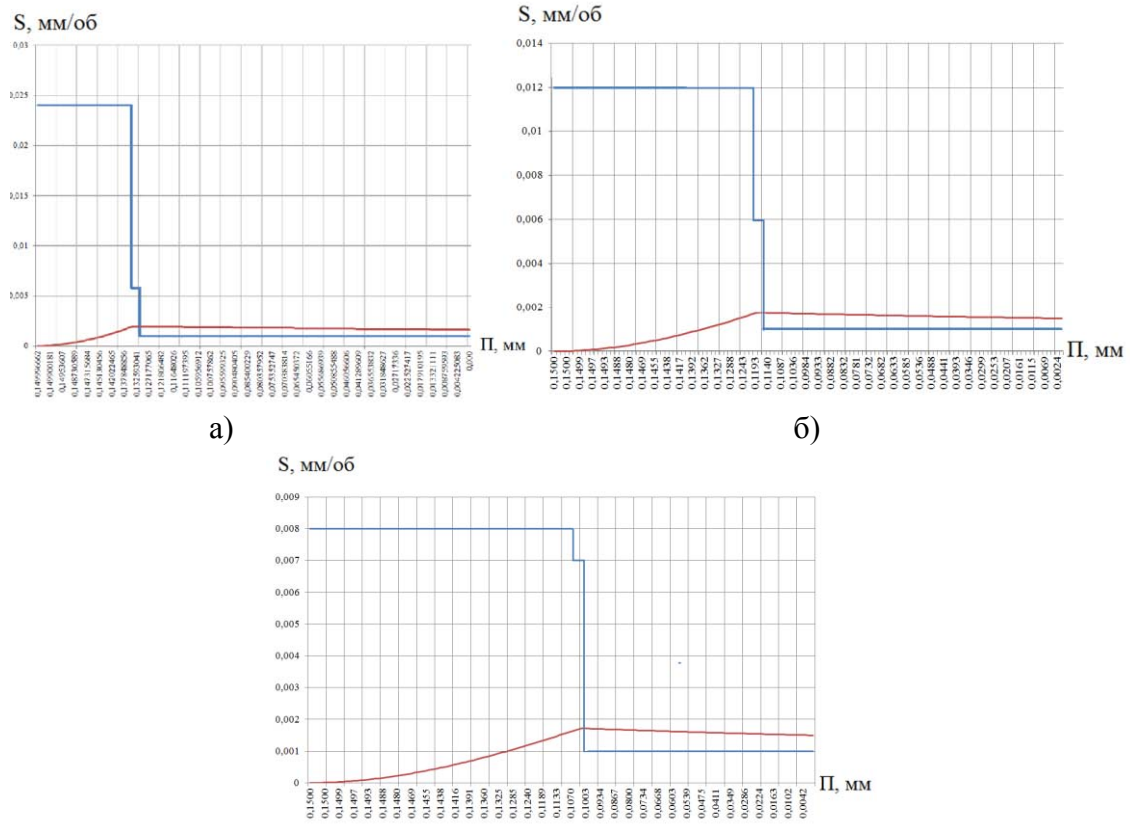


Рис. 3. Спроектированный цикл для круглого врезного шлифования на станке с ЧПУ для стакана с толщиной стенки 1,5 мм: а – при частоте вращения заготовки n = 50 об/мин; б – при частоте вращения заготовки n = 100 об/мин; в – при частоте вращения заготовки n = 150 об/мин

Таблица 2

Анализ спроектированных циклов шлифования для ТС с различной жесткостью

Обрабатываемое изделие		Стакан 1			Стакан 2		
Материал		Сталь 45					
Толщина стенки, мм		1,5			5		
Фактическая жесткость ТС I, Н/м		0,0178			0,0268		
Удаляемый припуск на сторону П, мм		0,15					
Ширина шлифования B, мм		50					
Диаметр заготовки d, мм		48,5					
Диаметр шлифовального круга D, мм		600					
Скорость резания V, м/с		50					
Врезная подача S, мм/об		S1	S2	S3	S1	S2	S3
Частота вращения заготовки n, мм/об	50	0,024	0,006	0,001	0,024	0,009	0,001
	100	0,012	0,006		0,012	0,001	
	150	0,008	0,007		0,008	0,006	
Время цикла T, с	Цикл 1	127,2			64,8		
	Цикл 2	73,2			35,4		
	Цикл 3	56			26		

На основе полученных результатов исследования можно сделать следующие выводы:

1. Фактическая жесткость технологической системы зависит в первую очередь от исходной заготовки и технического состояния станка.

2. Измерение диаметра тонкостенного изделия в процессе обработки *показывает значительные упругие деформации* в технологической системе.

3. Фактическая жесткость технологической системы *значительно* влияет на проектирование цикла круглого врезного шлифования.

Таким образом, параметр фактической жесткости ТС при шлифовании тонкостенных изделий необходимо учитывать на стадии проектирования цикла круглого врезного шлифования с целью минимизации времени обработки и выполнения требований по точности и качеству конечного изделия.

Библиографический список

1. Research stiffness of CNC plunge grinding machine units / ISSN 1068 798X, Russian Engineering Research, 2015, Vol. 35, No. 2, pp. 69–72. © Allerton Press, Inc., 2015.

Original Russian Text © V.I. Guzeev, A.Kh. Nurkenov, A.V. Ignatova, 2014, published in STIN, 2014, No. 7, pp. 26–29.

2. Designing the plunge-grinding cycle on the basis of the rigidity of the technological system / ISSN 1068 798X, Russian Engineering Research, 2015, Vol. 35, No. 2, pp. 150–153. © Allerton Press, Inc., 2015.

Original Russian Text © V.I. Guzeev, A.Kh. Nurkenov, 2014, published in STIN, 2014, No. 8, pp. 31–35.

К содержанию

УДК 621.914.1.04

ПРИМЕНЕНИЕ СОЖ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ

В.Н. Сафин

Рассмотрено взаимодействие поверхности фрезы и детали при фрезеровании. Для уменьшения износа фрезы по задней поверхности рекомендуется применение СОЖ.

Ключевые слова: фреза, зуб, задняя поверхность зуба, СОЖ, вода, кислород, озон, перекись водорода.

Для безогневой резки труб диаметром от 200 до 800 мм лезвийным инструментом с одновременной разделкой кромок под сварку применяется машина «Волжанка», а в качестве инструмента специальная дисковая фреза. Фреза дисковая, угловая, двусторонняя, угол при вершине 60. Фрезерование встречное, толщина, срезаемая одним зубом, будет 0,03 мм. Рас-

смотрим процесс взаимодействия зуба с обрабатываемой поверхностью. Как известно, режущие кромки инструмента деформируются упруго в процессе резания, задняя поверхность зуба фрезы под действием сил резания имеет значительную деформацию из-за действия сил со стороны разрезаемого металла. Обрабатываемая поверхность упруго деформируется и входит в контакт с задней поверхностью зуба и скользит по ней. Учитывая небольшие задние углы, площадь контакта задней поверхности зуба с обработанной поверхностью заготовки будет довольно значительной. Между обработанной поверхностью и задней поверхностью зуба возникает физический контакт, что приводит к взаимодействию между ними. Поверхности находятся в относительном взаимном движении, на их поверхности образуется налип и вырыв части металла. Периодичность срыва частиц металла достигает до 4000 срывов в минуту, что обеспечивает непрерывное образование в контактной зоне микронеровностей, вследствие чего изменяется микрогеометрия поверхности. Это явление очень хорошо видно на задней поверхности боковых зубьев фрезы, где образуется ленточка износа возле лезвия.

Одним из способов борьбы с таким явлением будет применение СОЖ. В соответствии с существующими взглядами СОЖ производит в процессе резания охлаждающее, смазывающее, диспергирующее и т.д. действия. Смазывающее действие на участках трения по передней и задней поверхности, при этом смазывающее действие проявляется при образовании окисных пленок [2]. Задача окисной пленки обеспечить с наименьшим усилием перемещение одной поверхности по другой. По данным [1] оксидные пленки могут обеспечить коэффициент трения 0,11–0,16, а чистые поверхности без пленок коэффициент трения 0,78–1,21. Одним из компонентов СОЖ является вода. Вода принимает активное участие в физико-химических процессах резания. Она является сильно полярным адсорбатом. При адсорбции воды на ювенильной поверхности могут образовываться гидроксильные группы ОН. Особенно усиленно протекает адсорбция воды после формирования первого монослоя оксидов. Химическая активность поверхности твердого тела сильно зависит от присутствия на ней адсорбированной влаги и растворенного в ней кислорода. Обще признана роль кислорода в контактных взаимодействиях при трении и резании металлов, полностью обескислороженные смазочные масла способствуют задирам и схватыванию поверхностей при тяжелых режимах трения. Экспериментальные данные свидетельствуют, чтобы повысить химическую активность кислорода и других кислородосодержащих молекул при резании металлов необходимо разлагать эти молекулы на атомы, ионы и химические радикалы или подобрать в качестве компонентов СОЖ такие вещества, которые легко бы разрушались самопроизвольно. Этому условию лучше всего удовлетворяют перекиси и озон. Введение их в смазывающие вещества позволяют значительно снизить показатели трения и увеличить стойкость фрез.

В качестве СОЖ при фрезеровании труб используется вода, которая подается наливом на режущий инструмент. Для увеличения эффективности СОЖ разрабатывается метод насыщения кислородом воды, которая подается для охлаждения и смазки фрезы.

Библиографический список

1. Латышев, В.Н. Повышение эффективности СОЖ / В.Н. Латышев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 64 с.
2. Технологические свойства новых СОЖ для обработки резанием / под ред. М.И. Клунина. – М.: Машиностроение, 1979. – 192 с.

К содержанию

УДК 621.923.01

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА CAM-МОДУЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЦИКЛА КРУГЛОГО ШЛИФОВАНИЯ НА БАЗЕ ОБЩЕМАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ НОРМАТИВОВ

Л.В. Шипулин, Н.Е. Миронова, И.В. Дьячкова

В статье рассматривается разработка алгоритма CAM-модуля системы ADEM для проектирования операций круглого врезного шлифования в виде двухступенчатого цикла. Решаются две основные задачи – разработка алгоритма проектирования цикла в соответствии с общемашиностроительными режимами резания и формирование на основе спроектированного цикла управляющей программы.

Ключевые слова: круглое шлифование, алгоритм проектирования цикла, управляющая программа для круглого шлифования.

Одним из наиболее распространенных процессов получения цилиндрических поверхностей высокой точности и низкой шероховатости является круглое врезное шлифование, которое осуществляется на круглошлифовальных станках. В современном машиностроении наметилась тенденция замены универсальных круглошлифовальных станков на станки с числовым программным управлением. Использование таких станков требует задания управляющей программы, содержащей команды для движения рабочих органов.

Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ осуществляется инженером-технологом на этапе технологической подготовки производства. При проектировании операций лезвийной обработки для этих целей эффективно используют компьютерные CAM-системы, позволяющие в ав-

томатизированном режиме разработать управляющую программу. В настоящее время для процессов шлифования подобные CAM-системы отсутствуют.

В связи с этим разработку управляющих программ для шлифовальных станков технолог вынужден выполнять вручную, в результате чего качество операций напрямую зависит от его квалификации. В то же время в общемашиностроительных нормативах на режимы резания [1] содержатся рекомендации по проектированию операций круглого шлифования в виде двухступенчатого цикла, включающего черновую и чистовую ступени.

Используя таблицы и расчетные методики из нормативов, имеется возможность разделения припуска на части и назначения на каждую из них различающихся режимов резания. Такие действия хоть и позволяют разработать технологию лучше, чем обработку с константной подачей, но требуют значительных временных и кадровых затрат. Сокращение временных затрат на поиск технологом нужных поправочных коэффициентов по двенадцати картам возможно за счет разработки компьютерного CAM-модуля, позволяющего автоматизировать разработку двухступенчатого цикла по нормативной методике [1].

При создании CAM-модуля необходимо решить две основные задачи: определить траектории движения рабочих органов и назначить режимы резания. При круглом шлифовании абразивный инструмент движется по направлению к оси вращения детали со скоростью подачи, т.е. траектория обработки заранее определена и однозначна. Иначе дело обстоит со скоростью радиальной подачи инструмента. Скорость подачи является одним из основных параметров управления, напрямую оказывающим влияние на производительность процесса. Имеется ряд работ, посвященных разработке научных основ проектирования циклов шлифования [2–4].

В общемашиностроительных нормативах предлагается двухступенчатый цикл. Рекомендации по его проектированию в нормативах представлены в виде описательной последовательности действий. На основе этого описания разрабатывается алгоритм расчета параметров двухступенчатого цикла круглого врезного шлифования (рис. 1).

Основными исходными данными алгоритма являются: обрабатываемый материал, точность размеров и формы заготовки и готовой детали, шероховатость поверхности и податливость технологической системы. Кроме этого учитываются размеры обрабатываемой поверхности, точность станка, класс СОЖ и характеристики шлифовального круга. Ввод исходных данных осуществляется путем заполнения файла excel (рис. 2).

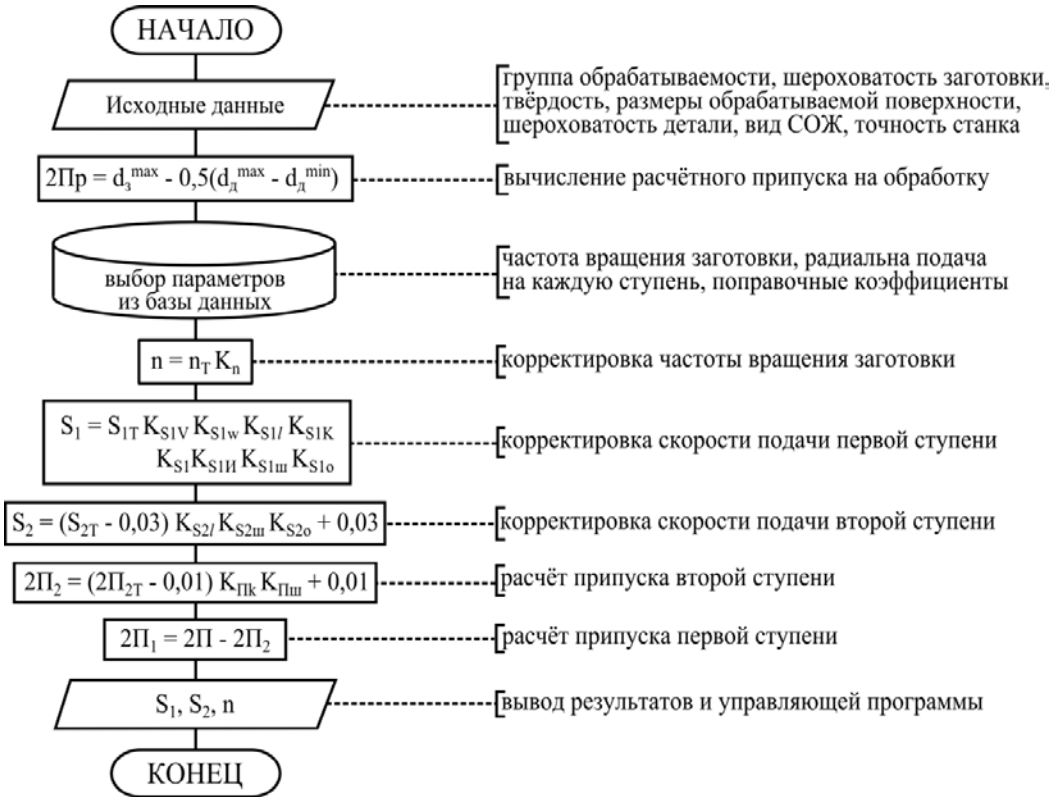


Рис. 1. Алгоритм расчета круглого врезного шлифования

ПАРАМЕТРЫ ЗАГОТОВКИ	
Обрабатываемый диаметр зщаготовки, мм	60
Группа обрабатываемого материала (см. рекомендации)	6а
Твердость обрабатываемой поверхности по шкале HRC	48
Ширина обрабатываемой повершности, мм	25
Припуск на обработку на диаметр, мм	0,4
Форма поверхности	Прерывистая
Количество галтелей	1
Радиус галтели, мм	5
Квалитет заголтовки	12
Квалитет готовой детали	7
Допуск на диаметр готовой детали, мкм	16
Шероховатость готовой поверхности Ra, мкм	1,25
ПАРАМЕТРЫ ИНСТРУМЕНТА И СТАНКА	
Скорость вращения инструмента	35
Максимальная скорость рабочей подачи станка, мм/мин	4
Диаметр шлифовлального круга, мм	500
Материал шлифовального круга	Хромотитанистый электрокорунд (92А)
Зернистость инструмента	45
Класс СОЖ	Синтетические и полусинтетические остальные растворы
Координата X начального положения круга, мм	250
Постоянство диаметра в поперечном сечении (по паспорту станка), мкм. Если неизвестно - оставить "0"	2,5
Постоянство диаметра в продольном сечении (по паспорту станка), мкм. Если неизвестно - оставить "0"	10
Погрешность измерения (по паспорту прибора активного контроля), мкм. Если неизвестно - оставить "0"	0

Рис. 2. Файл excel с вводными данными

После считывания исходных данных программой из файла excel рассчитывается припуск под обработку. Далее из базы данных, созданной на основе карт и приложений общемашиностроительных нормативов, выбираются необходимые параметры: частота вращения заготовки, скорости радиальных подач на каждую ступень и комплекс поправочных коэффициентов. В трех следующих блоках осуществляется корректировка частоты вращения заготовки и скоростей радиальной подачи инструмента. На заключительном этапе рассчитываются величины чернового и чистового припусков. Результатом выполнения алгоритма является создание двух файлов с результатами: информацией о цикле (рис. 3) и управляющей программой для станка с ЧПУ (рис. 4).

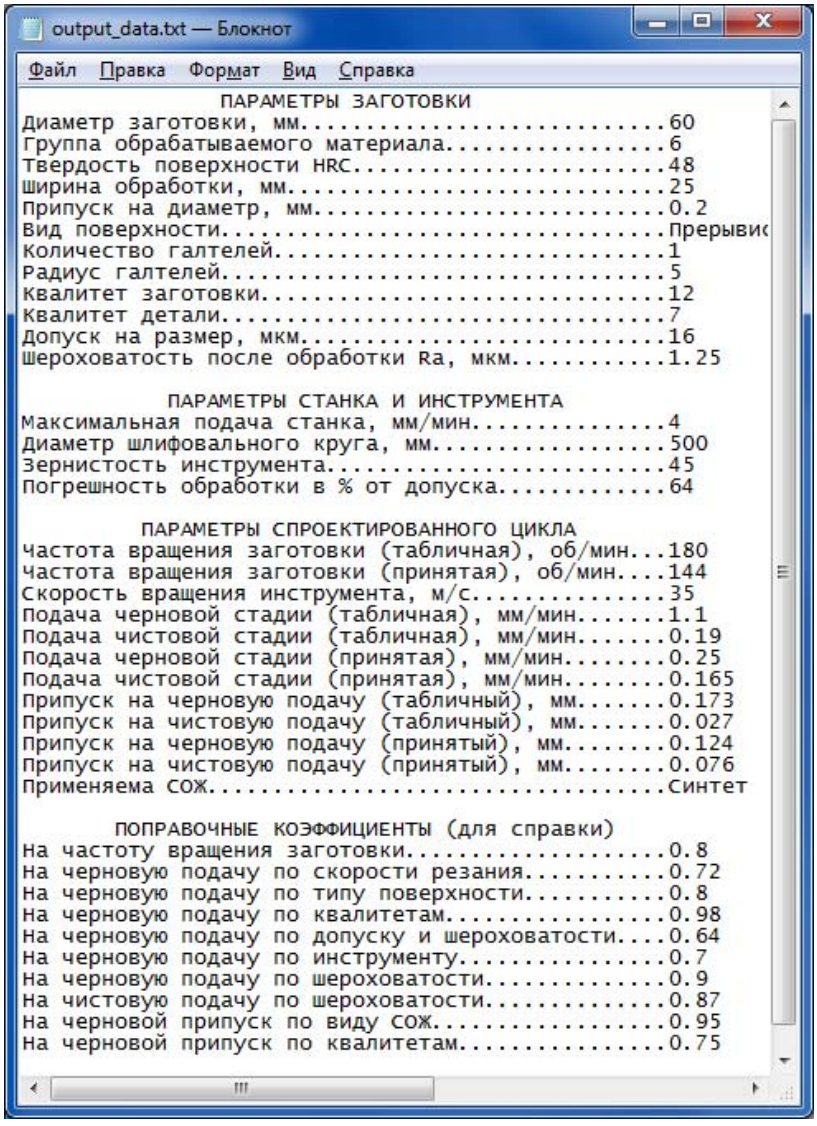


Рис. 3. Файл txt с результатами –
параметрами процесса и цикла

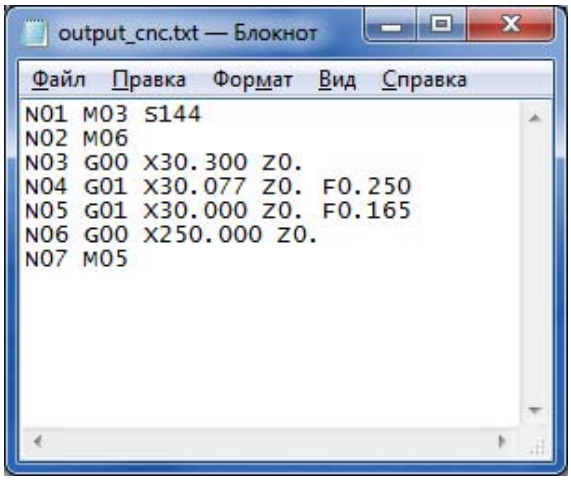


Рис. 4. Файл txt с результатами – управляющей программой

Реализация представленного на рис. 1 алгоритма средствами языка программирования C# позволила получить CAM-модуль круглого шлифования, который позволяет на основе введенных пользователем данных о проектируемой операции получить спроектированный двухступенчатый цикл обработки. Применение такого модуля на практике позволит инженеру-технологу проектировать двухступенчатый цикл обработки, который обеспечит большую производительность, чем шлифование с константной подачей. В то же время применение разработанного комплекса как альтернативы нормативному справочнику в твердом переплете позволяет сократить время проектирования операции и исключить вероятность ошибки.

Библиографический список

1. Общемашиностроительные нормативы режимов резания. Справочник в 2 т. Т 2 / А.Д. Локтев, И.Ф. Гущин, Б.Н. Балашов, М.Ф. Бокгольд и др. – М.: Машиностроение, 1991. – 304 с.

2. Дьяконов, А.А. Методика проектирования операций плоского шлифования периферией круга в виде трехступенчатого цикла / А.А. Дьяконов // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2013. – № 12 (30). – С. 12–18.

3. Гузеев, В.И. Методика проектирования цикла круглого врезного шлифования на основе тестового определения жесткости технологической системы / В.И. Гузеев, А.Х. Нуркенов // СТИН. – 2014. – № 8. – С. 31–35.

4. Переверзев, П.П. Моделирование технологических ограничений при оптимизации автоматических циклов шлифования / П.П. Переверзев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Машиностроение». – 2012. – № 12 (271). – С. 165–168.

К содержанию

УДК 621.9.01 + 517.972.5

РЕШЕНИЕ СВЯЗАННЫХ ЗАДАЧ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

И.С. Болдырев

В статье приведен расчет распределения температуры в заготовке и стружке при свободном резании стали 10 резцом из быстрорежущей стали с помощью метода конечных элементов в контактной постановке.

Ключевые слова: резание, механическая обработка, температура при резании, тепловые явления при резании, метод конечных элементов.

В настоящее время для моделирования процесса резания изотропных и анизотропных материалов и задач с этим связанных применятся метод конечных элементов в контактной постановке [1, 2]. При этом в основном решается задача определения напряженно-деформированного состояния (напряжений, деформаций, сил резания) обрабатываемой заготовки и режущего инструмента. Точность таких расчетов пока не велика, так как используется ряд упрощений и допущений, не совершенен и сам метод расчета. Вместе с тем, известно, что в процессе резания важную роль играют тепловые явления. Метод конечных элементов позволяет учесть и их путем решения так называемых связанных задач, в которых тепловой и структурный расчет выполняются совместно, с учетом их взаимного влияния. Автором был рассчитан нагрев заготовки и определена ее температура в результате действия пластических деформаций. В данной статье приведены результаты такого расчета.

Решалась задача свободного резания заготовки из стали 10 инструментом из быстрорежущей стали. Свойства материалов: плотность заготовки и инструмента 7850 кг/мм^3 , модуль упругости 2,1·10^{11} Па, коэффициент Пуассона 0,3, удельная теплоемкость заготовки и инструмента 460 Дж/кг·К, коэффициент теплопроводности заготовки 46 Вт/м·К. Скорость резания 60 м/мин. Толщина срезаемого слоя 1 мм, длина заготовки 10 мм, общая высота заготовки 4 мм. Передний угол резца 15°, задний угол 5°. Материал резца недеформируемый. Были приняты следующие упрощения и допущения. Вся механическая работа по пластической деформации превращалась в тепло, теплопотерь в окружающую среду нет. Коэффициент теплопроводности между заготовкой и инструментов равен нулю, поэтому нагрев инструмента не рассматривался. Нагрев заготовки и инструмента в результате трения не рассматривался.

В результате расчета было определено напряженно-деформированное состояние заготовки, распределение температур в зоне резания и их совместное взаимодействие в каждый момент времени обработки. Картины распределения температуры приведены на рис. 1. Распределения температуры в зоне резания заготовки имеют качественную сходимость с результатами других авторов (рис. 2) [3]. Количественные расхождения обусловлены принятыми упрощениями и допущениями. Расчетная температура получилась выше экспериментальных значений, так как не были заданы температурные граничные условия (не учитывался отвод тепла из зоны резания). При учете этого фактора расчетная температура должна быть ниже экспериментальной, так как наиболее нагретые элементы стружки и заготовки в результате расчета удаляются.

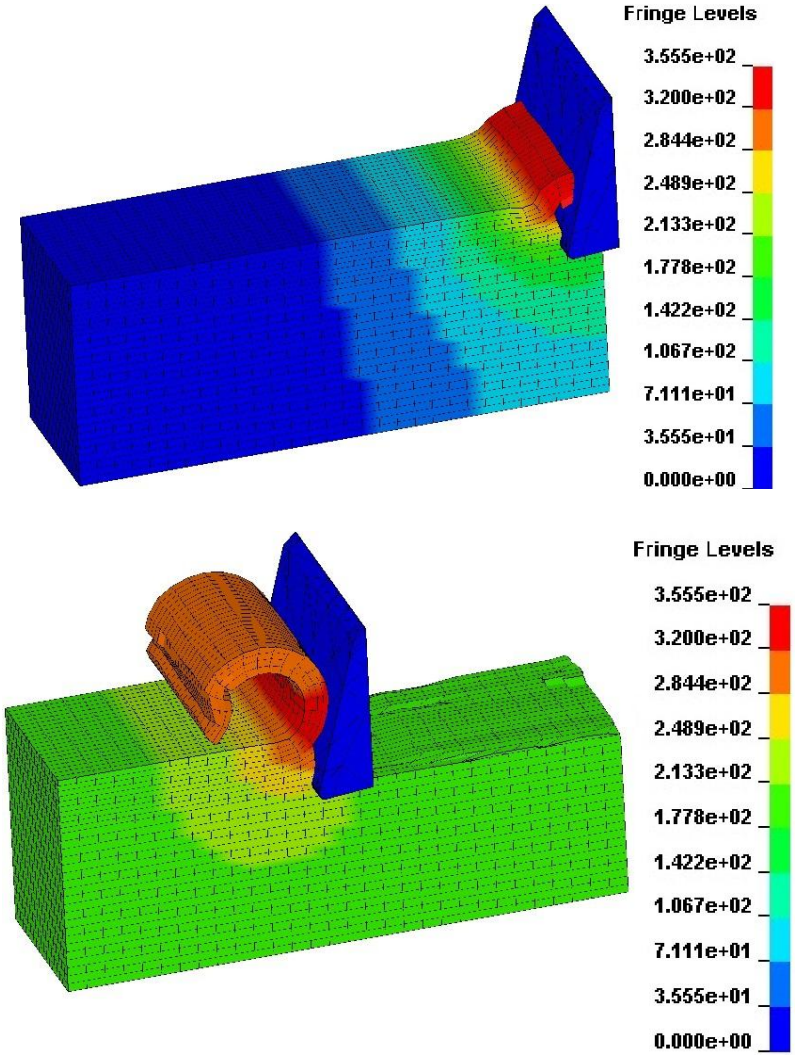
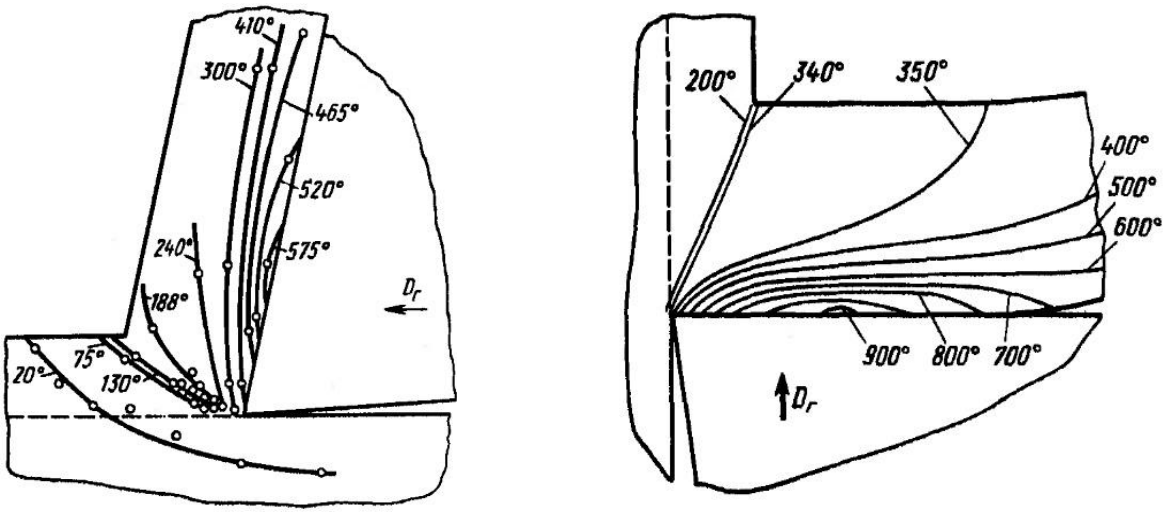


Рис. 1. Распределение температуры, °С
в процессе резания стали 10 в различные моменты времени



а) б)

Рис. 2. Распределения температур в зоне резания при точении [3]:
а – экспериментальное; б – расчетное

Библиографический список

1. Щуров, И.А. Расчет сил резания методом конечных элементов / И.А. Щуров, И.С. Болдырев // СТИН. – 2004. – № 1. – С. 14–16.

2. Щуров, И.А. Моделирование процесса резания заготовок из композитных материалов с применением методы конечных элементов / И.А. Щуров, И.С. Болдырев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Машиностроение». – 2012. – № 12 (271). – С. 143–147.

3. Грановский, Г.И. Резание металлов: учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов / Г.И Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.

К содержанию

УДК 621.9.04 + 621.9.02

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МНОГОСТАДИЙНОЙ ОБРАБОТКИ

В.И. Гузеев

В работе рассмотрена возможность повышения производительности обработки путем оптимизации количества стадий обработки поверхностей деталей. Показано влияние износа инструмента на необходимое количество стадий обработки при точении.

Ключевые слова: производительность обработки, стадии обработки, износ инструмента, жесткость технологической системы.

Производительность обработки определяется количеством стадий обработки необходимых для достижения заданной точности детали из заготовок той или иной точности. В связи с известным свойством технологической системы, связанным с наследственностью погрешностей детали от погрешностей заготовки, необходимое количество стадий уточнения заготовки зависит как от свойств самой технологической системы, так и от степени разброса входных параметров заготовки и режимов ее обработки. Кроме того, в связи с тем, что процесс уменьшения погрешности заготовки зависит от поля рассеивания ее размеров, требуемое количество стадий обработки в основном определяется колебанием размера динамической настройки на каждой из них. При этом, сама величина размера обычно корректируется изменением статической настройки.

Возможность нахождения оптимального варианта обработки рассмотрим на примере получения размера детали 10-го квалитета точности (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что если на окончательной стадии обработки будет назначена максимально допустимая по ограничениям подача [1], то для обеспечения точности размера по 10-му квалитету необходимо, чтобы заготовка имела 11 квалитет точности. Понятно, что тот же 10-ый квалитет можно получить из заготовок 12, 13, 14, и 16-го квалитетов точности, ведя обработку с меньшим значением подачи.

Аналогичным образом формируются графы возможных вариантов обработки для предыдущих стадий уточнения.

Задача выбора оптимального количества стадий обработки и соответствующих им режимов резания сводится к дискретной задаче определения кратчайшего по времени пути уточнений между заданной точностью детали и заготовки.

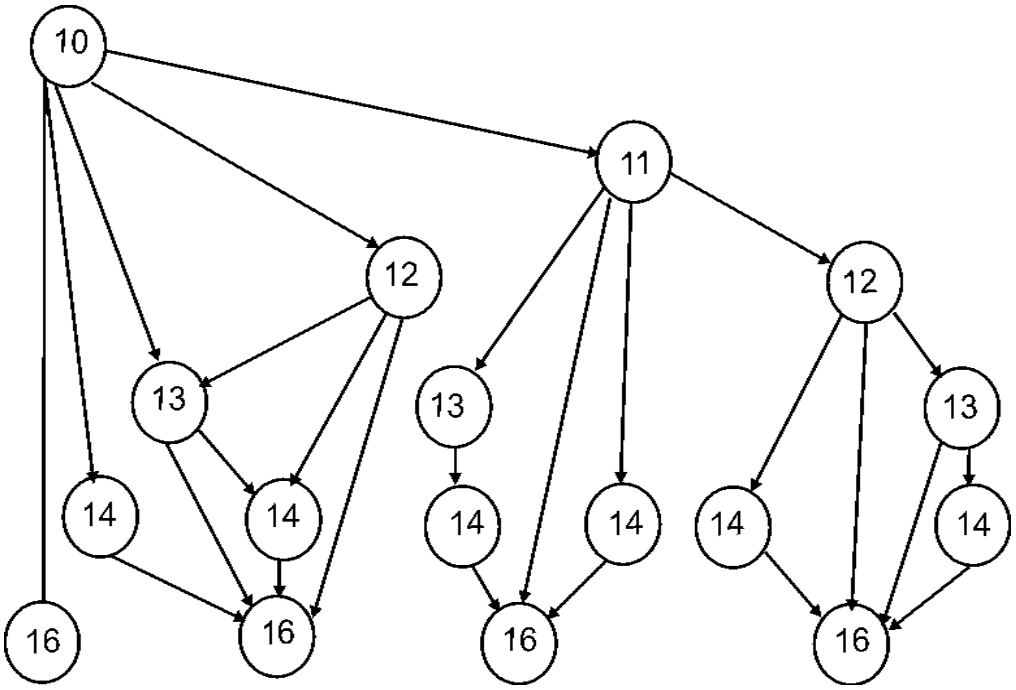


Рис. 1. Дерево возможных вариантов получения размера
10-го квалитета точности из заготовки 16 квалитета

Для решения этой задачи могу быть использованы различные математические методы оптимизации. Наиболее приемлемым среди них для этой задачи представляется метод динамического программирования [2]. К его достоинствам относятся сравнительная простота расчетов, удобство их алгоритмизации, получение решения в виде оптимальной последовательности.

В общем виде кратчайший путь из начальной вершины в любую вершину графа определяется по рекурентному уравнению:

$$T_{i,j} = \min_{\substack{j\langle n\le N \\ j\langle k\le M}} \left\{T_{n,k} + \tau_{n,k}^{i,j}\right\},$$

где $T_{i,j}$ – время кратчайшего пути из начальной вершины графа в вершину с координатами (i, j); $\tau_{n,k}^{i,j}$ – время пути из вершины графа с координатами (n, k) в вершину с координатами (i, j).

Таким образом, задача распадается на определенные операторы нахождения времен:

$$T_{NM} = 0; \quad T_{N-1,M-1} = \tau_{N,M}^{N-1,M-1}; \quad T_{N-2,M-1} = \tau_{N,M}^{N-2,M-1};$$

$$T_{N-2,M-2} = \min\left\{T_{N-1,M-1} + \tau_{N-1,M-1}^{N-2,M-2}\,;\, T_{N,M} + \tau_{N,M}^{N-2,M-2}\right\};$$

$$T_{N-3,M-2} = \min\left\{T_{N-2,M-1} + \tau_{N-2,M-1}^{N-2,M-2}\,;\, T_{N-1,M-1} + \tau_{N,M}^{N-3,M-2}\,;\, T_{N,M} + \tau_{N,M}^{N-3,M-2}\right\}.$$

Работу алгоритма можно проиллюстрировать примером обработки цилиндрической поверхности диаметром Ø60h10, длиной L = 40 мм, с требуемой шероховатостью R_a = 2,5 мкм детали «Втулка» из стали 45 (σ_i = 1380 МПа) на станке 16К20Т1 резцом с пластинкой Т15К6 2101-0637 ГОСТ 18883-73.

На рис. 2 приведена граф-схема возможных вариантов обработки этой поверхности при износе инструмента по задней поверхности $l_з$ = 0,05 мм.

Вершинами графов являются квалитеты точности для промежуточных состояний заготовки. На каждом участке графа указано основное время. Утолщенными линиями выделен маршрут уточнения заготовки, обеспечивающий минимальное время. Из схемы видно, что не всегда выгодно работать с максимально допустимой подачей, так как в этом случае увеличиваются требования к точности заготовки на каждой стадии обработки, и поэтому растет количество самих стадий. Например, если выполнять все стадии с максимальной подачей, допустимой ограничениями, потребуется четыре стадии обработки (маршрут уточнения $16 \Rightarrow 14 \Rightarrow 13 \Rightarrow 12 \Rightarrow 10$) и время цикла автоматической работы увеличивается до 0,701 мин (см. рис. 2).

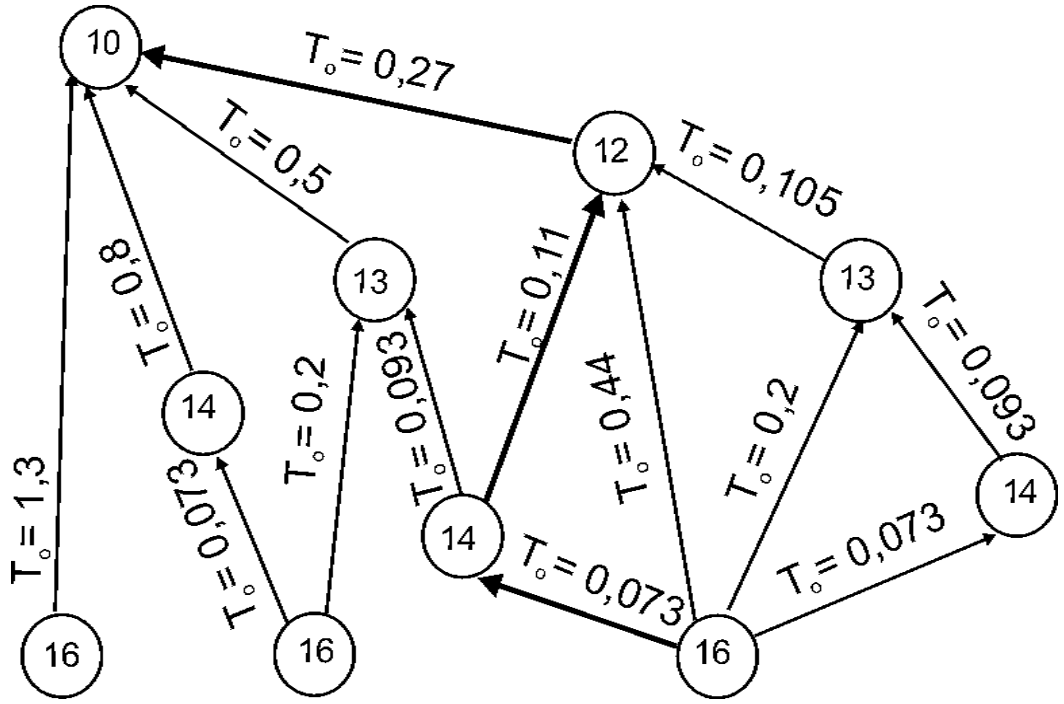


Рис. 2. Схема поиска оптимального варианта обработки поверхности Ø60h10 из заготовки 16 квалитета точности ($l_з$ = 0,05 мм)

Однако и принятие минимально возможных значений подачи хотя и уменьшает количество стадий уточнения, но увеличивает время перехода. Например, вариант последовательности уточнений $16 \Rightarrow 14 \Rightarrow 10$ дает

$T_{ца}$ = 0,953 мин, хотя количество стадий только две. В данном примере наименьшее время цикла автоматической работы ($T_{ца}$ = 0,573 мин) получается для варианта уточнений за три стадии – $16 \Rightarrow 14 \Rightarrow 12 \Rightarrow 10$.

Варианты с промежуточным 11-м квалитетом точности отпали в связи с тем, что стадия $11 \Rightarrow 10$ требует подачи 0,19 мм/об, которая больше допустимой по шероховатости.

Таким образом, оптимизация количества стадий обработки с учетом рациональных режимов резания обеспечивает повышение производительности обработки и уменьшает себестоимость операции.

Для выяснения влияния износа инструмента по задней поверхности на значение целевой функции и количество требуемых стадий обработки обратимся к предыдущему примеру обработки детали «Втулка», имеющей поверхность Ø60h10. Просчитаем время $T_{ца}$ для разных вариантов последовательности уточнений задавшись величиной износа $l_з$ равной 0,8 мм, значение которого является критерием нормативной стойкости.

Схема вариантов обработки с указанием времени для выполнения каждой стадии приведена на рис. 3. Расчеты показывают, что в этом случае оптимальным вариантом является обработка за четыре стадии уточнения (маршрут уточнения – $16 \Rightarrow 14 \Rightarrow 13 \Rightarrow 12 \Rightarrow 10$). Этот вариант дает время $T_{ца}$ = 0,708 мин.

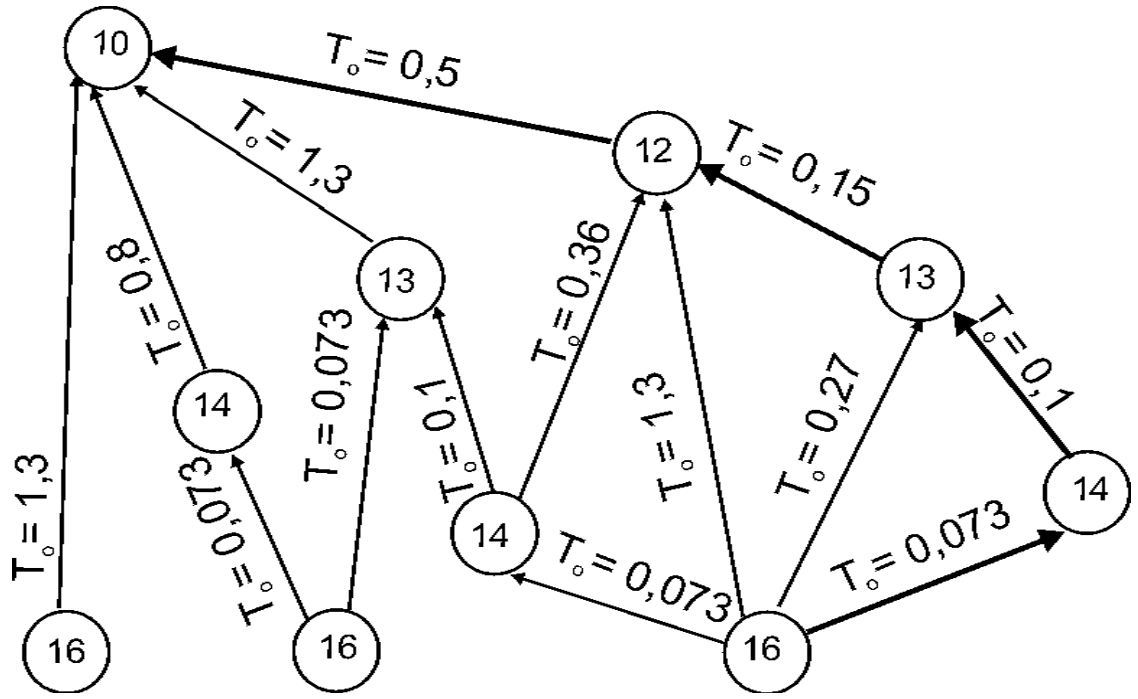


Рис. 3. Схема поиска оптимального варианта обработки поверхности Ø60h10 из заготовки 16-го квалитета при предельном износе инструмента

Сравнивая эти данные с вариантом, где износ был равен 0,05 мм (см. рис. 2) (практически острый резец), видим, что время увеличилось на 24 %.

Вместе с тем, из схемы (см. рис. 3) видно, что в наибольшей степени увеличенный износ инструмента повлиял на время, необходимое для выполнения чистовых стадий ($12 \Rightarrow 10; 13 \Rightarrow 12$).

Более детальное исследование влияния величины износа инструмента на время выполнения каждой стадии уточнения дало возможность построить графики значений целевой функции в зависимости от стадии уточнения и износа (рис. 4).

Из графика видно, что, действительно, на разных стадиях уточнения степень влияния величины износа различная. Наибольшее влияние на время обработки величина износа оказывает при чистовых стадиях уточнения, и чем точнее стадия, тем больше это влияние. Из анализа этого графика становится очевидным, что допустимый износ инструмента при чистовых стадиях обработки должен быть меньше чем при черновых и получистовых стадиях, т.е. обработка двумя резцами: черновым и чистовым, должна давать меньшее время $T_{ца}$. При этом нужно учитывать дополнительно время, необходимое на смену инструмента. Так, в рассматриваемом примере, если на черновых стадиях обработки ($16 \Rightarrow 14 \Rightarrow 13$) применить резец с допустимым износом по задней поверхности равным 1,0 мм, а на чистовых стадиях ($13 \Rightarrow 12 \Rightarrow 10$) – 0,4 мм, оптимальным становится вновь вариант обработки в три стадии уточнения со временем $T_{ца} = 0{,}578$ мин.

Таким образом, видно, что количество стадий обработки зависит от назначенной величины допустимого износа инструмента для различных стадий. Очевидно, правомерна и обратная задача – определение допустимых значений предельного износа инструмента для оптимальной последовательности стадий обработки.

Эта задача достаточно просто реализуется с помощью той же программы оптимизации. Для этого, после определения оптимального варианта последовательности уточнений, варьирование величиной износа инструмента дает возможность определить его предельные значения, когда выбранный вариант становится неоптимальным.

На рис. 5 и 6 приведены графики, иллюстрирующие поиск максимально допустимого износа инструмента по задней поверхности, обеспечивающего наименьшее время цикла автоматической работы станка по программе.

Расчетные значения допустимого износа инструмента должны являться критерием для принудительной замены инструмента, так как работа инструментом с износом больше допустимого приводит к тому, что погрешность размеров становится невозможно скомпенсировать внесением

поправки в размер статической настройки. Уменьшить погрешности обработки в этом случае иногда можно, но только за счет увеличения количества стадий обработки, что является уже неоптимальным.

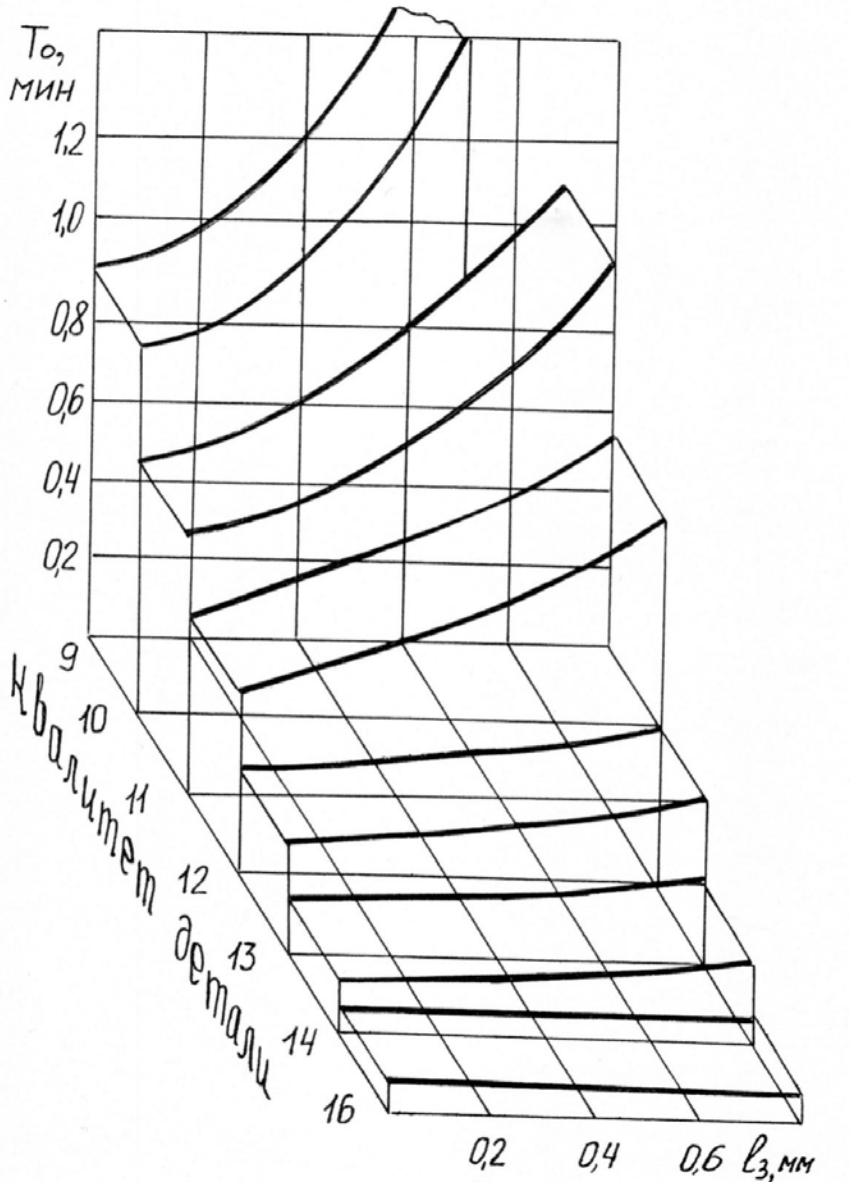


Рис. 4. Зависимость основного времени
от степени износа инструмента

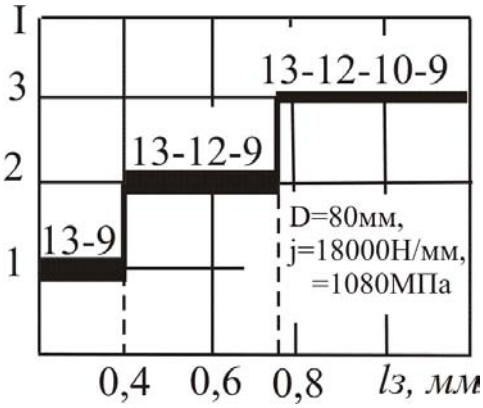


Рис. 5. Определение значения допустимого износа инструмента при чистовой и получистовой обработке

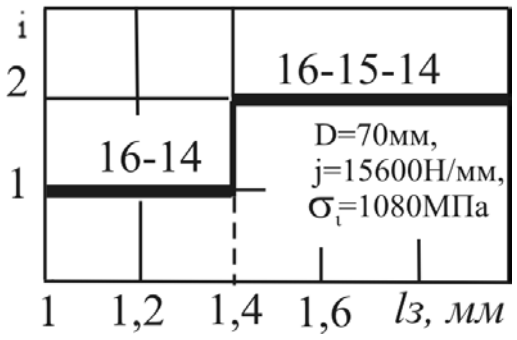


Рис. 6. Определение допустимого износа инструмента при черновой стадии обработки

Следует отметить, что расчетная величина допустимого износа инструмента значительно зависит от жесткости технологической системы. Особенно это сказывается в том случае, когда в технологической системе имеется отдельный элемент с лимитирующей жесткостью, например, расточной резец или нежесткая деталь. Так, при изменении отношения длины детали (L) к ее диаметру (D) от L/D = 3 до L/D = 10 допустимый износ резца для чистовых стадий обработки уменьшается с 0,6 мм до 0,2 мм, а для черновых – с 1,4 мм до 0,8 мм. Понятно, что для сохранения производительности в таких условиях, необходимо применять инструмент с пониженной величиной относительного износа.

Библиографический список

1. Гузеев, В.И. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: справочник / В.И. Гузеев, В.А. Батуев, И.В. Сурков; под ред. В.И. Гузеева. – М.: Машиностроение, 2005. – 356 с.

2. Белман, Р. Прикладные задачи динамического программирования / Р. Белман, С. Дрейфус. - М.: Наука, 1965. – 457 с.

К содержанию

УДК 621.92.06-229

МЕТОД СИСТЕМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ УНИВЕРСАЛЬНО-СБОРНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Ю.И. Мясников

Универсально-сборные приспособления (УСП) получили применение при обработке деталей резанием на металлорежущих станках с середины 20 века в различных отраслях промышленности – машиностроении, приборостроении, авиастроении и других. Главное преимущество УСП заключалось в возможности значительно повышать технологическую оснащенность производства, направленную на повышение производительности труда за счет сокращения затрат на вспомогательные операции по сравнению со специальными не переналаживаемыми станочными приспособлениями. Эти преимущества УСП связаны также с возможностью их механизации при закреплении заготовок.

Универсально-сборные приспособления (УСП), методы проектирования, производственный подход, инженерный подход, системный (инженерный) подход.

Анализ существующих подходов к проектированию универсально-сборных приспособлений (УСП) показал [4, 5, 6], что в настоящее время можно выделить три подхода (рис. 1) к проектированию универсально-сборных приспособлений (УСП) – производственный, инженерный и научный.

Рис. 1. Современные подходы
к проектированию технологических приспособлений

Производственный подход. Такой поход (метод) основан на разработке проектов на уровне чертежно-конструкторской документации изделия для изготовления его составных частей, сборки, контроля и испытаний. Основным способом их создания было неавтоматизированное проектирование (ручное проектирование с использованием кульмана и соответствующих инструментов), при котором разработка чертежной документации характеризуется как сложный и трудоемкий процесс, требующий высокой квалификации конструкторов (проектировщиков). С появлением ЭВМ способ создания чертежной документации стал использоваться в виде «электронного кульмана».

Таким образом, производственный подход следует рассматривать как метод традиционного (интуитивного) проектирования, основанного на создании чертежей конструкций изделий в определенном масштабе и сопутствующей им документации. Особенность этого подхода заключается в следующем: результаты проектирования приспособлений (с позиций технической кибернетики) представляются в виде «черного ящика» (рис. 2), где известны входы и выходы и практически неизвестно его содержимое, то есть имеет место отсутствие промежуточной информации (грубо говоря, содержимое ящика осталось в голове проектировщика).

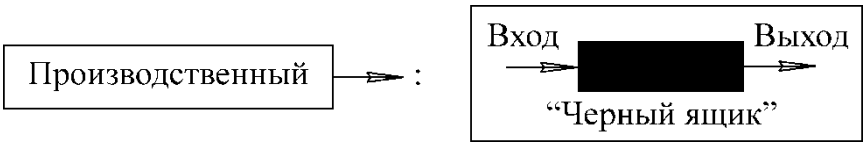


Рис. 2. К анализу производственного подхода к проектированию УСП

Инженерный подход. Переход на современное производство привел к коренным изменениям не только в области технологии, включая универсально-сборные станочные приспособления (УСП). С их появлением изменились задачи проектирования и требования к технической документации. Во многих случаях отпала необходимость в разработке проектов таких приспособлений на уровне чертежной документации.

Инженерный подход в отличие от производственного является методом проектирования более высокого уровня, назначение которого – разработка многоуровневого проекта «любой» конструкции приспособления.

Особенность этого подхода заключается в следующем: с позиций современной теории проектирования (с позиций технической кибернетики) проект этого уровня можно рассматривать как «прозрачный ящик» (рис. 3), в котором представляются все промежуточные результаты проектирования технологических приспособлений, включая возможность выдачи результатов проектирования на выходе в зависимости от требований к разработке проекта. Одним из свойств инженерного проектирования является визуальное представление всей проектной информации – входной, промежуточной (содержимого ящика) и выходной.

Рис. 3. К анализу инженерного подхода к проектированию УСП

Научный подход. На его основе осуществляется постоянное изучение, обобщение и внедрение в практику научных и технических достижений в области технического проектирования, разработка теоретических основ проектирования приспособлений, новых методов их проектирования и др. Например, на основе научного подхода был разработан системный подход (рис. 4.) к проектированию универсально-сборных приспособлений (УСП).

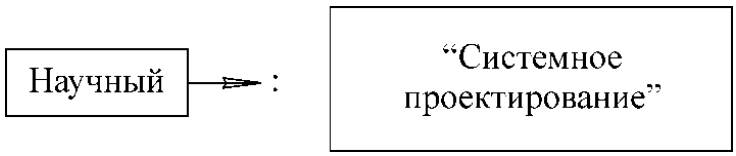


Рис. 4. К анализу научного подхода к проектированию УСП

Изучение современных подходов к проектированию универсально-сборных приспособлений (УСП) позволило установить перспективность их системного проектирования.

Структура системного проектирования универсально-сборных приспособлений (УСП). Анализ рассмотренных выше подходов к проектированию УСП показывает, что в современном производстве следует использовать системный подход, в котором необходимо учесть (рис. 5) производственный опыт (производственный подход), достижения инженерного проектирования (инженерный подход) и теоретические основы проектирования (научный подход).

Анализ учебной и технической литературы показывает [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7], что в нашей стране и за рубежом накоплен большой положительный опыт по проектированию технических объектов на основе системного проектирования. Результаты накопленного опыта послужили основанием для разработки метода системного проектирования универсально-сборных приспособлений (УСП). Основные требования к методу их системного проектирования сводятся к следующему.

Рис. 5. К определению свойств системного проектирования УСП

При системном методе целью проектирования универсально-сборных приспособлений является разработка проектов их конструкций, где проект – это комплект технической документации, необходимой и достаточной для их изготовления, сборки, контроля и эксплуатации.

Изучение различных методов проектирования универсально-сборных приспособлений как основы метода системного проектирования позволило установить, что его структуру составляют три основные взаимосвязанные между собой системные компоненты (рис. 6): принципы системного проектирования (1), методика системного проектирования (2) и технология системного приспособлений (3).

Подобный подход к пониманию метода системного проектирования универсально-сборных приспособлений (УСП) послужил основанием для утверждения [2], что процесс их проектирования держится на «трех китах» – принципах, методике и технологии системного проектирования.

Рис. 6. К анализу системных компонентов
метода системного проектирования УСП

Принципы системного проектирования УСП. Под принципами системного проектирования понимаются наиболее обобщенные понятия (положения), лежащие в основе методики и технологии системного проектирования УСП. В более широком смысле принципы – это теоретические основы (фундамент) метода системного проектирования приспособлений. В методике и технологии системного проектирования УСП они имеют скрытый характер.

Анализ процесса проектирования УСП с позиций системного подхода позволил установить и сформулировать следующие принципы их системного проектирования (рис. 7).

Рис. 7. Принципы системного проектирования УСП

Принцип принятия проектных решений. Сущность принципа принятия проектных решений заключается в следующем. Проектирование универсально-сборных приспособлений практически всегда является многовариантной проектной задачей и, соответственно, сложной по структуре принятия проектных решений. Структура принципа поясняется (рис. 8).

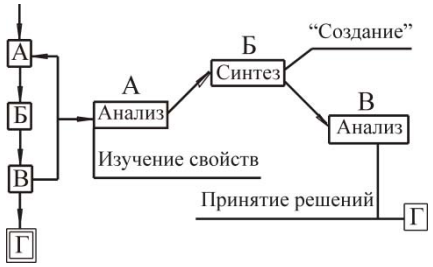


Рис. 8. Принцип принятия проектированных решений

Принципы современного производства. Сущность принципа современного производства заключается в следующем. При системном подходе объект проектирования – приспособление УСП – следует рассматривать как сложную техническую систему, зависящую от условий окружающей среды (условий современного производства). Структура принципа поясняется (рис. 9).

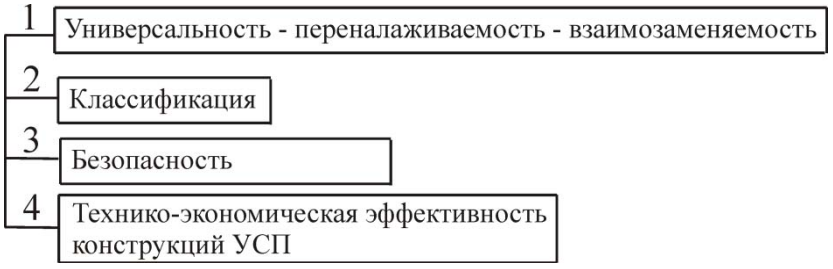


Рис. 9. Принципы современного производства

Методика и технология проектирования универсально-сборных приспособлений как системные компоненты. Методика и технология проектирования приспособлений УСП (с позиции системного подхода) являются системными компонентами метода их проектирования. Обе компоненты (методика и технология) всегда находятся во взаимосвязи (рис. 10), которая проявляется в возможности перехода от методики к технологии проектирования технологических приспособлений и возврат от технологии к методике их проектирования.

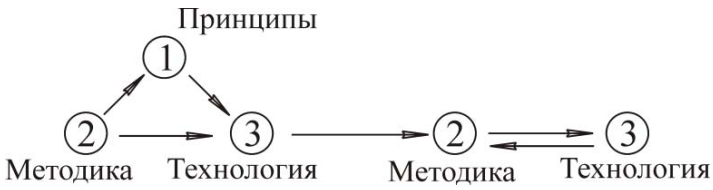


Рис. 10. Взаимосвязь методики и технологии
системного проектирования УСП

Структура метода системного проектирования приспособлений УСП. Основной характеристикой системного проектирования приспособлений УСП является то, что процесс их проектирования представляет собой (с позиции технической кибернетики) «прозрачный ящик», в котором известны входные данные, содержимое «прозрачного ящика» и выходные данные.

Структура метода системного проектирования приспособлений УСП поясняется (рис. 11).

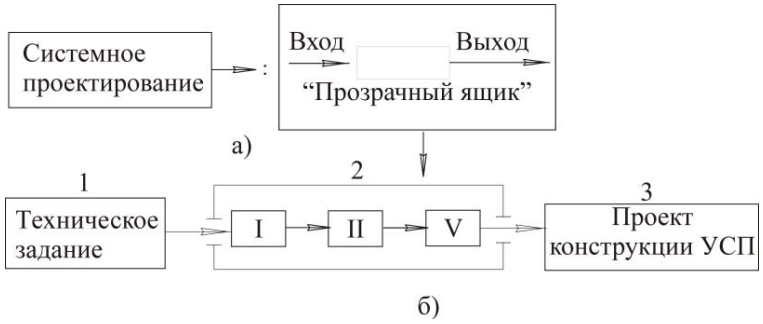


Рис. 11. Характеристика (а) и структура (б) метода

Алгоритмы системного проектирования приспособлений УСП и его особенности. Согласно принципу единства методики проектирования приспособлений УСП конечная цель их проектирования – разработка проектов их конструкций.

Проектирование конструкций УСП достигается путем выполнения трех этапов (рис. 12) системного проектирования УСП.

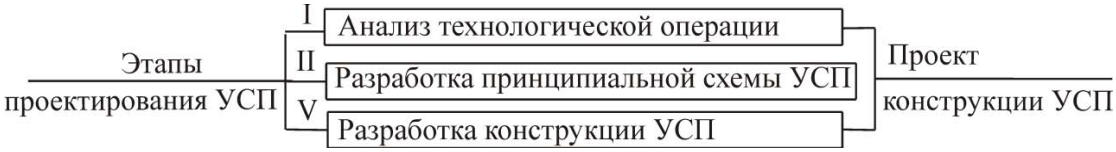


Рис. 12. Схема поэтапного проектирования УСП

Универсально-сборные приспособления (УСП) получили применение при обработке деталей резанием на металлорежущих станках с середины XX века в различных отраслях промышленности – машиностроении, при-

боростроении, авиастроении и других. Главное преимущество УСП заключалось в возможности значительно повышать технологическую оснащенность производства, направленную на повышение производительности труда за счет сокращения затрат на вспомогательные операции по сравнению со специальными не переналаживаемыми станочными приспособлениями. Эти преимущества УСП связаны также с возможностью их механизации при закреплении заготовок.

Указанные особенности и преимущества УСП позволили эффективно применять их на предприятиях с единичным и мелкосерийным характером производства и дали им возможность значительно сократить расходы на подготовку производства новых изделий.

Универсально-сборные приспособления (УСП) можно отнести к числу переналаживаемых станочных приспособлений целевого назначения, собираемых по мере необходимости из заранее изготовленных стандартных деталей и сборочных единиц. После обработки заданных партий деталей приспособления разбираются, а составляющие их детали и сборочные единицы используются для сборки новых конструкций приспособлений, предназначенных для обработки других деталей. Детали и сборочные единицы УСП постоянно находятся в обращении.

Библиографический список

1. Кузнецов, В.С. Система универсально-сборных приспособлений в машиностроении / В.С. Кузнецов, В.А Пономарев. – М.: Машиностроение, 1964. – 220 с.

2. Кузнецов, Ю.И. Оснастка для станков с ЧПУ: справочник / Ю.И. Кузнецов, А.Р. Маслов, А.Н. Байков. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.

3. Левин, Г.М. Декомпозиционные методы оптимизации проектных решений / Г.М. Левин, В.С. Танаев. – Минск.: Наука и техника, 1978. – 240 с.

4. Мясников, Ю.И. Станочные приспособления металлорежущих станков: справочник в 2 т. / Ю.И. Мясников, В.Ю. Мясников; под ред. В.И. Гузеева. – М.: Машиностроение, 2010. – Т. 1.– 435 с.

5. Мясников, Ю.И. Системное проектирование станочных приспособлений: справочник в 2-х т. / Ю.И. Мясников, В.Ю. Мясников; под ред. В.И. Гузеева. – М.: Машиностроение, 2010. – Т. 2. – 337 с.

6. Мясников, Ю.И. Конструктивные особенности и технологические возможности систем УСП и СРП / Ю.И. Мясников // Инженерный журнал. Справочник. – 2007. – № 5. Приложение. – С. 10–12.

7. Станочные приспособления: справочник в 2 т. / под ред. Б.Н. Вардашкина, В.В. Данилевского. – М.: Машиностроение, 1984. – 1246 с.

К содержанию

УДК 697.3 + 681.513.5

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ ЗДАНИЯ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ

М.М. Тверской, Д.В. Румянцев

В статье проведен анализ существующих алгоритмов управления температурным режимом здания при комбинированном отоплении. Рассмотрены особенности задачи оптимального управления температурным режимом здания и приведено обоснование использования алгоритма квазиоптимального упреждающего управления со скользящим горизонтом прогнозирования для решения данной задачи. Представлены и проанализированы результаты моделирования работы алгоритма упреждающего управления температурным режимом здания в системе отопления с воздушным и радиаторными приборами отопления.

Ключевые слова: тепловой режим здания, комбинированное отопление, упреждающее управление.

Задача управления системой комбинированного отопления является многомерной задачей, зависящей от таких параметров, как термодинамические характеристики объекта управления, так и от видов, и стоимости первичных энергоносителей.

Однако на практике для управления комбинированными системами отопления используются алгоритмы, не отвечающие современным требованиям к решению поставленной задачи. Например, в [6] описывается комбинированная система отопления, состоящая из базисной части водяного отопления и догревающей части – для натопа в виде воздушного отопления. Водяное отопление при этом является не регулируемым.

В более ранней литературе [3] приведена система комбинированного отопления состоящая из центральной воздушной системы отопления и индивидуальных приборов отопления играющих роль доводчиков температуры, и устанавливаемых в помещениях для догрева температуры воздуха до комфортного значения. В прерывистом режиме работы индивидуальные приборы отопления осуществляют также поддержание минимальной температуры воздуха в дежурном режиме при отключенном центральном воздушном отоплении.

В [4] для зрительных залов и клубов предлагается система отопления представляющая собой комбинацию конверторных приборов отопления и воздушного отопления, совмещенного с вентиляцией. Тепловая нагрузка на конверторные приборы отопления определяется из условия снижения температуры воздуха помещения до минимально допустимого значения в нерабочее время. Догрев температуры воздуха до комфортного значения в рабочее время выполняется системой воздушного отопления.

Приведенные алгоритмы управления комбинированным отоплением были предложены для конкретных условий и не являются универсальными. Также эффективность данных алгоритмов в приведенной литературе оценивается путем расчетов или экспериментального сравнения с другими алгоритмами, что усложняет разработку систем управления и не гарантирует минимальные затраты на энергию при использовании этих алгоритмов. Кроме того, не объясняется каким образом будет выполнятся прогрев помещения к моменту начала рабочего режима при прерывистом графике работы.

Классическим подходом для решения задач оптимального управления температурным режимом здания является использование принципа максимума Понтрягина [1, 5]. Существенным недостатком классических методов оптимального управления является поиск стратегии оптимального управления в начальный момент времени для всего временного интервала управления. Это может привести к существенной ошибке в процессе функционирования системы управления и сделать стратегию управления не оптимальной по отношению к реальному объекту из-за возникновения непредвиденных или неучтенных изменений возмущающих воздействий и других условий, влияющих на состояние объекта управления. Поэтому использование классических методов поиска оптимального управления на длительном временном интервале в большинстве случаев не является эффективным. Так, например, в работе [1] принцип максимума Понтрягина используется для поиска оптимальной стратегии управления тепловым режимом здания с прерывистым графиком работы, но только на временном интервале перехода из дежурного режима в рабочий.

В качестве альтернативы классическим методам на практике широко применяется алгоритм упреждающего управления [12–14].

Принцип работы алгоритма упреждающего управления заключается в прогнозировании состояния объекта управления исходя из математической модели объекта, в пределах заданного временного интервала и поиск управляющих воздействий на основе полученного прогноза, обеспечивающих минимальное значение критерия оптимальности. При этом расчет управляющих воздействий повторяется через фиксированный промежуток времени, а временной интервал, в пределах которого выполняется прогнозирование, сдвигается вперед на соответствующую величину.

Из-за приведенных особенностей алгоритм упреждающего управления удобнее всего представлять в дискретном виде. Тогда траектория изменения состояния системы будет состоять из шагов, зафиксированных в дискретные моменты времени. Расчет управляющих воздействий происходит для каждого текущего шага, а прогноз выполняется на заданное количество шагов вперед, которое принято называть скользящим горизонтом прогнозирования. В связи с тем, что расчет выполняется для ограниченного

горизонта прогнозирования, полученная стратегия управления будет оптимальной только для временного отрезка соответствующего горизонту прогнозирования и может не быть оптимальной для всего временного интервала, на котором осуществляется управление. Поэтому решение, полученное в результате работы алгоритма упреждающего управления, является квазиоптимальным или субоптимальным. В [2] для приближения квазиоптимального решения к оптимальному предлагается выбирать «достаточно большой горизонт прогнозирования» исходя из принципа, что дальнейшее увеличении горизонта прогнозирования не приводит к существенному влиянию на результат решения задачи. Увеличение горизонта прогнозирования также повышает устойчивость системы управления [11]. Но метод выбора «достаточно большого горизонта прогнозирования» не является однозначным, поскольку если решение не изменяется в определенных пределах значений горизонта прогнозирования, это не означает, что оно не изменится при дальнейшем увеличении. Боле того чрезмерное увеличение горизонта прогнозирования может сказаться на качестве управления из-за увеличения ошибки прогнозирования [10]. Кроме того, на практике, при поиске оптимального управления объектом приходится иметь дело с процессами, долгосрочный прогноз которых крайне затруднителен или дает большую ошибку, а в некоторых случаях прогноз в принципе не представляется возможным. Например, при управлении тепловыми процессами помещения, прогнозирование погодных условий в долгосрочной перспективе может привезти к значительной ошибке, а спонтанное изменение уставок или возникновение таких неучтенных возмущающих воздействий как теплопотери от открытия окон, внештатные тепловыделения от оборудования и теплопотери от вентиляции невозможно спрогнозировать.

Здание с точки зрения управления его тепловыми процессами является многомерным объектом с наличием различного рода возмущающих воздействий и событий, которые сложно спрогнозировать. Поэтому, использование в качестве основы системы управления тепловыми процессами здания алгоритма упреждающего управления позволит получить более эффективную стратегию управления при практической реализации, чем классические методы оптимизации. Также методы численного решения задачи упреждающего управления не требуют сложных аналитических выводов и используют стандартные подходы. Большое количество математических преобразований при решении задачи упреждающего управления также не создает трудности при использовании современных вычислительных машин.

В работе [9] была выполнена постановка задачи упреждающего управления тепловым режимом здания при комбинации приборов воздушного и радиаторного отопления. Решение задачи заключается в поиске стратегии управления минимизирующей затраты на энергию в пределах скользящего

горизонта прогнозирования, с учетом зависимых от времени суток тарифов на энергию и при прерывистом режиме работы системы отопления. Поддержание теплового комфорта осуществляется за счет ограничения результирующей температуры помещения [7] T_{su} в заданных пределах для рабочего и дежурного режимов.

Ниже приведены результаты моделирования управления тепловым режимом здания, полученные в результате решения данной задачи.

Моделирование проводилось для случая, при котором управление вентилятором воздушного отопления осуществляется релейно. Для моделирования использовалось программное обеспечение MatLab v8.0.0.783. В качестве модели реального объекта управления выступала математическая модель в дифференциальном виде, представленная в работе [8].

В таблице 1 приведены характеристики объекта управления.

Таблица 1

Характеристики объекта управления

№	Наименование	Значение	Ед. изм.	Примечание
1	Толщина слоя материала в конструкции стены (среднего слоя)	0,35	м	материал: бетонная плита
2	Толщина внутреннего слоя стены	0,010	м	цементная штукатурка
3	Толщина наружного слоя стены	0,010	м	цементная штукатурка
4	Площадь ограждающих поверхностей	120	$м^2$	
5	Объем помещения	300	$м^3$	
6	Постоянная времени радиатора отопления	0,85	ч	
7	Постоянная времени воздушного отопления	0,03	ч	
8	Тепловая мощность радиаторного отопления	4000	Вт	
9	Тепловая мощность воздушного отопления	4000	Вт	
10	Электрическая мощность вентилятора воздушного отопления	80	Вт	

Параметры алгоритма упреждающего управления:

– длительность шага h = 1600 секунд;

– горизонт прогнозирования N = 3.

Условия для моделирования:

– температура уличного воздуха изменяется по синусоидальному закону с амплитудой 15 °С относительно -5 °С и периодом 24 часа;

– стоимость электрической энергии равна стоимости тепловой энергии на всем протяжении моделирования;

– электрическая мощность вентилятора воздушного отопления 100 Вт.

– рабочий режим длиться в период с 8:00 до 19:30;

– результирующую температуру T_{su} для рабочего режима примем равной 20 °С, для дежурного режима 10,7 °С.

Результаты моделирования показаны на рис. 1, 2.

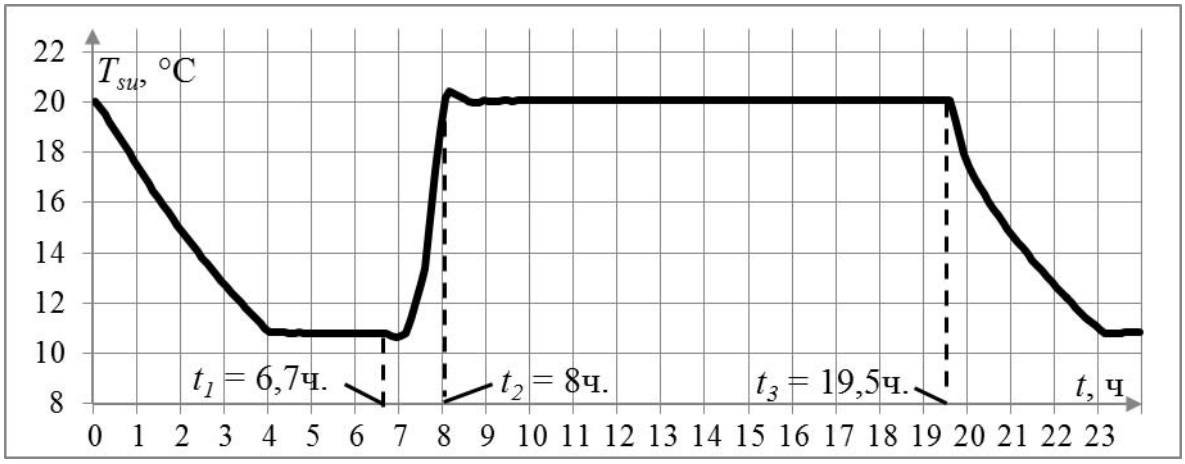


Рис. 1. Графики изменения температур при низкой стоимости электроэнергии

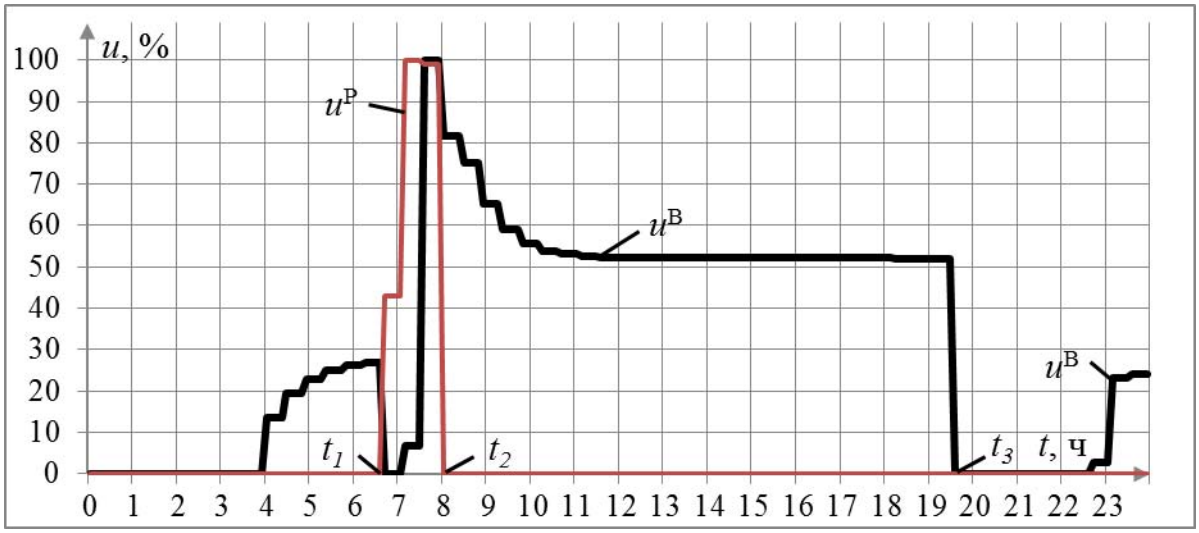


Рис. 2. Графики изменения управляющих воздействий
при низкой стоимости электроэнергии

Из анализа полученных графиков можно отметить, что для поддержания результирующей температуры T_{su} используется преимущественно воздушное отопление ($u^{В}$). Радиаторное отопление ($u^{Р}$) используется только при переходе из дежурного режима в рабочий. Данную стратегию можно объяс-

нить низкими инфильтрационными тепловыми потерями и относительно малыми затратами на электроэнергию вентилятора воздушного отопления.

Для оценки влияния стоимости электроэнергии на стратегию управления проведем моделирования при следующих отличительных условиях:

– стоимость электрической энергии в 3 раза выше стоимости тепловой энергии в течение дневного тарифа на электрическую энергию и равна стоимости тепловой энергии во время действия ночного тарифа;

– время действия дневного тарифа на электрическую энергию совпадает со временем рабочего режима.

Результаты данного моделирования приведены на рис. 3, 4.

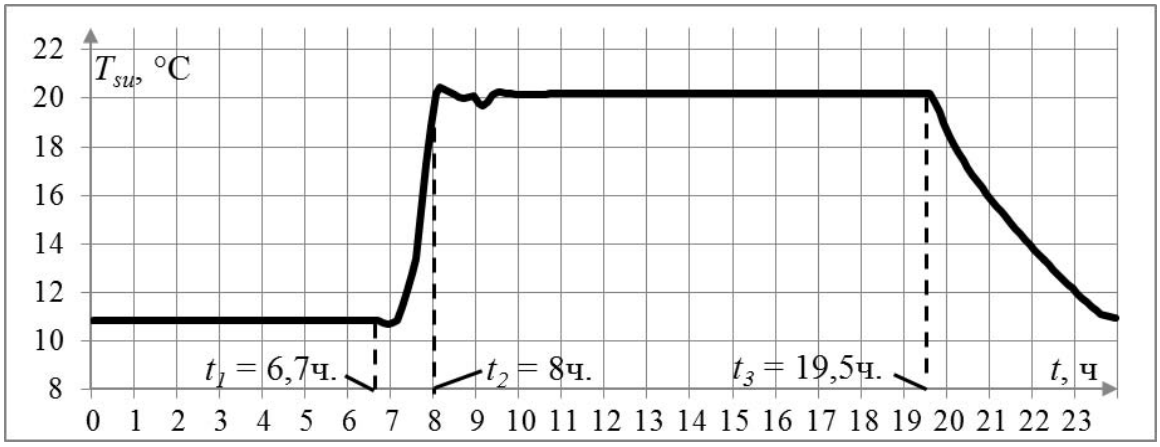


Рис. 3. Графики изменения температур
при высокой стоимости электроэнергии в дневное время

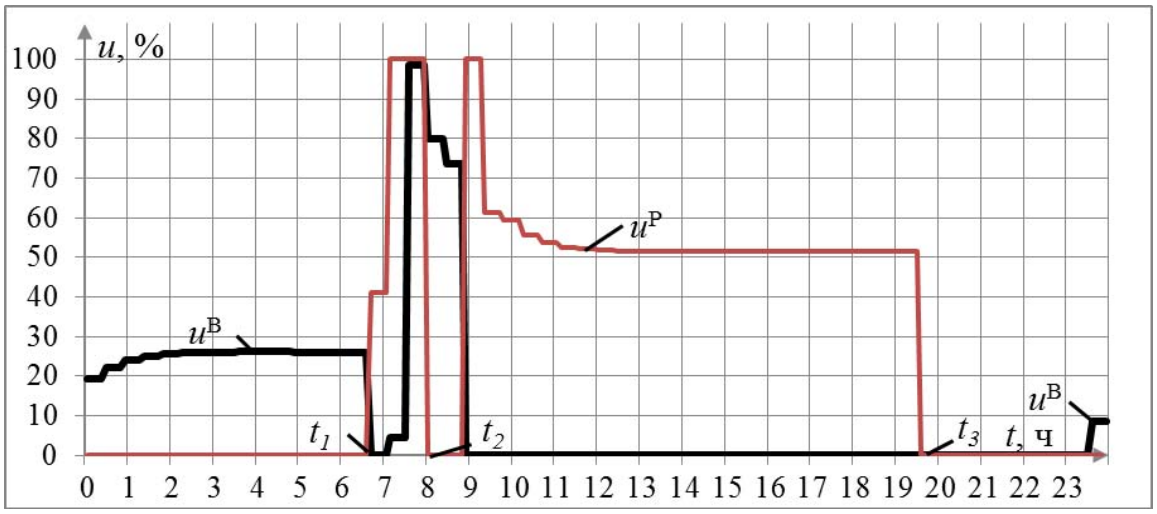


Рис. 4. Графики изменения управляющих воздействий
при высокой стоимости электроэнергии в дневное время

Из полученных графиков видно, что стратегия управления в рабочем режиме изменилась и для поддержания результирующей температуры используется радиаторное отопление.

Выводы

Приведенный в данной статье анализ показал, что использование алгоритмов упреждающего управления для решения задач оптимального управления температурным режимом здания, при практической реализации, может быть более эффективным подходом по сравнению с классическими методами оптимизации.

Представленные результаты моделирования управления температурным режимом здания при комбинации воздушного и радиаторных приборов отопления в прерывистом режиме работы поддаются обоснованию, и подтверждают возможность практического применения алгоритмов упреждающего управления со скользящим горизонтом прогнозирования для систем комбинированного отопления зданий.

Библиографический список

1. Анисимова, Е.Ю. Оптимизация температурных режимов общественно-административных и производственных зданий: дис. … канд. техн. наук / Е.Ю. Анисимова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 172 с.

2. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5 т. Т.5: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784 с.

3. Отопление и вентиляция. Учебник для вузов. В 2-х ч. Ч. 1. Отопление / П.Н. Каменев и др. – М.: Стройздат, 1975. – 483 с.

4. Fuzzy Control of HVAC Systems Optimized by Genetic Algorithms / J. Benitez, J. Casillas, O. Cordon и др. // Applied Intelligence. – 2003. – № 18. – С. 155–177.

5. Панферов, В.И. Об оптимальном управлении отоплением зданий как процессом с распределенными параметрами / В.И. Панферов, Е.Ю. Анисимова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2009. – Вып. 9. – № 3 (136). – С. 24–28.

6. Сканави, А.Н. Отопление: Учебник для вузов / А.Н. Сканави, Л.М. Махов. – М.: АСВ, 2008. – 576 с.

7. СНиП 23-01-99 Строительная климатология. – М.: Госстрой России, ГУ ЦПП, 2003.

8. Тверской, М.М. Постановка задачи оптимального управления тепловым режимом здания при комбинированной системе отопления / М.М. Тверской, Д.В. Румянцев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2012. – Вып. 16. – № 23 (282). – С. 16–20.

9. Тверской, М.М. Управление тепловым режимом здания при комбинированной системе отопления / М.М. Тверской, Д.В. Румянцев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2013. – Вып. 13. – № 4. – С. 4–15.

10. Ding, B.C. Modern predictive control / B.C. Ding. – New York: CRC Press, 2010. – 266 с.

11. Megıas D. Min–max constrained quasi-infinite horizon model predictive control using linear programming / D. Megıas, J. Serrano, C. de Prada // Journal of Process Control. – 2002. – № 4. – С. 495–505.

12. Tatjewski, P. Advanced control of industrial processes / P. Tatjewski. – Warszawa: Springer-Verlag London Limited, 2007. – 348 с.

13. Use of model predictive control and weather forecasts for energy efficient building climate control / F. Oldewurtel, A. Parisio, C. N. Jones etc. // Energy and Buildings. – 2011. – 13 p.

14. Valencia-Palomo, G. Efficient suboptimal parametric solutions to predictive control for PLC applications / G. Valencia-Palomo, J.A. Rossiter // Control Engineering Practice. – 2011. – № 7. – С. 732–743.

К содержанию

УДК 621.3.053 + 621.316.99

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ ПРИ УЧЕТЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Р.Т. Абдуллоев, А.И. Сидоров

В статье рассматривается расчет геометрических размеров элементов заземляющих устройств (ЗУ) и их электрические параметры для физического моделирования. На основе расчетов установлены пропорции геометрических размеров и электрических параметров элементов ЗУ по принципу теории подобия и моделирования.

Ключевые слова: заземляющие устройство; вертикальный электрод; горизонтальный электрод; физическое моделирование.

В настоящее время ЗУ являются одним из самых распространенных защитных средств и используются не только для обеспечения электробезопасности, но и при защите от атмосферного электричества, статического электричества, а также, в ряде случаев, для обеспечения электромагнитной совместимости.

Моделирование элементов ЗУ при учете электромагнитных процессов позволяет провести исследование влияния различных факторов на коррозионное состояние ЗУ в лабораторных условиях. При моделировании заземлителей критерии подобия сводятся к условиям геометрического подобия и соблюдению основных критериев подобия электромагнитных процессов [1, 2]:

$$\mu\gamma l^2/t = \text{idem};\ \varepsilon/(\gamma t) = \text{idem}, \qquad (1)$$

где μ – магнитная проницаемость грунта;γ– удельнаяпроводимость грунта; *l* –длина заземляющих электродов; t – время; ε – диэлектрическая проницаемость; idem – соответственно одинаково.

На работу заземлителя весьма существенно влияет нагрев почвы; это особенно заметно при больших значениях тока, когда вокруг заземлителя может оказаться плохо проводящий слой земли. При исследованиях этого явления на модели необходимо, прежде всего, найти критерии подобия теплового процесса. Из основного уравнения стационарного температурного поля имеем:

$$\text{divgrad}\theta = -E^2/(\lambda\rho),$$

где *E* – электрическая напряженность поля; λ – удельная теплопроводность грунта; ρ – удельное электрическое сопротивления грунта.

При наличии геометрического подобия интегральным аналогом divgradθ является θ/l^2; величина E^2 имеет своим интегральным аналогом выражениеU^2/l^2. В этом случае единственный критерий подобия термического процесса:

$$\pi_1 = \rho\lambda\theta/U^2=\text{idem}. \quad (2)$$

В критерии π_1 отсутствует характерный размер *l*, следовательно, при осуществлении термического подобия можно оперировать заземлителями любых размеров: температура будет пропорциональна квадрату подведенного напряжения. Величина напряжения, которое можно допустить при заданной температуре и данных ρ и λ, легко находится из (2):

$$U = \sqrt{\pi_1}\sqrt{\rho\lambda\theta}. \quad (3)$$

Критерии подобия установившегося теплового режима, происходящего при изменении напряжения подведенного к заземлителю, находим из уравнения:

$$C d\theta/dt - \text{div}(\lambda\,\text{grad}\,\theta) = E^2/\rho, \quad (4)$$

откуда (кроме полученного ранее критерия π_1, определяющего установившийся режим) получаем критерий, характеризующий скорость изменения теплового поля. Его можно рассматривать как своего рода относительную постоянную времени:

$$\pi_1 = \rho C\theta l^2/U^2 t,$$

$$\pi_2 = Cl^2/\lambda t = T_T/t,$$

где$T_T=Cl^2/\lambda$ – тепловая постоянная времени.

В процессе моделирования можно применить понятие о базисном заземлителе, в качестве которого может быть принят заземлитель в виде квадратного контура со стороной $\sqrt{S}$, равновеликий по площади S дейст-

вительному заземлителю. Базисный заземлитель выполняется из проводника, диаметром *d*,равным диаметру действительного проводника, а его ось находится на поверхности земли (*h=0*)[3]. При записи в относительных единицах уравнения для определения сопротивления заземлителя и напряжения прикосновения приобретают вид:

$$f_1 (R/R_б, \rho/ \rho_б, l/ l_б) = 0;$$

$$f [(U_з – U_x)/(U_з – U_x)_б, I/I_б, \rho/ \rho_б, l/ l_б] = 0.$$

Для подобия заземлителей необходимо, чтобы соблюдалось постоянство в модели и в натуре относительных величин:

$$\frac{R}{R_б} = \text{idem}; \quad \frac{I}{I_б} = \text{idem}; \frac{\rho}{\rho_б} = \text{idem}; \frac{l}{l_б} = \text{idem},$$

и выполнялся критерий подобия.

В качестве базисного может быть принят линейный размер, характеризующий протяженность заземлителя по горизонтали, а именно длина стороны базисного заземлителя $\sqrt{S}$.

Геометрическое подобие заземлителей (модели и натуры) полностью определяется постоянством отношений всех линейных размеров к базисному [1, 3]:

$$(d/\sqrt{S}, L/\sqrt{S};\ l/\sqrt{S},\ hl/\sqrt{S},\ h/\sqrt{S}) = \text{idem}. \qquad (5)$$

Для исследования влияния факторов окружающей среды и блуждающих токов на коррозионное состояние элементов ЗУ в лабораторных условиях (для физической модели) необходимо выдерживать следующие геометрические размеры и электрические параметры. Длина вертикального электрода $\mathbf{L_В}$, глубина погружения горизонтального электрода $\mathbf{t_в}$, расстояния между электродами в модели ***a***, диаметр вертикального и горизонтального электрода $\mathbf{d_в}$ и $\mathbf{d_г}$, количество вертикальных электродов **n**, суммарная длина вертикальных электродов $\mathbf{L_{Σв}}$, площадь заземляющей сетки, сопротивления вертикального и горизонтального электрода $\mathbf{R_в}$ и $\mathbf{R_г}$ и сопротивления ЗУ $\mathbf{R_{зу}}$. Все эти размеры и параметры ЗУ зависит от класса напряжения подстанции (ПС), мощности трансформаторов, числа отходящих линии ПС, а также от вида грунта и климатических условий.

Для определения геометрического размера в физической модели используем реальное значение элементов ЗУ (паспортные данные заземлителя). В качестве реального значения принимаем следующие исходные данные [4].

$\mathbf{L_В}$ = 4 м, – длина вертикального электрода; $\mathbf{t_в}$ = 0,5 м, – глубина погружения горизонтального электрода; ***a***= 5 м, – расстояние между электродами; $\mathbf{d_в}$ = 10 мм, – диаметр вертикального электрода; $\mathbf{d_г}$ = 50 мм, – диаметр горизонтального электрода; **n**= 40 шт, – количество вертикальных

электродов; $\mathbf{L_{Σг}}$= 650 м, – суммарная длина горизонтальных электродов; **S** = 2250 м^2, – площадь заземляющей сетки.

Определяем сопротивления вертикального и горизонтального электродов:

$$\mathbf{t_0} = \frac{L_В}{2} + t = \frac{4}{2} + 0{,}5 = 2{,}5 \text{ м};$$

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi L_В}\left(\ln\frac{2L_В}{0{,}95 \cdot b} + \frac{1}{2}\ln\frac{4to + L_В}{4to - L_В}\right) = \frac{60}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 4}\left(\ln\frac{2 \cdot 4}{0{,}95 \cdot 0{,}01} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \cdot 2{,}5 + 4}{4 \cdot 2{,}5 - 4}\right) =$$

$$= 18{,}06 \text{ Ом};$$

$$R_Г = \frac{\rho}{2\pi L_Г}\ln\frac{L_Г^2}{0{,}5 \cdot b \cdot t} = \frac{60}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 650}\ln\frac{650^2}{0{,}5 \cdot 0{,}05 \cdot 5} = 0{,}219 \text{ Ом}.$$

где ρ – удельное электрическое сопротивления грунта (садовая земля), Ом·м. Для удобства экспериментов масштабируем все указанные геометрические размеры и электрические параметры. Для определения вышеуказанных размеров и параметров используем принцип теории подобия и моделирования. Согласно принципу моделирования, пропорция геометрических размеров и электрических параметров элементов ЗУ определяется [1, 3]. Определяем геометрические размеры элементов ЗУ для физической модели.

– длина вертикального электрода:

$$\mathbf{L_в} = \frac{L_В}{\sqrt{S}} = \frac{4}{\sqrt{2250}} = 0{,}084 \text{ м} = 84 \text{ мм};$$

– глубина погружения горизонтального электрода (глубина верхнего конца вертикального электрода):

$$\mathbf{t_в} = \frac{t_В}{\sqrt{S}} = \frac{0.5}{\sqrt{2250}} = 0{,}0105 \text{ м} = 10{,}5 \text{ мм};$$

– расстояния между электродами в модели:

$$\boldsymbol{a} = \frac{a}{\sqrt{S}} = \frac{5}{\sqrt{2250}} = 0{,}105 \text{ м} = 105 \text{ мм};$$

– диаметр вертикального электрода:

$$\mathbf{d_в} = \frac{d_В}{\sqrt{S}} = \frac{0{,}01}{\sqrt{2250}} = 0{,}00021 \text{ м} = 0{,}21 \text{ мм};$$

– диаметр горизонтального электрода:

$$\mathbf{d_г} = \frac{d_Г}{\sqrt{S}} = \frac{0{,}05}{\sqrt{2250}} = 0{,}00105 \text{ м} = 1{,}05 \text{ мм};$$

– суммарная длина горизонтальных электродов:

$$\mathbf{L_{Σг}} = \frac{L_{Σг}}{\sqrt{S}} = \frac{650}{\sqrt{2250}} = 13{,}704 \text{ м} = 13\ 704 \text{ мм};$$

Определяем сопротивления вертикального и горизонтального электрода для модели.

$$\mathbf{t_o} = \frac{L_в}{2} + t = \frac{0{,}084}{2} + 0{,}105 = 0{,}147 \text{ м};$$

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi L_в}\left(\ln\frac{2L_в}{0{,}95 \cdot b} + \frac{1}{2}\ln\frac{4to + L_в}{4to - L_в}\right) = \frac{60}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}084}\left(\ln\frac{2 \cdot 0{,}84}{0{,}95 \cdot 0{,}00021} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \cdot 0{,}147 + 0{,}0084}{4 \cdot 0{,}147 - 0{,}0084}\right) = 1029 \text{ Ом};$$

$$R_Г = \frac{\rho}{2\pi L_г}\ln\frac{L_г^2}{0{,}5 \cdot b \cdot t} = \frac{60}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 13{,}704}\ln\frac{13{,}704^2}{0{,}5 \cdot 0{,}00105 \cdot 0{,}105} = 10{,}4 \text{Ом}.$$

Определяем сопротивление растекания группового заземлителя:

$$R = \frac{R_В \cdot R_г}{R_В \cdot \eta_г + n \cdot R_г \cdot \eta_В}, \quad (6)$$

где $\eta_{В,}$ $\eta_г$ – коэффициент использования вертикального и горизонтального электрода ($\eta_г = 0{,}38$; $\eta_в = 0{,}64$), n – число электродов [5].

$$R_{ЗУ} = \frac{R_В \cdot R_г}{R_В \cdot \eta_г + n \cdot R_г \cdot \eta_В} = \frac{18{,}06 \cdot 0{,}219}{18{,}06 \cdot 0{,}38 + 40 \cdot 0{,}219 \cdot 0{,}64} = 0{,}705 \text{ Ом}.$$

Определяем сопротивления растекания группового заземлителя (для модели):

$$R_{ЗУ} = \frac{R_В \cdot R_г}{R_В \cdot \eta_г + n \cdot R_г \cdot \eta_В} = \frac{1029 \cdot 10{,}4}{1029 \cdot 0{,}38 + 40 \cdot 10{,}4 \cdot 0{,}64} = 16{,}282 \text{ Ом}.$$

В табл. показаны базисные и подобные геометрические размеры, а также электрические параметры элементов ЗУ для физического моделирования.

Таблица

Базисные и подобные данные элементов ЗУ

№ п/п	Наименование	Геометрические размеры и электрические параметры элементов ЗУ	
		базисные	подобные
1	Длина вертикального электрода	4 м	84 мм
2	Глубина погружения горизонтального электрода	0,5 м	10,5 мм
3	Расстояния между электродами	5 м	105 мм
4	Диаметр вертикального электрода	10 мм	0.21 мм
5	Диаметр горизонтального электрода	50 мм	1,05 мм
6	Количество вертикальных электродов	40 шт.	40 шт.
7	Суммарная длина горизонтальных электродов	650 м	13 704 мм
8	Сопротивления вертикального электрода	18,06 Ом	1029 Ом
9	Сопротивления горизонтального электрода	0,219 Ом	10,4 Ом
10	Сопротивления ЗУ	0,705 Ом	16,282 Ом

На основе полученных данных на кафедре БЖДЮУрГУбыла разработана установка (физическая модель) для исследования влияния внешних факторов и блуждающих токов на коррозионное состояние элементов ЗУ [6, 7].

Библиографический список

1. Веников, В.А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики): учеб. пособие / В.А. Веников. – М.: Высшая школа. 1976. – 479 с.

2. Байдин, Г.В. Математическое моделирование электрических полей в электрофизических установках / Г.В. Байдин, В.Ф. Куропатенко, И.В. Лупанов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математическое моделирование и программирование». – 2013. – Т. 6. – № 3. – С. 18–24.

3. Веников, В.А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики): учеб. пособие для вузов / В.А. Веников, Г.В. Веников. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1984. – 439 с.

4. Долин, П.А. Электробезопасность. Теория и практика: учебное пособие для вузов / П.А. Долин, В.Т. Медведев, В.В. Корочков, А.Ф. Монахов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 280 с.

5. Григорьев, Д.Н. Коэффициент использования комбинированного заземлителя / Д.Н. Григорьев // Промышленная энергетика. – 2002. – № 10. – С. 45–50.

6. Абдуллоев, Р.Т. Моделирование заземляющих устройств / Р.Т. Абдуллоев // Энергетика в современном мире: VI Международная заочная научно-практическая конференция 2–6 декабря 2013 г.: сборник статей / Забайкальский гос. ун-т. – Чита: ЗабГУ, 2013. – С. 30–33.

7. Абдуллоев, Р.Т. Стенд для исследования заземляющих устройств / Р.Т. Абдуллоев, А.Б. Тряпицын // Материалы LIII международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству» / под ред. д-ра техн. наук П.Г. Свечникова. – Челябинск: ЧГАА, 2014. – Ч. IV. – С. 98–102.

К содержанию

УДК 621.316.99 + 621.3.053.24

О СООТНОШЕНИИ ВЕЛИЧИН СОПРОТИВЛЕНИЙ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ И ПОВТОРНЫХ ЗАЗЕМЛЕНИЙ

А.И. Сидоров, Ш.С. Сайдалиев

Высокий уровень электротравматизма в электрических сетях напряжением 380 В показывает, что занулениияне всегда обеспечивает приемлемый уровень электробезопасности. В данной работе приведена оценка уровня электробезопасности в зависимости отсоотношения сопротивлений заземления нейтрали и повторных заземлений.

Ключевые слова: зануление, заземление нейтрали, повторное заземление.

В электрических сетях напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью (система *TN–C*[1])широко применяемой защитной мерой является зануление, что регламентируется п. 1.7. ПУЭ [1].

Физическая сущность защиты занулением представлена на рис. 1.

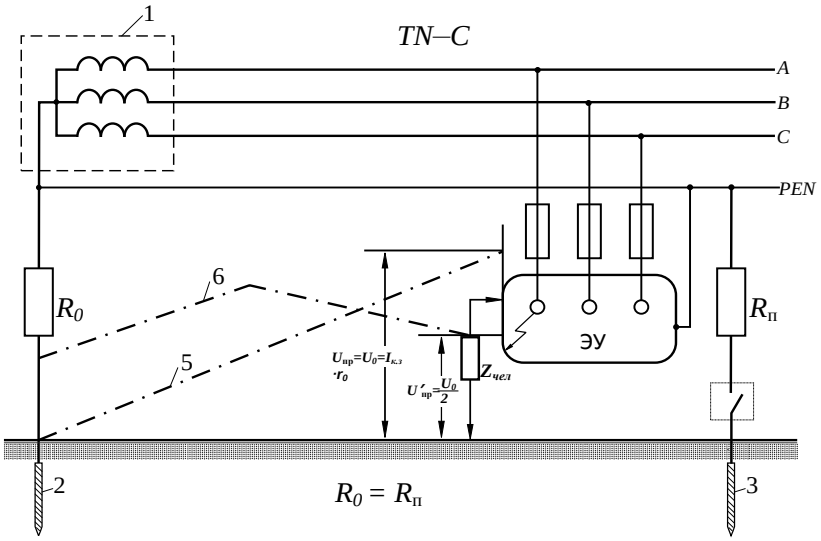


Рис. 1. Принципиальная схема защиты занулением:
1 –источник электроэнергии; 2 и 3 – заземлители;4–электроприемник; 5 – распределение напряжения прикосновения ($U_{пр.}$) при отсутствии повторного заземлителя; 6 – то же самое при наличии повторного заземлителя; $Z_{чел}$ – полное сопротивление тела человека; R_0 – сопротивления заземления нейтрали источника питания; $R_п$ – сопротивления повторного заземления; U_0 – падение напряжение на *PEN*–проводе; $U_{пр.}$– падение напряжения на корпусе относительно земли, при отсутствии повторного заземлителя; $U'_{пр.}$ – то же самое при наличии повторного заземлителя

Электробезопасность в системе зануления обеспечивается, прежде всего, временем отключения поврежденного участка сетиаппаратами защиты.

Согласно новой редакции ПУЭ [1] главным критерием эффективности защиты в электрических сетях напряжением до 1000 В считается время ее срабатывания [2], которое не должна превышать значений 0,8 с., 0,4 с. и 0,2 с. при фазных напряжениях сети 127 В, 220В и 380 В соответственно. А в цепях, питающих распределительные, групповые, этажные и др. щиты и щитки, время отключения не должно превышать 5 с [1].

Однако, при эксплуатации электрических сетей возникают режимы, когда, столь существенная простота и достаточно высокая надежность зануления не обеспечивают приемлемый уровень электробезопасности.Это могут бытьотказы аппаратов защиты, обрывы *PEN*–провода,замыкания фазы на землю (ОЗЗ) и т.д.

Неспособность быстрого отключения поврежденного участка сети при однофазном коротком замыканиина сегодня считается основным недостатком системы зануления [3].

При замыкании любой из фаз на зануленную металлическую нетоковедущую часть и продолжительном ее существования на*PEN*–проводе и подключенных к нему всех корпусах электрооборудований появляется напряжение относительно земли. Оно определяется падением напряжения на сопротивлении заземления нейтрали источника питания – $R_0(U_0)$ и сопротивлениях повторных заземлений*PEN*-проводника – $R_п(U_п)$[4]:

– напряжение на аварийном корпусе относительно земли:

$$\underline{U}_h = \underline{U}_п = \frac{U_ф R_п \underline{Z}_н}{(\underline{Z}_ф + \underline{Z}_н)\,(R_0 + R_п)}, \quad (1)$$

– напряжение нейтрали относительно земли:

$$\underline{U}_0 = \frac{U_ф\, R_0 \underline{Z}_н}{(\underline{Z}_ф + \underline{Z}_н) \cdot (R_0 + R_п)}, \quad (2)$$

где $\underline{Z}_ф + \underline{Z}_н$ – сопротивление цепи «фаза-нуль».

Комплексное выражение величин$\underline{Z}_ф + \underline{Z}_н$ объясняется тем, что при больших значениях токов необходимо учитывать индуктивную составляющую сопротивления проводников.

Из выражений (1) и (2) следует, что $U_п$ и U_0 всегда меньше фазного напряжения источника питания сети и их значения определяются в значительной степени соотношениями $\underline{Z}_ф$и $\underline{Z}_н$,$R_п$ и R_0.

Следует отметить, что параметры фазных и нулевых проводников $\underline{Z}_ф$ и $\underline{Z}_н$, а также сопротивление заземляющего устройства нейтрали источника питания R_0и повторных заземлений $R_п$ нормируются [1], согласно, которой полная проводимость *PEN*–проводников во всех случаях должна быть не менее 50 % проводимости фазного провода. Сопротивление заземляющего устройства нейтрали источника питания, в любое время года не должно

превышать значения 2, 4 и 8 Ом соответственно при напряжениях сети U= 660/380, 380/220 и 220/127 В. А общее сопротивление всех повторных заземлителей воздушной линий при тех же напряжениях сети должно быть не более 5, 10 и 20 Ом, соответственно.

Если для упрощения расчетов в (1) пренебречь индуктивными сопротивлениями петли фазного и нулевого проводников, а также считать, что последние обладают только активными сопротивлениями $R_ф$ и $R_н$, при этом допустить, что $R_ф = R_н$ и по *PEN*-проводнику протекает такой же ток $I_{окз}$, как и по фазному проводу, то (1) примет вид [5]:

$$U_п = \frac{U_ф}{R_п + R_0} R_п ,$$

или

$$U_{PEN} = \frac{U_ф}{1 + \frac{R_0}{R_п}} . \qquad (3)$$

Результаты расчета по (3) представлены на рис. 2.

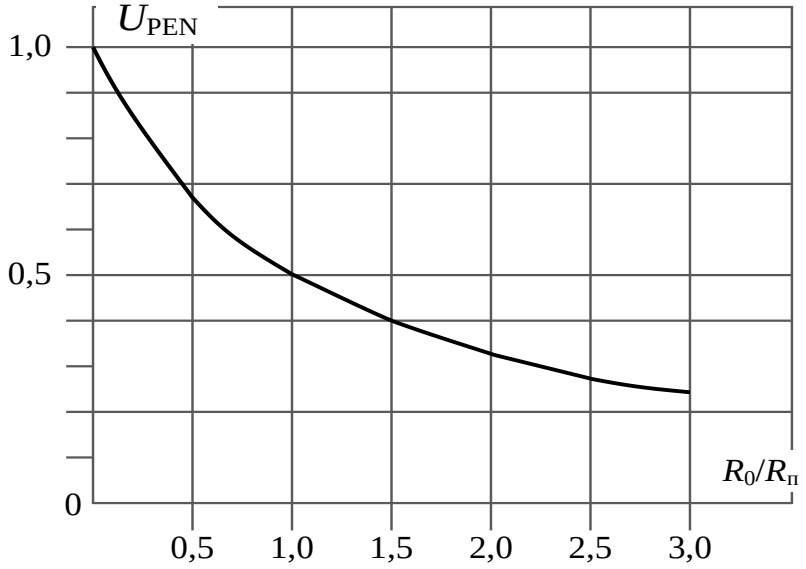


Рис. 2. Зависимость U_{PEN} (в долях от величины $U_ф$) от соотношенияR_0 и $R_п$ при однофазном замыкании на металлические нетоковедущие части

Из рис. 2 видно, что при однофазном замыкании на металлические нетоковедущие части и отказе аппарата защиты по тем или иным причинам, снижение значения R_0 не улучшает условия электробезопасности, а наоборот, увеличивает U_{PEN} относительно земли, которое при $R_0 = 0$ становится равным по величине фазному напряжению сети.

Такое положение ставит под сомнение оптимальность значений R_0, регламентированных в ПУЭ [1].

Тем не менее, при нормируемых в [1] значениях R_0 и $R_п$, величина U_{PEN} относительно земли остается неизменной при всех напряжениях сети – 660/380, 380/220 и 220/127 В и составляет 0,714$U_ф$. Следовательно, при замыкании фазы на корпус и отказе аппарата защиты, за местом замыкания, U_{PEN}относительно земли будет представлять угрозу для персонала, населения, а в сельской местности и для животных [5, 6].

Последнее позволяет утверждать, что при отказе аппарата защиты и замыкании фазы на корпус электроприемника, указанные в ПУЭ [1] значений R_0 и $R_п$ не обеспечивают необходимый уровень электробезопасности.

При однофазном замыкании фазы на землю (ОЗЗ) значение напряжения *PEN*–провода относительно земли U_{PEN} определяется по формуле [7]:

$$U_{PEN} = I_{зм}R_0 = \frac{U_ф}{R_{зм} + R_0}R_0 ,$$

или

$$U_{PEN} = \frac{U_ф}{1+\frac{R_{зм}}{R_0}}, \qquad (4)$$

где $R_{зм}$ – сопротивление замыкания фазы на землю, Ом.

Результаты расчета по (4) представлены на рис. 3.

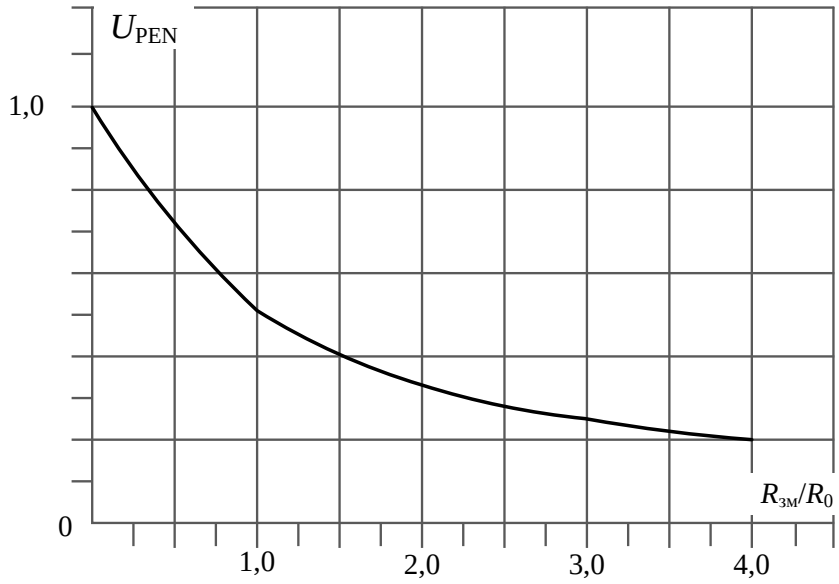


Рис. 3. Зависимость U_{PEN}при ОЗЗ от соотношения $R_{зм}$ и R_0 (в относительных единицах от $U_ф$)

Из рис. 3 видно, что при ОЗЗ напряжение на *PEN*–проводе U_{PEN} и подключенных к нему металлических нетоковедущих частей в значительной степени зависит от сопротивления замыкания на землю $R_{зм}$, которое, является, прежде всего, функцией удельного сопротивления грунта в месте замыкания [8].

Установлено, что сопротивление замыкания фазного провода при контакте с землей составляет сотни и даже тысячи Ом, даже при сырой земле (провод погружен в грязь) – 15–20 Ом. Например, Н.П. Сейма, измеряя сопротивление заземления голого медного провода лежавшего на мягкой земле, установил, что оно находится в пределах 120–200 Ом. Когда этот же провод был вдавлен в землю, сопротивление заземления снизилось до 8–14 Ом [9].

Общеизвестно, что значительная часть ВЛ–0,38 кВ проходит по населенной местности и в результате обрыва фазный провод, помимо непосредственного падения на землю, может упасть на заборы, гаражи, деревья и другие не изолированные от земли объекты. При этомзначения напряжения *PEN*-провода (U_{PEN}) относительно земли и на всех присоединенных к нему металлических нетоковедущих частях в полной мере зависят от сопротивления самозаземления перечисленных объектов. Результаты исследования [10] представлены в табл.

Таблица

Результаты расчета сопротивлений самозаземления гаражей

Удельное электрическое сопротивление грунта	ρ , Ом·м	20	40	100	300	700
Цельнометаллический гараж	$R_{сз}$, Ом	1,47	2,94	7,36	22,06	51,48
Гараж из ж/б блоков с металлической крышей	$R_{сз}$, Ом	2,4	4,7	11,8	35,4	82,5

В таком случае, если посмотреть оценку зануления по обеспечению условий электробезопасности при ОЗЗ, например, для $U_ф$ = 220 В и расчетного значения удельного сопротивления грунта ρ = 100 Ом·м, согласно выражению (4) и рисунку 3 получим: при замыкании фазы на крышу цельнометаллического гаража значение U_{PEN}составляет $0{,}35U_ф$, а при замыкании фазы на крышу гаража из железобетонных блоков с металлической крышей – $0{,}25U_ф$. Ток, проходящий при этом через тело человека, равен I_h = 64 мА и I_h = 37 мА соответственно, что существенно превышает значения порогового неотпускающего тока [4].Следовательно, такие значения U_{PEN} и I_h не соответствуют требованиям [11].

Таким образом, установленные правилами устройств электроустановок 7-го издания [1] параметры заземления нейтрали и повторных заземлений не обеспечивают, в ряде случаев, приемлемый уровень электробезопасности.

Библиографический список

1. Правила устройства электроустановок: утв. Приказом Минэнерго России от 20 июня 2003 г. № 242 / М-во энергетики Российской Федерации. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.

2. Валеев, Р.Г. Концепция построения защиты электрических сетей напряжением 380 В от однофазных коротких замыканий / Р.Г. Валеев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 30–33.

3. Щуцкий, В.И. Безопасность при эксплуатации электротехнических систем: учеб. Пособие / В.И. Щуцкий, А.И. Сидоров. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 282 с.

4. Сидоров, А.И. Основы электробезопасности: Учебное пособие / А.И. Сидоров. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 344 с.

5. Савицкий, Л.В. Обоснование функций системы контроля состояния зануления / Л.В. Савицкий, К.С. Фетько, Ш.С. Сайдалиев, А.И. Сидоров // Электробезопасность. – 2012. – № 4. – С. 18–21.

6. Якобс, А.И. Электробезопасность в сельском хозяйстве / А.И. Якобс, А.В. Луковников. – М.: Колос, 1981. – 239 с.

7. Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учебное пособие для вузов / П.А. Долин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.

8. Ревякин, А.И. Электробезопасность и противопожарная защита в электроустановках / А.И. Ревякин, Б.И. Кашолкин. – М.: Энергия, 1980. –160 с.

9. Манойлов, В.Е. Основы электробезопасности / В.Е. Манойлов. – 5-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 480 с.

10. Сидоров, А.И. Замыкание фазного провода четырехпроводной сети 0,4 кВ на металлические корпуса или крыши гаражей / А.И. Сидоров, Ш.С. Сайдалиев // Электробезопасность. – 2014. – № 2. – С. 10–16.

11. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изм. № 1). – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001.

К содержанию

УДК 537.24:546.26

О ВЛИЯНИИ УГЛЕРОДНЫХ ДОБАВОК НА ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

И.А. Шеремета, А.И. Сидоров

В работе представлен механизм электризации полимерных материалов, а также способы уменьшения их электризации путем добавления углеродных наполнителей.

Ключевые слова: статическая электризация, электрические заряды, антистатики, углеродные наполнители, сажа, технический углерод, углеродные нанотрубки.

Полимерные материалы часто характеризуются склонностью к накоплению статических зарядов.

Статическая электризация – способность материалов накапливать и сохранять электрические заряды в процессе переработки и эксплуатации. Статическая электризация складывается из двух процессов – накапливания (генерации) статических зарядов и спада зарядов во времени [4].

По величине удельного объемного электрического сопротивления (ρ_v) все твердые тела подразделяются на три группы, ,Ом*м:

– диэлектрики (изоляторы), $\rho_v>10^8$;

– полупроводники, $\rho_v=10^2$-10^8;

– проводники: проводящие, $\rho_v=10^{-2}$–10^2; высокопроводящие, $\rho_v=10^{-6}$–10^{-2} [3].

В соответствии с таблицей, изображенной на рисунке 1, можно сказать, что стеклопластики относятся к диэлектрикам.

Показатели	Марка стеклопластика					
	ЭФ-32-301	ЭТО	СТВЭ	СТЭФ	СТЭФ-Р	СТЭР-1-30
ρ_v, Ом·см	–	$5\cdot10^{13}$	$1\cdot10^{14}$	$1\cdot10^{13}$	$1\cdot10^{13}$	$6–10^{13}$
ε	4,5	–	–	6	–	5,4
tg δ	0,027	0,009	0,09	0,005	–	0,18
$E_{пр}$, МВ/м	–	–	–	25	12	25
Водопоглощение, %	0,28	0,05	–	0,8–1,0	0,8	0,05
Бензопоглощение, %	0,07	–	–	–	–	–
Маслопоглощение, %	0,55	–	–	–	4	0,28
Керосиностойкость, %	0,38	–	–	–	–	–

Рис. 1. Таблица свойств листовых стеклопластиков на основе эпоксидных смол

В современных исследованиях, посвященных контактной электризации, обычно предполагается, что перенос зарядов осуществляется электронами, однако нельзя исключить возможность переноса ионов через границу раздела, особенно в случае полимеров, содержащих ионные фрагменты структуры и ионные примеси. Вводимые в полимер добавки, в особенности антистатики, выпотевают на поверхность, и в этом случае можно ожидать преобладания переноса зарядов ионами. Присутствие ионов на поверхности ведет к их участию в процессе контактной электризации, хотя при этом следует принимать во внимание множество дополнительных факторов:

1) степень диссоциации ионной компоненты. Это, в свою очередь, определяется окружениями ионов. Присутствие воды, обладающей высокой диэлектрической проницаемостью, способствует ионизации, увеличивая число ионов для переноса;

2) подвижность ионов. Она зависит от размера ионов и степени сольватации (связывания молекул растворителя, например, воды с ионами), которая снижает подвижность;

3) относительная стабильность положительных и отрицательных ионов на обеих поверхностях. Это определяет конечное состояние равновесия.

Высокие показатели диэлектрических свойств полимерных материалов создают условия для скопления электростатических зарядов на трущихся поверхностях изделий: искровые разряды статического электричества мо-

гут вызывать взрывы и пожары легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, огнеопасных газовых смесей, пыли. Кроме того, электризация способствует сильному загрязнению пластмассовых изделий, а также может увеличить скорость их химической деструкции, при которой возможно выделение токсичных веществ.

Для предотвращения скопления электрических зарядов на поверхностях полимерных материалов широко применяются антистатики – вещества, способные при добавлении к синтетическим смолам и пластмассам уменьшать их электризацию в процессе их переработки и эксплуатации изделий из них.

Действие антистатиков основано на повышении проводимости материалов и обусловленной этим утечкой зарядов. Оценку действия антистатиков производят по уменьшению поверхностного электрического сопротивления ρ_s, электростатического потенциала трения ϕ и полупериода утечки электростатических зарядов τ, а также измерением объемного электрического сопротивления ρ_v. Действие антистатиков (при 20 °С и относительной влажности 65 %) считают отличным, если полупериод утечки электростатических зарядов меньше 0,5 сек (ρ_s не больше 1010 Ом); при хорошем действии полупериод утечки составляет 0,5–20 сек (ρ_s=1010–1012 Ом); при умеренном – 2,0–10,0 сек (ρ_s=1012-1014 Ом); при слабом – 10,0–100 сек (ρ_s=1014–1015 Ом); при более длительном полупериоде утечки электростатических зарядов (ρ_s=1016 Ом и более) антистатический эффект отсутствует. [2]

Чаще всего, для повышения электропроводимости полимерного материала в качестве наполнителя добавляют технический углерод, или сажу, получаемую при полном сгорании паров углеводородных соединений, так как она:

1) является совместимой с матрицей, хорошо смешивается и обладает хорошей адгезией;

2) практически не изменяет удельный вес материала;

3) имеет невысокую стоимость.

Для придания композиту электрических свойств, однако, требуются специальные сорта сажи, и при этом в высокой концентрации. Зависимость электропроводности композита полиэтилен – печная сажа от концентрации наполнителя показана на рисунке 2.

Сорта сажи, дающие высокую электропроводность в композите, отличаются малым размером частиц, но и, что более важно, способностью объединяться в цепочки псевдоволокнистых агломератов (структуру), сохраняющихся даже при введении в полимерную матрицу. Причины структурирования сажи до конца не ясны. Частично объяснение заключается в слиянии капель высокомолекулярных углеводородов с образованием ожерелий на промежуточных стадиях процесса образования сажи, однако

это не может объяснить тот факт, что структурность, нарушенная в результате сдвиговых деформаций, восстанавливается в состоянии покоя. Свойства поверхности сажи оказывают влияние на электропроводность композита через ее структурность. Так, обработка частиц сажи, при которой с поверхности удаляется водород и кислород, приводит к росту электропроводимости композита. Оценка структурности различных типов сажи производится с помощью ряда эмпирических методов.

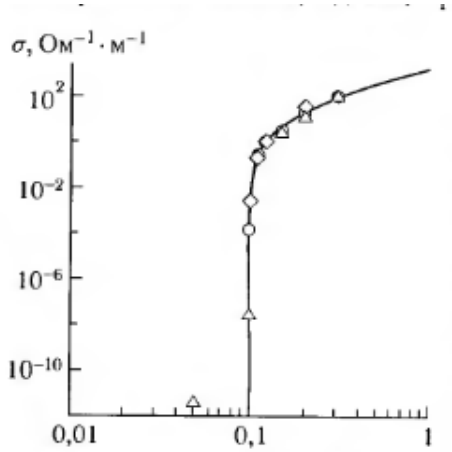


Рис. 2. Зависимость электропроводности композита
полиэтилен–печная сажа от концентрации наполнителя

Электропроводность композитов зависит от частоты, температуры, механических деформаций и набухания полимерной матрицы. Эти зависимости были тщательно изучены и послужили основой для коммерческого использования саженаполненных полимерных композитов.

1. Зависимость от частоты. Частотная зависимость электропроводности саженаполненных композитов типична для всех электропроводящих композитов.

2. Температурная зависимость. При возрастании температуры электропроводность саженаполненного композита может как увеличиваться, так и уменьшаться, это зависит от того, в какой степени тепловое расширение разрывает проводящие цепочки, что, в свою очередь, определяется величинами коэффициентов объемного расширения полимерной матрицы и сажи. Несмотря на то, что температурный коэффициент графита положителен, для большинства саженаполненных композитов этот коэффициент отрицателен, что обусловлено относительно высоким термическим расширением, характерным для большинства полимеров выше 200 К. Помимо плавного изменения сопротивления (или электропроводимости) с температурой, для многих композитов характерно резкое изменение сопротивления при достижении температуры плавления кристаллической фазы матричного полимера.

Ступенчатое изменение сопротивления объясняется разрушением сажевой сетки при плавлении кристаллов: частицы сажи в ставшей более подвижной матрице обретают способность двигаться, саженные цепочки разрываются, и сопротивление начинает увеличиваться. В расплавленном состоянии частицы наполнителя могут снова агломерировать, что приводит к падению сопротивления. При охлаждении композита ниже точки плавления первоначальное значение сопротивления не восстанавливается, и при температурном циклировании кривые сопротивление-температура не воспроизводятся. Было показано экспериментально, что увеличение сопротивления композитов с матрицей полиэтилена обусловлено потерей связности сажевой сетки ниже точки плавления полимера. Частицы сажи располагаются в аморфных областях между кристаллами, где и образуются перколирующие цепочки, которые разрываются при увеличении доли аморфной фазы. Сшивание полимерной матрицы стабилизирует материал, так что сетка сажевых цепочек в значительной степени сохраняется выше температуры плавления, только увеличивается расстояние между частицами. В этом случае сопротивление при температурном циклировании воспроизводится – относительное расположение частиц остается неизменным. Типичная зависимость для печной сажи в эпоксидной матрице показана на рисунке 3.

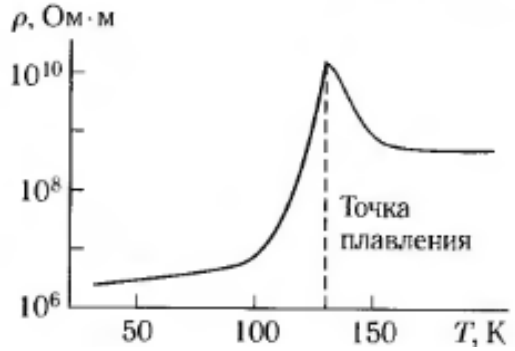


Рис. 3. Типичная температурная зависимость
саженаполненного композита

Электропроводящий наполнитель может использоваться эффективно в том случае, если он распределен в матрице в виде длинных, связанных между собой цепочек контактирующих частиц наполнителя. Очевидно, что формирование таких цепочек будет облегчено, если частицы наполнителя сажи имеют фибриллярную форму, например, в виде тонких углеродных волокон или нанотрубок. Волокна обладают высоким структурным фактором, в результате чего композиты на их основе имеют низкий порог протекания. Для коротких углеродных волокон величина порога v_{fc} составляет 0,01 и меньше, а для углеродных нанотрубок v_{fc} порядка 0,001. Механически прочные волокна увеличивают прочность композита, поэтому, теряя в гибкости по сравнению с матричным полимером, при высоком содержании волокон он сохраняет прочностные свойства.

Если волокна в композите распределены случайным образом, те из них, чья ориентация не совпадет с направлением поля, снижают электропроводность материала по сравнению с максимально возможной [1].

В настоящее время в качестве наполнителя для полимерных материалов используют углеродные нанотрубки. Две главные проблемы, важные для эффективного использования нанотрубок и передаче их уникальных механических свойств композиту – это параллельная укладка и равномерное диспергирование нанотрубок в полимерной матрице. Эти трудности возникают из-за склонности однонаправленных углеродных нанотрубок образовывать пучки и тенденции к агломерации благодаря слабым Ван-дер-Ваальсовым силам. Значительная часть проведенных исследований была посвящена преодолению этих проблем; было выявлено несколько органических и основанных на поверхностно-активных веществах растворов, способных диспергировать и химически функционализировать нанотрубки. Другая проблема связана с межфазной связью между трубками и полимерной матрицей, которая влияет на эффективность передачи нагрузки через межфазную границу.

Высокая электропроводность углеродных нанотрубок позволяет создавать композиты со свойствами стекания статического заряда и экранирования радиочастот. Это раскрывает широкий спектр применений, причем свойства углеродных нанотрубок позволяют их использовать в крайне малых количествах.

При постепенном увеличении концентрации технического углерода (ТУ) в полимере имеется критическая объемная доля v_c, при которой электропроводность возрастает на несколько порядков величины. Эта критическая объемная доля, как видно из рисунков 4, различна для различных полимеров и для различных сортов сажи.

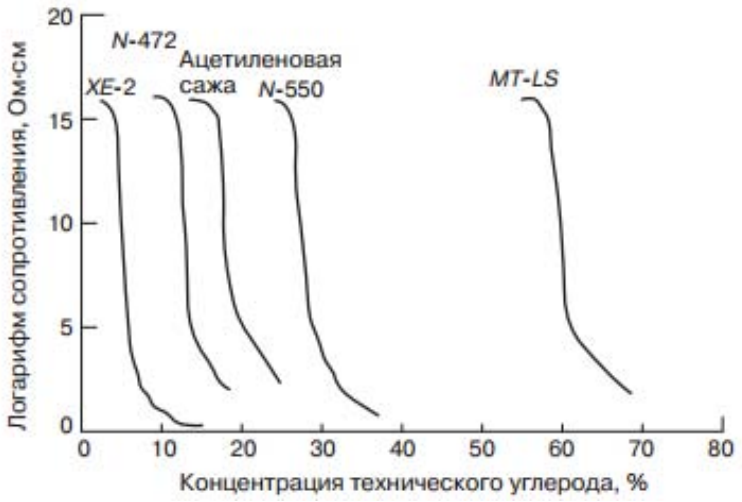


Рис. 4. Графики логарифма сопротивления в зависимости от концентрации для различных сортов технического углерода в ПЭВП

Как и можно было ожидать, она также зависит от смешения и конечного мезоскопического распределения ТУ в изолирующем матричном полимере. Было предположено, что частицы углерода не нуждаются в непрерывном физическом контакте, но если они находятся на достаточно близком расстоянии, примерно 2 нм, то электроны могут туннелировать через изолирующий полимер и обеспечивать путь для проводимости. Эти наблюдения привели к объяснению электропроводности на основе перколяционной теории, основанной на рассмотрении движения заряда в неупорядоченной среде. Разумеется, часть агломератов ТУ находится в тесном контакте, и внутри агрегатов может работать иной «графитный» механизм электропроводности.

При использовании углеродных нанотрубок проводимость достигается при более низком (по весу) наполнении, но эти материалы трудно диспергировать в расплавленных полимерах. Прежде чем углеродные нанотрубки смогут найти свое место как электропроводные наполнители, должны быть разработаны методы поверхностной функционализациии дешевого производства. В качестве альтернативы нанотрубкам Фукусима и Джаль указывали на композиты, содержащие протравленный кислотой или функционализированный другими способами эксфолиированный графит с порогом проводимости менее 3 % об. Эти композиты проявляют одинаковые или лучшие механические свойства по сравнению с другими наполненными углеродом полимерами [5].

Несомненно, искусство создания хорошего электропроводящего композита заключается в использовании минимального количества электропроводящего компонента для достижения требуемого уровня электрических свойств, поэтому необходимо более детальное знакомство с факторами, которые определяют образование проводящей сетки данного компонента в выбранной матрице. Можно выделить два основных фактора.

1. Качество контактов между частицами. Образование проводящих путей в двухфазной системе зависит от частиц электропроводящей фазы образовывать хороший электрический контакт при их соприкосновении или сближении. Учитывая огромное количество контактов между частицами, любые изменения в свойствах контакта оказывают сильное влияние на электропроводность материала.

2. Форма и размер проводящих частиц. Расчет сопротивление скомпактивированных частиц углерода был успешно проведен с помощью простой модели, в которой принимается, что влияние на свойства контакта между частицами оказывает сжатие в точках контакта. Для расчета контактного сопротивления используется выражение $\rho\pi/\alpha$, где α – радиус круглого пятна контакта между сферическими частицами, намного меньше радиуса этих сфер, а ρ – удельное сопротивление материала частиц. Учитывая упругие и пластические деформации под действие сжимающих напряжений, изменяющих α, можно количественно оценить зависимость сопротивления

скомпактированных частиц от давления. Эта модель также применима к композитам с высокой концентрацией частиц, контакты между которыми образуют проводящие пути в материале. Учитывая сказанное, в случаях, когда доминирует контактное сопротивление, сферические частицы оказываются неэффективными, так как с точки зрения электропроводности большая часть материала сфер не включена в проводящие пути. Доля не участвующего в проводящих путях материала возрастает с увеличением диаметра сфер. Частицы удлиненной формы, например, в виде иголок, волокон и даже чешуек, намного более эффективны в этом отношении. Более высокое отношение поверхности к объему для таких частиц приводит к увеличению вероятности контактов между частицами при меньшей концентрации и, соответственно, к снижению порога перколяции. Кроме того, волокнистые наполнители, такие как углеродные волокна, улучшают механические свойства композита. На практике электропроводящие материалы подразделяют на две большие категории – композиты с частицами приблизительно сферической формы и композиты с удлиненными частицами, чаще всего волокнами. (примеры из патентов) Так, современные полимерные материалы, ставшие известными из уровня техники [6], [7], [8], подтверждают преимущество использования углеродных нанотрубок в виде волокон.

Библиографический список

1. Блайт, Э.Р. Электрические свойства полимеров / Э.Р. Блайт, Д. Блур; пер. с англ. – М.: Физматлит, 2008. – 376 с.

2. Гарбар, М.И. Справочник по пластическим массам / М.И. Гарбар, В.М. Катаев, М.С. Акутина. – М.: Химия, 1969. – 520 с.

3. Крыжановский, В.К. Технические свойства полимерных материалов, учебно-справочное пособие / В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко, Ю.В. Крыжановская. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Профессия, 2005. – 248 с.

4. Лущейкин, Г.А. Методы исследования электрических свойств полимеров / Г.А. Лущейкин. – М.: Химия, 1988. – 160 с.

5. Марино Ксантос. Функциональные наполнители для пластмасс / Марино Ксантос. – СПб.: Научные основы и технологии, 2010. – 462 с.

6. Patent Application Publication 2011151254, United States, Int. Cl. D 02 G 3/36, B 05 D 5/12, B 82 Y 40/00. Electro-conductive fibers with carbon nanotubes adhered thereto, electro-conductive yarn, fibers structural object, and production processes thereof/ FUGETSU BUNSHI, AKIBA EIJI, HACHIYA MASAAKI; assignees National University Corp. Hokkaido University; Kurarayliving CO., LTD., Osasks-shi, Osaka; Mitsui & CO., LTD., Chiyoda-ku, Tokyo. – № 200913060596; 31.08.2009.

7. Patent Application Publication 2010159127, United States, Int. Cl. B05D5/12, METHOD FOR MAKING A CONDUCTIVE FILM OF CARBON NANOTUBES/ LIN KUAN-JIUH, SU JUN-WEI, HSU YING-CHEN; assignees LIN KUAN-JIUH, SU JUN-WEI, HSU YING-CHEN, IPCOOLER TECHNOLOGY INC. – № 20090579919; 15.10.2009.

8. Patent Application Publication 2015017447, United States, Int. Cl. C25D13/04.ELECTROCONDUCTIVE COMPOSITE SUBSTRATES COATED WITH ELECTRODEPOSITABLE COATING COMPOSITIONS AND METHODS OF PREPARING THEM / MORAVEK SCOTT, PEFFER ROBIN M, MAYO MICHAEL A; assignees PPG IND OHIO INC. – № 201313940943; 12.07.2013.

К содержанию

УДК 614.8 + 658.382.2

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ В СИСТЕМЕ КОРРЕКЦИИ ЗДОРОВЬЯ РАБОТАЮЩИХ ВО ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ УСЛОВИЯХ

Э.М. Красильникова

Изменения в трудовой структуре населения РФ характеризуется уменьшением численности населения рабочих возрастов и может создать опасность дефицита рабочей силы, а также увеличение социальной нагрузки на трудоспособное население. В связи с этим, сохранение здоровья населения вообще и, особенно, работающих во вредных и опасных условиях приобретает не только гуманитарное, но и социально-экономическое значение. Имеется настоятельная необходимость разработать алгоритм снижения профессионального риска и сохранения здоровья работников, включающий гигиенические, организационные медико-профилактические мероприятия и меры медицинской и социальной реабилитации лиц, получивших производственно обусловленные и профессиональные заболевания. Этот алгоритм должен включать как профессиональную медицинскую помощь, так и оздоровление населения с использованием природных лечебных ресурсов.

Ключевые слова: природные ресурсы, коррекция здоровья, демографическая политика Российской Федерации, интегральный показатель профессионального риска, профессиональная и производственно обусловленная заболеваемость.

Демографическая политика Российской Федерации направлена на увеличение продолжительности жизни населения, сокращение уровня смертности, рост рождаемости, регулирование внутренней и внешней миграции, сохранение и укрепление здоровья населения, и улучшение на этой основе демографической ситуации в стране. Демографическая ситуация в Российской Федерации остается сложной. С 1991 г. отмечается естественная убыль населения, в 27 регионах страны число жителей значительно сократилось.

Депопуляция (в разной степени) затронула практически все территории Российской Федерации и почти все этнические группы, что обуславливается низкой рождаемостью и высокой смертностью населения страны. Одновременно отмечается процесс старения населения, изменение соотношения возрастных групп моложе и старше трудоспособного возраста. Изменения в трудовой структуре населения трудоспособного возраста значительно превышает численность вступающих в трудоспособный возраст. Уменьшение численности населения рабочих возрастов может создать опасность дефицита рабочей силы и увеличение социальной нагрузки на трудоспособное население. Одним из приоритетов демографической политики в области охраны здоровья и увеличения продолжительности жизни населения является:

«...– сохранение репродуктивного здоровья населения путем совершенствования профилактической и лечебно-диагностической помощи;

...– улучшение состояния здоровья населения в трудоспособном возрасте, в первую очередь за счет профилактических мероприятий по снижению травм и отравлений, а также раннему выявлению болезней системы кровообращения, онкологических и инфекционных болезней» [1];

Аттестацией рабочих мест по условиям труда установлено, что на основных рабочих местах неблагоприятными факторами производственной среды для работающего человека предприятий промышленности и сельского хозяйства являются микроклиматический дискомфорт, высокие концентрации промышленной пыли, повышенные уровни шума, общей и локальной вибрации, тяжесть и напряженность трудового процесса. Как правило, имеет место комбинированное и сочетанное действие указанных факторов.

Анализ результатов профилактических медицинских осмотров показал, что комплекс этих производственных факторов создает риск для здоровья работников, который оценивается как высокий, при котором требуются меры по его снижению. Данные профессиональных профилактических медицинских осмотров показали, что приоритетными являются профессионально обусловленные заболевания: болезни периферической нервной системы, вибрационная болезнь, нейросенсорная тугоухость, заболевания опорно-двигательного аппарата.

Имеется настоятельная необходимость разработать алгоритм снижения профессионального риска и сохранения здоровья работников, включающий гигиенические, организационные медико-профилактические мероприятия и меры медицинской и социальной реабилитации лиц, получивших производственно обусловленные и профессиональные заболевания.

ВНИИБТМЕТ в этом направлении выполнены исследовательские работы: «Оптимизация условия труда при нагреве трубных заготовок» и «Обоснование расчета интегрального показателя профессионального риска

нарушения здоровья человека в производственных условиях», в которых предлагается анализ причин и расчет уровня профессионального риска в производственных условиях [2].

При анализе заболеваемости с временной утратой трудоспособности и по результатам профессиональных медицинских осмотров также отмечено, что первые ранговые места у агломератчиков, вальцовщиков, плавильщиков и других «горячих» профессий в металлургии занимают болезни костно-мышечной системы, системы кровообращения и органов дыхания. У рабочих этих профессий на металлургических предприятиях Челябинской области ежегодно регистрируется от 2 до 10 % случаев заболеваний с повреждениями органов костно-мышечной системы, вследствие значительного вклада производственных факторов в эти заболевания [3].

22–24 июня 2010 г. в Москве прошел Всероссийский форум «Развитие санаторно-курортной помощи, восстановительного лечения и медицинской реабилитации в России». Ведущий кардиолог страны Е.И. Чазов и главный травматолог С.П. Миронова особо отмечали необходимость более широкого применения восстановительно-реабилитационных мероприятий в медицине.

В современных условиях экономические аспекты здоровья не теряют своей остроты. В системе сохранения здоровья имеет совершенствование системы восстановительного лечения и оздоровления населения в условиях санаторно-курортных учреждений и профилакториев. Актуальной остается разработка и внедрение целевых программ, направленных на уменьшение или предотвращение риска повреждения здоровья как производственного персонала, так и других категорий населения (дети, участники военных конфликтов, пенсионеры). В медицинской реабилитации широко используется применение минеральных вод при лечении и профилактике заболеваний и травм.

В связи с этим для обеспечения населения, работников промышленных и сельскохозяйственных предприятий профильной и социально ориентированной санаторно-курортной помощью необходима комплексная оценка перспектив освоения природных лечебных ресурсов, их изучение и использование в лечебном процессе, разработка нормативно-технической документации по их охране и рациональному использованию.

Недра Уральского региона содержат уникальные по своим лечебным свойствам, качеству и условиям формирования минеральные воды. В многочисленных и разнообразных по своему химическому составу озерах аккумулированы значительные ресурсы лечебных грязей, благоприятных для бальнеологического лечения.

В числе активных здравниц Уральского региона можно перечислить санатории:

– в Челябинской области: «Урал», «Увильды», «Еловое», «Дальняя Дача», пансионат «Карагайский бор»;

– в Свердловской области: санатории «Обуховский», «Самоцвет», «Курьи», «Маяк» и др.;

– в Пермском крае: курорты «Ключи», «Усть-Качка», санатории «Демидково», «Красный Яр», «Уральская Венеция».

При этом в регионе функционирует ряд здравниц, не располагающих собственной базой природных лечебных ресурсов и применяющих для восстановительного лечения искусственно минерализованные или привозные минеральные воды и лечебные грязи. В современных условиях многие профилактории изменили свой статус и практически стали учреждениями отдыха.

Уникальные озера региона используются населением самостоятельно, в короткий летний период, без должного медицинского и экологического наблюдения как за здоровьем людей, использующих этот метод оздоровления, так и за состоянием водоема. Потенциальными потребителями минеральной воды и донных отложений для лечебных процедур являются:

– лечебно-профилактические и санаторно-курортные учреждения, не имеющие своей базы на природном водоеме;

– физиотерапевтические кабинеты лечебно-профилактических учреждений;

– санатории-профилактории, здравпункты промышленных предприятий; косметические салоны и клиники.

В ВНИИБТМЕТ разработана автоматизированная система подготовки к использованию в качестве лечебно-профилактических средств наружного применения минеральных вод открытых водоемов.

В настоящее время биотерапевтические методы из средств поддерживающей терапии переходят в самостоятельные методики лечения, которые являются безопасной и доступной альтернативой некоторым лекарственным химическим средствам [4]. Опыт последних лет показал, что одним из перспективных направлений профилактической медицины является апитерапия, позволяющая сохранить здоровье и трудоспособность работающего человека. Апитерапия, как общее название методов лечения продуктами пчеловодства, благодаря применению которых процессы восстановления здоровья протекают более эффективно. Разработка препаратов на основе продукции пчеловодства идет достаточно интенсивно, но при недостаточной доказательной базе и приемлемой нормативно-технической документации не выдерживает испытаний на клиническом и нередко законодательном уровнях.

С января 2015 года начал функционировать «Евразийский экономический союз». При этом предполагается разработка основополагающих документов, формирование общего рынка газа, нефти, нефтепродуктов, лекарств, медицинских изделий и соответствующей нормативно-технической базы.

Одной из древнейших и уникальных отраслей агропромышленного комплекса является пчеловодство. Продукция – мед, воск, прополис, перга, маточное молочко, пчелиный яд – по своему составу, технологическим питательным и лечебным свойствам нашли свое применение в пищевой, фармацевтической промышленности, но более всего в медицине, в лечении и профилактике заболевания населения различного возраста.

Актуальной задачей научных исследований и практической деятельности в современных условиях становится совершенствование организационного механизма пчеловодства. Пчеловодство способно обеспечить производство и медицину ценными питательными, диетическими и лекарственными продуктами. Наиболее устойчивыми к изменяющимся условиям рынка становятся пчеловодческие хозяйства, производящие несколько видов продукции, но в основном на пасеках преобладает производство меда.

Особое место в ряду продуктов пчеловодства занимает пчелиный яд. Фармацевтическая промышленность и специализированные фирмы выпускают лечебные препараты пчелиного яда в инъекциях, ингаляциях, лечебных и косметических кремах. Пчелиный яд высоко ценится в медицинской практике, но в стандарты оказания медицинской помощи населению препараты на основе пчелиного яда не включены, что затрудняет испытание этих средств на клиническом и законодательном уровнях.

К другим средствам сохранения здоровья можно отнести соки, богатые биологически активными веществами, соки хвойных деревьев и многие другие витаминные препараты.

Библиографический список

1. Концепция демографической политики РФ до 2025 года (Указ Президента Федерации № 1351 от 9 октября 2007 г.).

2. Красильникова, Э.М. Обоснование расчета интегрального показателя профессионального риска нарушения здоровья человека в производственных условиях / Э.М. Красильникова, Н.А. Ведерников, В.Д. Жидков, М.Ю. Семагин. – Тамбов, 2012.

3. Красильникова, Э.М. К вопросу о разработке стандарта медицинской помощи рабочим промышленных предприятий с производственно обусловленными заболеваниями костно-мышечной системы с использованием методов апитерапии / Э.М. Красильникова, И.Г. Зорина, В.В. Харунжин, В.С. Красильников. – Тамбов, 2013.

4. Красильникова, Э.М. Оптимизация нормативной базы для продукции пчеловодства и повышение рентабельности пчеловодства в России / Э.М. Красильникова, Б.Ф. Лаврентьев. – Киров, 2015.

К содержанию

УДК 621.316.761.2 + 331.45 + 537.622

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ СТАТИЧЕСКОГО ТИРИСТОРНОГО КОМПЕНСАТОРА

И.С. Окраинская, А.И. Сидоров

В работе представлены результаты исследования распределения напряженности магнитного поля вблизи статического тиристорного компенсатора, установленного на открытом распределительном устройстве напряжением 500 кВ. Отмечается повышенный уровень магнитного поля в отдельных точках, где может выполнять работы обслуживающий персонал.

Ключевые слова: магнитное поле, защита персонала, статический тиристроный компенсатор.

Персонал, обслуживающий электроустановки сверхвысокого напряжения подвергается воздействию электромагнитного поля промышленной частоты, создаваемого электроустановками сверхвысокого напряжения.

Магнитное поле промышленной частоты индуцирует в теле человека вихревые токи. Согласно современным представлениям индуцирование вихревых токов является основным механизмом биологического действия магнитного поля частотой 50 Гц. Основным параметром, его характеризующим, является плотность вихревых токов. Биологическая эффективность магнитного поля зависит от его интенсивности и продолжительности воздействия.

Магнитное поле вызывает изменения функционального состояния нервной, сердечно-сосудистой и иммунной систем. Имеется вероятность увеличения риска развития лейкозов и злокачественных новообразований центральной нервной системы [1–3].

Предельно допустимые уровни магнитного поля в Российской Федерации устанавливаются СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях». В основу нормирования уровня МП положено допустимое значение плотности вихревого тока в организме человека (с разными коэффициентами запаса).

Для персонала, обслуживающего электроустановки, допустимая напряженность H или индукция B магнитного поля устанавливается раздельно для условий общего (все тело) и локального (на конечности) воздействия в зависимости от продолжительности пребывания в магнитном поле. Допустимые уровни магнитного поля приведены в табл. 1.

Допустимые уровни магнитного поля внутри временных интервалов определяются интерполяцией (рис. 1).

При необходимости пребывания персонала в зонах с различной напряженностью магнитного поля общее время выполнения работ в этих зонах не должно превышать предельно допустимое для зоны с максимальной напряженностью.

Таблица 1

Допустимые уровни магнитного поля

Время пребывания, ч	Допустимые уровни магнитного поля Н (А/м)/В (мкТл) при воздействии	
	общем	локальном
≤ 1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

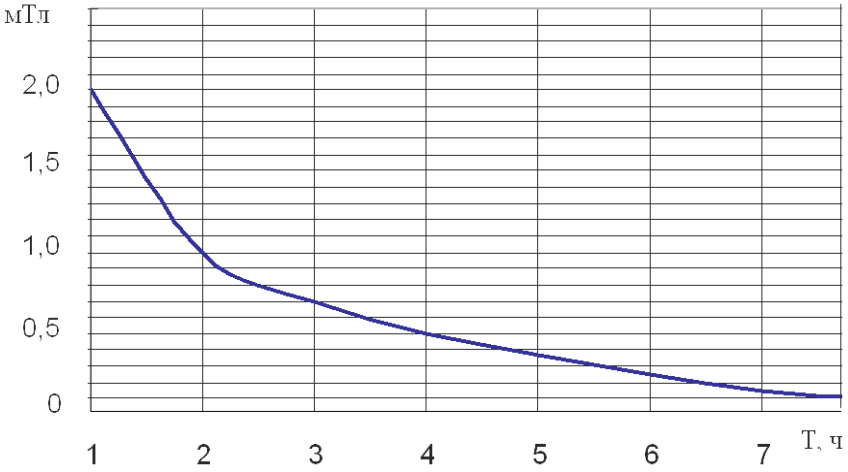


Рис. 1. ПДУ производственных воздействий МП промышленной частоты в зависимости от времени пребывания персонала для условий общего воздействия

Допустимое время пребывания персонала в магнитном поле может быть реализовано одноразово или дробно в течение рабочего дня. При изменении режима труда и отдыха (сменная работа) предельно допустимый уровень не должен превышать установленный для 8-часового рабочего дня.

В настоящее время на отдельных подстанциях в Российской Федерации ведется замена синхронных компенсаторов на статические тиристорные компенсаторы. Монтаж и введение в работу нового типа устройств на открытом распределительном устройстве и во вспомогательных помещениях потребовал проведения контроля электромагнитной обстановки для определения условий и режима работы персонала, обслуживающего данное устройство. Исследования были проведены осенью 2013 г.

В состав СТК входят:

- тиристорно-реакторные группы (ТРК) – компенсирующие реакторы с тиристорными вентилями;
- фильтро-компенсирующие устройства (ФКУ) – набор фильтров высших гармоник;
- конденсаторные батареи (КБ).

Во время проведения измерений по оборудованию, входящему в состав СТК-1, протекали токи, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Данные о величинах токов, протекающих по СТК-1
в момент проведения измерений

Обозначение оборудования	Величины токов в момент измерения, А
Реактор токоограничивающий сухой РТСТ-10-4000-0,14 УХЛ1	3105 … 3113
Конденсаторная батарея трехфазная КБ-10-75600 УХЛ, включая трансформаторы тока ТОЛ-35, реактор токоограничивающий сухой РТСТГ-10-4000-0,18 УХЛ1	2862 … 2872
Фильтро-компенсирующее устройство ФКУ-5-10-7200 УХЛ1	259 … 262
Реактор компенсирующий однофазный сухой сдвоенный РКОС-17500/11 УХЛ-1	44

Измерения напряженности магнитного поля промышленной частоты в помещении, где размещена система управления статическим тиристорным компенсатором, были выполнены в точках, обозначенных на рис. 2. Полученные в результате измерений значения напряженности магнитного поля промышленной частоты приведены в табл. 3.

Данные табл. 3 показывают, что в точках с 7 по 10, находящихся позади шкафов управления устройствами статического тиристорного компенсатора, наблюдается превышение предельно допустимого уровня напряженности магнитного поля для случая общего воздействия на организм работника, составляющего 80 А/м для 8-ми часовой рабочей смены.

Максимальное зафиксированное значение составляет 270 А/м, что в 3,4 раза выше предельно допустимого уровня 80 А/м. Согласно указанным ранее Правилам [4] напряженность магнитного поля такой величины требует ограничения времени воздействия на работника пятью часами (напряженность магнитного поля 270 А/м соответствует магнитной индукции 337,5 мкТл).

Измерения напряженности магнитного поля на открытой территории проводились вдоль ограды, по периметру площадки, на которой установлено оборудование статического тиристорного компенсатора и под токопроводами из алюминиевых шин (рис. 3а и б).

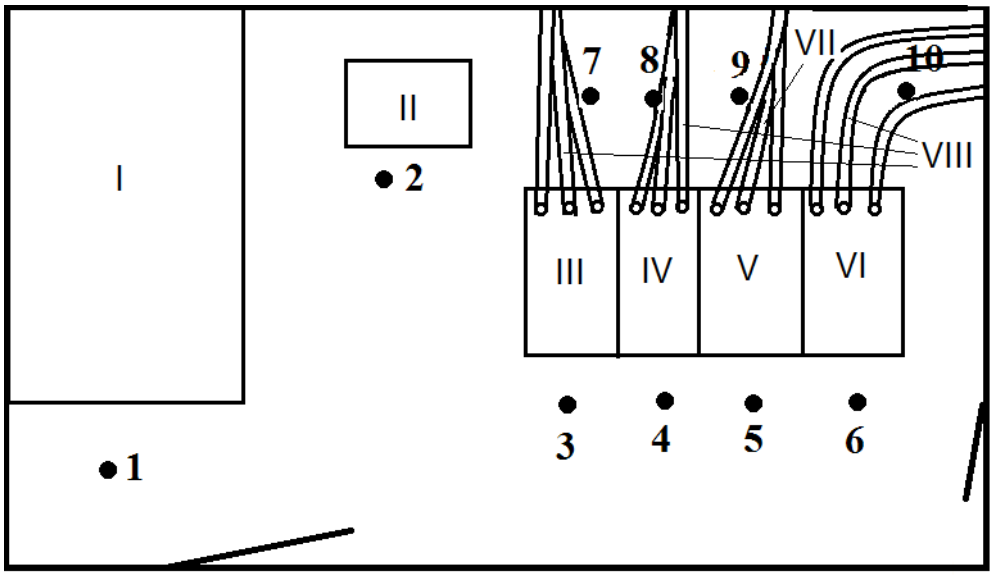


Рис. 2. Схема размещения точек измерения напряженности электрического поля в помещении, где расположена система управления статическим тиристорным компенсатором: I – высоковольтные тиристорные вентили ВТСВ-1600/11; II – насосный агрегат системы охлаждения АВОР; III – шкаф отходящей линии ТРГ; IV – шкаф отходящей линии КБ; V – шкаф отходящей линии; VI – шкаф ввода; VII – пофазно-изолированный алюминиевый токопровод типа SIS, Iн=1250 А; VIII – пофазно-изолированный алюминиевый токопровод типа SIS, Iн= 4000 А

Таблица 3

Результаты измерения напряженности магнитного поля промышленной частоты в помещении 1 этажа блока вспомогательных устройств

№ точки измерения	Напряженность магнитного поля, А/м		
	0,5 м от уровня земли	1,5 м от уровня земли	1,8 м от уровня земли
1	6,83	9,89	11,33
2	11,37	13,74	14,82
3	19,81	26,71	24,74
4	22,42	33,76	35,09
5	14,55	15,21	21,82
6	13,16	10,12	13,59
7	47,09	75,09	83,50
8	110,30	112,40	181,45
9	126,13	209,02	270,03
10	99,20	137,88	216,91

На рис. 3а цифрой I обозначены компенсирующие реакторы наружной установки типа РКОС (реактор компенсирующий сухой (без масла) наружной установки); цифрой II– реакторы РТСТГ, (реакторы сухие токоограничивающие с естественным воздушным охлаждением, горизонталь-

ным конструктивным исполнением), являющиеся катушками индуктивности, предназначеными для последовательного включения в электрические сети с целью ограничения токов короткого замыкания и сохранения уровня напряжения в электроустановках в случае короткого замыкания; цифрой III на рис. 3а обозначены конденсаторные батареи (КБ), предназначенные для компенсации реактивной мощности. На рис. 3б цифрой IV обозначен сухой токоограничивающий реактор РТСТ с воздушным охлаждением, подключенный к отходящей линии. Результаты измерения напряженности магнитного поля представлены в табл. 4.

Согласно данным табл. 4 напряженность магнитного поля промышленной частоты на открытой территории вблизи тиристорного статического компенсатора превышает предельно допустимый уровень 80 А/м в точках 1, 2, 4, 6, 7, 17.

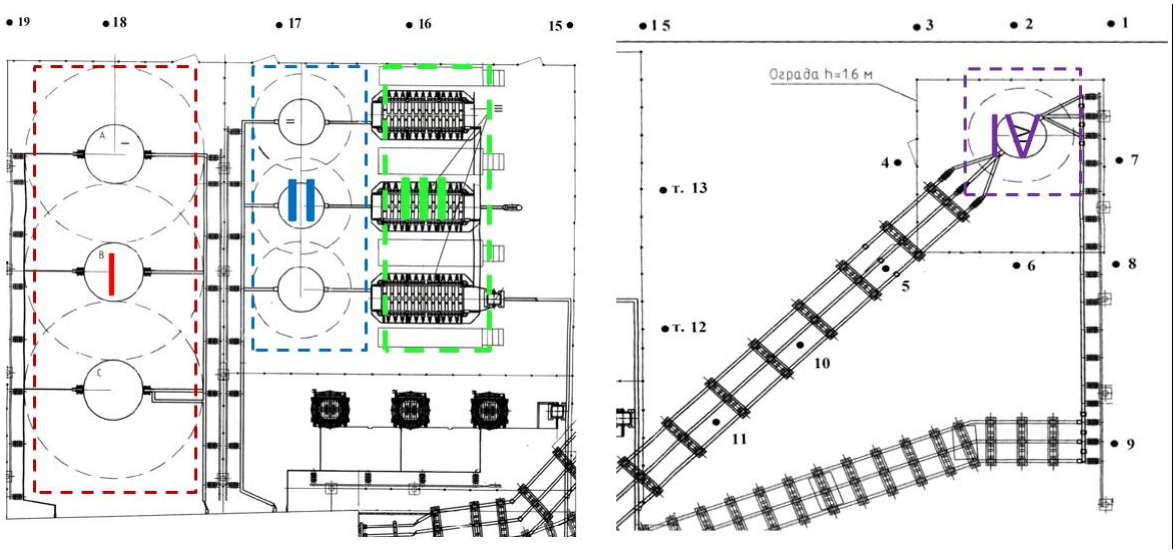
Таблица 4

Результаты измерения напряженности магнитного поля промышленной частоты на открытой территории вблизи оборудования статического тиристорного компенсатора

№ точки измерения	Напряженность магнитного поля, А/м	№ точки измерения	Напряженность магнитного поля, А/м
1	118,73	***10***	49,35
2	154,70	***11***	56,36
3	66,44	***12***	52,34
4	138,52	***13***	22,90
5	78,58	15	10,47
6	148,31	16	14,37
7	156,29	17	127,65
8	75,19	18	10,47
9	32,03	19	14,37

Наибольшая величина напряженности магнитного поля на открытом пространстве составляет 156,3 А/м что почти в 2 раза превышает предельно допустимый уровень и требует ограничения времени воздействия шестью с половиной часами (рис. 1, учитывая, что 156.3 А/м соответствует 195,4 мкТл).

СанПиН 2.2.4.1191-03 устанавливает, что при необходимости пребывания персонала в зонах с различной напряженностью магнитного поля общее время выполнения работ в этих зонах не должно превышать предельно допустимое для зоны с максимальной напряженностью, поэтому, если работник будет выполнять работы как в помещении блока вспомогательных устройств так и на открытой территории вблизи статического тиристорного компенсатора общее время работы не должно превышать 5 часов. Максимально допустимое время должно быть указано в инструкциях по охране труда для соответствующего персонала.



а) б)

Рис. 3. Схема размещения точек измерения напряженности электрического поля на открытом распределительном устройстве, где расположено основное оборудование статического тиристорного компенсатора: а) часть I б) часть II

Таким образом, были сделаны следующие выводы:

1. Результаты измерения напряженности магнитного поля промышленной частоты на открытом распределительном устройстве напряжением 500 кВ показали, что предельно допустимый уровень 80 А/м превышается только возле оборудования статического тиристорного компенсатора.

2. Максимальный уровень напряженности магнитного поля вблизи тиристорного статического компенсатора на открытой территории составляет 156,3А/м, а в помещении блока вспомогательных устройств – 270 А/м. Столь высокие уровни напряженности магнитного поля промышленной частоты требуют ограничения времени контакта с вредным фактором не более чем пятью часами за рабочую смену.

Библиографический список

1. Bernhardt J.H. Assesment of experimentally observed bioeffects in view of their electrically relevance and the exposure at work place. BGA-Shriften, 1986, № 3, pp. 235–238.

2. Bernhardt J.H. at all. Limits for electric and magnetic fields in DIN VDE standartsconsideretion for the range 0 to 10 kHz. SIGRE Session, 1986, pp. 36–10.

3. W T Kaune Introduction to power-frequency electric and magnetic fields Environ Health Perspect. Dec 1993; 101(Suppl 4): 73–81.

4. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях. – М.: Министерства здравоохранения и соцразвития, 2003. – 17 с.

К содержанию

УДК 376.1-053.6 + 343.137.5 + 316.624

ОСОБЕННОСТИ ВОСПИТАНИЯ ПРАВОВОЙ КУЛЬТУРЫ НЕСОВЕРШЕННОЛЕТНИХ ПРАВОНАРУШИТЕЛЕЙ

Д.В. Исаков, Т.И. Колесниченко

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по проблеме воспитания правовой культуры несовершеннолетних правонарушителей в специальных профессиональных училищах закрытого типа. Выявлены и научно обоснованы педагогические условия, принципы, формы и методы эффективного решения обозначенной проблемы.

Ключевые слова: правовая культура, несовершеннолетние правонарушители девиантное поведение, права подростка, специальные профессиональные училища закрытого типа.

Криминологическая ситуация, складывающаяся в современном российском обществе в последние годы, продолжает оставаться достаточно сложной. Качественно новые криминальные процессы провоцируют формирование у людей негативных культурных установок, которые, в свою очередь, оказывают собственное воздействие на преступность, вызывая дальнейшее обострение проблемы, снижают уровень общественной безопасности.

Развивающиеся в российском обществе социокультурные процессы сопровождаются активным проникновением в обыденную культуру криминальной идеологии, что способствует росту его (общества) криминализации, массовому нравственно-духовному обнищанию парода, девальвации ценности права. Особую тревогу вызывает проникновение криминальной идеологии в среду несовершеннолетних. По данным ЦИАУ МВД РФ каждое десятое преступление совершается несовершеннолетними. Поэтому в настоящее время справедливо на первое место выдвинут вопрос о радикальном изменении форм и методов работы с несовершеннолетними правонарушителями. При этом, по мнению большинства исследователей, основное внимание должно уделяться воспитанию у них правовой культуры.

Воспитание правовой культуры у такой специфической категории, как несовершеннолетние правонарушители, представляет собой сложный психолого-педагогический процесс перевода объективных требований права и морали в личные убеждения несовершеннолетнего правонарушителя и на этой основе развития у него способности к саморегуляции своих действий и поступков. Несовершеннолетний правонарушитель должен научиться задумываться над своими поступками, оценивать их, сдерживать в необходимых случаях свои порывы с отрицательной направленностью, противостоять негативным влияниям, проводить различия между шалостями и противоправным поведением.

Процесс воспитания правовой культуры у несовершеннолетних правонарушителей характеризуется рядом психологических особенностей. К ним относятся, прежде всего, индивидуальные и групповые возрастные особенности, наличие противоречия между ограниченным жизненным опытом, не сложившимся еще пониманием социальных последствий своих действий, ограниченным правовым статусом и обычно завышенными правовыми притязаниями.

Исследованиям в области воспитания правовой культуры и законопослушного поведения несовершеннолетних правонарушителей посвящено большое число работ, по результатам которых разработаны соответствующие Программы. Основной направленностью этих Программ является либо профилактика правонарушений путем правового обучения в рамках учебно-воспитательной работы, проводимой в школах, учреждениях НПО и СПО, либо предотвращение повторных правонарушений несовершеннолетних, совершивших тяжкие умышленные преступления (убийства, разбои, изнасилования и др.) и отбывающих наказание в воспитательных колониях. Исследований, посвященных вопросам воспитания правовой культуры и законопослушного поведения несовершеннолетних правонарушителей в специальных учебно-воспитательных учреждениях для детей и подростков с девиантным поведением (далее по тексту спец. ПУ), к настоящему времени нет. Такие учреждения обладают отличительной от перечисленных выше учреждений социообразовательной средой, что требует обязательного ее учета при разработке Программы воспитания правовой культуры и законопослушного поведения. В связи наметившейся тенденцией к повышению доли спец. ПУ в общем объеме учебно-воспитательных учреждений для несовершеннолетних правонарушителей проблема воспитания правовой культуры и законопослушного поведения является актуальной. Приведем их краткую характеристику спец. ПУ.

Спец. ПУ (всего 13) в Российской Федерации имеют статус Федерального государственного бюджетного специального учреждения для детей и подростков с девиантным поведением и подчинены Министерству образования и науки. В эти учреждения помещаются несовершеннолетние в возрасте от одиннадцати до восемнадцати лет, нуждающиеся в «особых условиях воспитания, обучения и требующие специального педагогического подхода (п.2 ст.92 УК РФ)» за совершение преступления средней тяжести или тяжкого преступления и освобожденных судом от наказания.

Основными задачами деятельности спец. ПУ являются: создание необходимых условий для психологической, медицинской и социальной реабилитации воспитанников; создание необходимых условий для удовлетворения потребности личности в получении общего и профессионального образования, интеллектуальном, культурном, физическом и нравственном развитии; формирование у воспитанников гражданской позиции и трудо-

любия, развития ответственности, самостоятельности и творческой активности; сохранение и преумножение нравственных и культурных ценностей общества и др.

Режимные условия содержания воспитанников спец. ПУ значительно «свободнее» чем в воспитательных колониях и полностью соответствуют положениям международной Конвенции о правах ребенка. Это обстоятельство создает возможности для воспитания правовой культуры и законопослушного поведения педагогическими мерами.

В основе процесса воспитания в спец. ПУ лежит личностно-ориентированный подход к воспитанникам. Исходя из этого, под воспитанием понимается создание условий для успешной реабилитации и адаптации воспитанника в обществе, т.е. для реализации им познавательного, ценностного, творческого потенциала. Цель воспитания, согласно Положению о воспитательной работе Калтанского спец. ПУ, ориентирована на «формирование у воспитанника творческого, нравственного отношения к собственной жизни, соотнесения ее с жизнью других людей, развитие самостоятельной личности, способной адаптироваться к изменяющимся условиям жизни в обществе без нарушения законов», что позволяет прийти к заключению о ее практически полной направленности на воспитание правовой культуры и законопослушного поведения. Отдельной Программы для достижения указанной цели нет, поэтому процесс воспитания правовой культуры и законопослушного поведения происходит, так же как и в школах, учреждениях НПО и СПО, в общем контексте учебно-воспитательной работы, что, по мнению, специалистов малоэффективно.

Разработке Программы предшествовали многочисленные теоретические и экспериментальные исследования, проводившиеся на базе спец. ПУ № 1 г. Калтана. По результатам исследований определены педагогические условия, направления воспитательной работы, принципы, формы и методы эффективного воспитания правовой культуры и законопослушного поведения.

При определении комплекса педагогических условий учитывались ведущие идеи системно-деятельностного, аксиологического и личностно-культурологического подходов. Разработанный комплекс педагогических условий должен обеспечить реализацию Программы посредством использования потенциала социообразовательной среды.

К педагогическим условиям успешного формирования правовой культуры воспитанников спец. ПУ следует отнести: актуализацию правовых, социально-этических в процессе учебно-воспитательной деятельности; тесное взаимодействие субъектов социообразовательной среды; построение и педагогическое сопровождение процесса воспитания правовой культуры и законопослушного поведения несовершеннолетних правонарушителей.

Выделены следующие направления воспитательной работы в спец. ПУ. Стартовой точкой воспитательной работы является психолого-педагогическое изучение личности воспитанника. Воспитатель изучает личные дела воспитанников, рекомендации педагогов-психологов и намечает пути коррекции. В дальнейшем он отслеживает динамику их воспитанности, межличностные отношения в отряде, классе, группе по профессиональному обучению, ведет записи в дневнике индивидуального изучения воспитанника, готовит информацию для выпускной характеристики.

Приоритетными направлениями в воспитательном процессе являются: социально-педагогическое; духовно-нравственное; гражданско-патриотическое; физкультурно-оздоровительное; художественно-эстетическое; туристско-краеведческое.

Важнейшим принципом воспитания правовой культуры и законопослушного поведения несовершеннолетних правонарушителей является принцип согласованности правовоспитательной деятельности всех субъектов правового воспитания, к числу которых в рассматриваемом случае относятся: педагоги, мастера производственного обучения, воспитатели, педагоги-психологи, социальные педагоги, педагоги дополнительного образования, социальные партнеры (например, социальными партнерами Калтанского спец. ПУ являются: отдел МВД России по г. Калтану; комиссия по делам несовершеннолетних и защите их прав; уголовно-исполнительная инспекция по месту жительства воспитанников; прокуратура; районный суд; городские медицинские учреждения; городские учреждения культуры и искусства, физической культуры и спорта и др.), медицинские работники и работники службы режима, воспитанники, родители. Следует отметить, что воспитанник является не только объектом, но и субъектом воспитания. Только единая линия и согласованные усилия всех участников правовоспитательного процесса придают правовому воспитанию целенаправленность и действенность. А.С. Макаренко говорил: « Ни один воспитатель не имеет права действовать в одиночку… Там, где воспитатели не соединены в коллектив и коллектив не имеет единого плана работы, единого подхода к ребенку, там не может быть никакого воспитательного процесса» [1].

Дополнительно можно выделить следующие принципы воспитания правовой культуры и законопослушного поведения несовершеннолетних правонарушителей.

1. Принцип целенаправленности, который предполагает подчинение всей правовоспитательной деятельности основной цели – формированию юридически грамотного и социально-активного в правовом отношении человека, а в конечном счете – формирование высоко грамотной, разносторонне развитой личности.

2. Принцип связи правового воспитания с практической деятельностью, требующий широкого ознакомления воспитуемых с жизнью общества,

правовой действительностью и активного привлечения их к участию в жизнедеятельности общества в правовой сфере.

3. Принцип опоры на положительные качества воспитуемых. Действие в соответствии с этим принципом позволяет стимулировать рост самосознания, веру в собственные возможности, увидеть перспективу дальнейшего самосовершенствования и развития.

4. Принцип использования примера других. Ни какие слова не могут дать такого ясного представления о том, как следует себя вести, как поступки, поведение окружающих.

5. Принцип правового воспитания подрастающего поколения в коллективе. Воспитание не может быть ограничено лишь личным влиянием воспитателя на воспитуемого. Представленный сам себе он трудно поддается воспитанию. Лишь в коллективе создаются условия для всестороннего, в том числе правового, развития личности. Здесь формируется у подростка чувство ответственности, коллективизма, товарищеской взаимопомощи. Чем шире и богаче у молодого человека практика общения с коллективом, тем богаче его знания, умения, навыки.

6. Принцип систематичности, последовательности и непрерывности правового воспитания, требующий преемственности в правовоспитательной работе, опоры на уже полученные знания, сформированные убеждения, постепенное усложнение содержания и форм правовоспитательной работы. Правовоспитательная работа должна вестись не эпизодически, а непрерывно, последовательно, изо дня в день.

7. Принцип сочетания воспитательного воздействия с самостоятельностью и инициативой подростка. Правовоспитательная работа предполагает постоянное руководящее воздействие воспитателя на воспитуемого. Но в то же время она не должна сковывать инициативу и самостоятельность воспитуемых.

8. Принцип учета возрастных особенностей и индивидуальных различий воспитуемых. Содержание, формы и методы правовоспитательной работы различны в зависимости от возраста воспитуемых. В процессе правового воспитания должны учитываться не только возрастные особенности, но и индивидуальный уровень развития, темперамент, характер, потребности, склонности. Но учет индивидуальных особенностей – это не приспособление к ним, а активный поиск подходящих форм и методов воспитательного воздействия.

10. Принцип взаимосвязи воспитания и самовоспитания. Воспитание подрастающего поколения немыслимо без самовоспитания, которое определяется, как систематическая и сознательная деятельность, способствующая формированию и совершенствованию положительных и преодоление отрицательных качеств. Формирование и развитие личности приводит к тому, что уже в подростковом возрасте у человека появляются навыки

самоконтроля и самоанализа. Они пытаются разобраться в своих поступках, стремятся быть похожими на взрослых, своих героев, предъявляют к себе все больше и больше требований, то есть у них появляется установка на самовоспитание. Практика показывает, что эффективность право воспитательного процесса значительно возрастает, когда общественное воспитание сочетается с самосовершенствованием личности. Самовоспитание не только подкрепляет, но и дополняет воспитание.

Формирование правовой культуры в учебно-воспитательном процессе включает следующие этапы: целенаправленное формирование правовых знаний; выработка правовых убеждений; формирование этико-правовых установок; воспитание правовых чувств; формирование опыта законопослушного поведения; формирование активной социально-правовой позиции.

Анализ состояния практики формирования правовой культуры позволяет сделать вывод о том, что учреждения подобного типа не в полной мере реализует свои потенциальные возможности. Широ С.В. рассматривает «правосознание как интегративное, устойчивое, личностное образование, которое включает: правовое знание, оценочное отношение к правовым фактам и событиям, правовую установку и выражается в сознательном, добровольном исполнении правовых предписаний» [2]. На наш взгляд, развитие правового сознания и правовой культуры несовершеннолетних будет эффективным, если у наших воспитанников будет сформирован практический интерес к праву. Мы разделяем позицию Г.Я. Гревцевой [3], считаем, что практико-ориентированный характер социально-правовых дисциплин содействует повышению интереса приобретенного опыта правотворческой деятельности в процессе разработки и реализации социальных проектов. Используя полученные практические базовые задания и навыки социальной практики, подростки будут расширять свое правосознание, укреплять правовую культуру. Ролевые и деловые игры, исследовательские проекты, психотехнические игры, работа с юридическими документами и различными источниками правовой информации поддерживают интерес к праву. Изучение каждого раздела сопровождается диагностикой результативности правовой образованности подростка, самостоятельной творческой деятельностью учащихся. Использование активных методов позволяют педагогам, воспитателям подвигнуть подростка к сотрудничеству, общению, поиску истины. Интерактивные методы, подразумевающие активное взаимодействие всех субъектов учебно-воспитательного процесса, позволяют ученикам обогащать собственный социальный опыт, моделировать различные социальные ситуации, доказывать свою точку зрения, аргументировать собственное мнение, развивать навыки проектной деятельности. Под социальным проектированием понимается деятельность: социально значимая, имеющая социальный эффект, результатом которой является создание реального «продукта», имеющего для воспитанника

практическое значение и качественно нового в его личном опыте; задуманная, продуманная и осуществленная учащимся; в ходе которой учащийся вступает в конструктивное взаимодействие с миром, со «взрослой» культурой, с социумом, через которую формируются его социальные навыки [4].

В педагогический арсенал входят инновационные технологии: обучение с использованием конкретных учебных ситуаций, рефлексия как метод самопознания и самооценки, тренинги, технология развития критического мышления и др. Нельзя не согласиться с мнением Е.С. Корольковой, которая считает, что критическое мышление – мышление теоретическое, проблемное, рефлексивное. Д. Клустер, например, выделяет в определении понятия «критическое мышление» пять признаков: критическое мышление - мышление самостоятельное; информация не конечный пункт, а отправной; критическое мышление начинается с постановки вопросов и уяснения проблем, которые нужно решить; критическое мышление стремится к убедительной аргументации; критическое мышление - мышление социальное [5]. В любом случае способность критически мыслить поможет подростку свободно адаптироваться в новой среде. Критически мыслящим человеком практически невозможно манипулировать. Несомненно, критически мыслящий человек находит собственное решение проблемы и подкрепляет сильными аргументами, он способен противостоять даже таким авторитетам, как печатное слово, силе традиции и мнению большинства. Критическое мышление есть социальное мышление. Соглашаясь с мнением И.Г. Агапова, считаем, «чтобы успешно действовать в изменяющемся мире, учащиеся должны просеивать информацию и сами принимать решение о том, что для них важно, а что нет» [6]. Какое отношение критическое мышление имеет к правовому образованию? Критическое мышление в повседневной жизни станет лучшей агитацией в пользу правового образования, которое базируется на единстве правовой и нравственной культуры. «Нравственные качества личности, справедливо утверждает Е.С. Королькова, не только подразумевают критическое мышление, но, по сути своей, свидетельствуют о наличии важных элементов правового сознания» [7].

Воспитание правовой культуры начинается с усвоения нравственных ценностей и норм в семье, в образовательном учреждении, в духовном общении, в том числе и в общении со своими сверстниками, друзьями. Система правового образования должна стать главным звеном в решении задач воспитания правовой культуры несовершеннолетнего правонарушителя.

Библиографический список

1. Макаренко, А.С. Цель воспитания / А.С. Макаренко // Сочинения: в 7 т. – М., 1958. – С. 345–347.

2. Широ, С.В. Формирование у студентов правосознания в обучении гуманитарных дисциплин: автореф. … канд. пед. наук / С.В. Широ. – Волгоград, 2000. – С. 5.

3. Гревцева, Г.Я. Воспитание гражданина и патриота: теория и практика: учебное пособие / Г.Я. Гревцева, М.В. Циулина. – Челябинск: Изд-во «Цицеро», 2014. – 277 с.

4. Курбатов, В.И. Социальное проектирование: учеб. пособие / В.И. Курбатов, О.В. Курбатова. – Ростов н/Д.: Феникс, 2001. – 416 с.

5. Клустер, Д. Что такое критическое мышление / Д. Клустер // Перемена. Международный журнал о развитии критического мышления через чтение и письмо. – 2001. – № 4. – С. 36–40.

6. Агапов, И.Г. Учимся продуктивно мыслить / И.Г. Агапов // Вестник образования. – 2001. – № 2. – 48 с.

7. Королькова, Е.С. Методическое пособие по интерактивным методам преподавания права в школе / Е.С. Королькова. – М.: Изд. дом. «Новый учебник», 2002. – С. 135.

К содержанию

УДК 534.83 + 504.6:628.5

ВЕНТИЛЯЦИЯ ЗАСТОЙНОЙ ЗОНЫ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ

А.В. Хашковский

Рассматривается возможность применения конструкции звукопоглощающего акустического экрана, работающего как в экранном режиме, так и в режиме глушителя. Это обеспечивает вентиляцию застойной, непродуваемой зоны таких экранов и предотвращает образование взрывопожароопасных концентраций топливовоздушных смесей.

Ключевые слова: акустический экран; звукопоглощение; глушение шума; вентиляция; взрывобезопасность.

Акустический экран – плотная искусственная преграда, устанавливаемая на пути распространения звука от автомобильной или железной дороги, строительной площадки, стационарной или передвижной установки к защищаемой от шума жилой застройке. Особенностью этой преграды является то, что она имеет конечные размеры (высоту, длину). Акустический экран (АЭ) блокирует линию прямой видимости между источником шума (ИШ) и защищаемым от шума объектом, создавая акустическую тень.

При использовании таких экранов для снижения шума от автотранспорта возникает необходимость установки экранов не только вдоль полот-

на дороги, но и для ограждения территории автозаправочных станций (АЗС), которые в наше время превращаются в крупные центры, оказывающие не только обычные услуги, но и дополнительные опции. В связи с появлением больших потоков клиентов, появлением новых норм безопасности, необходимо с большей тщательностью выбирать правильное устройство вентиляции, вытяжки и воздухообмена. В данном случае, применение экранов в значительной степени повышает вероятность образования застойных, непроветриваемых зон, что может привести к образованию взрывопожароопасных топливовоздушных смесей.

Решить задачу создания на территории перед экраном и в области акустической тени продуваемой (вентилируемой) зоны при обеспечении эффективного снижения шума в зоне акустической тени можно за счет применения патентуемого АЭ [1], работающего как в экранном режиме так и в режиме глушителя.

Основные конструктивные элементы такого акустического экрана приведены на рисунке (рис.1а, б, в). Экран состоит из корпуса 1, внутри которого размещены двухсторонние звукопоглощающие панели 2 и 3 с закрепленными на них экранирующими накладками 4, осей 5 и валиков 6, расположенных на одной осевой линии, соединяющих шарнирно панели с корпусом, насаженных на валики 6 рычагов 7, сочлененных с помощью шарнира 8 с тягой 9, оборудованной рукояткой 10.

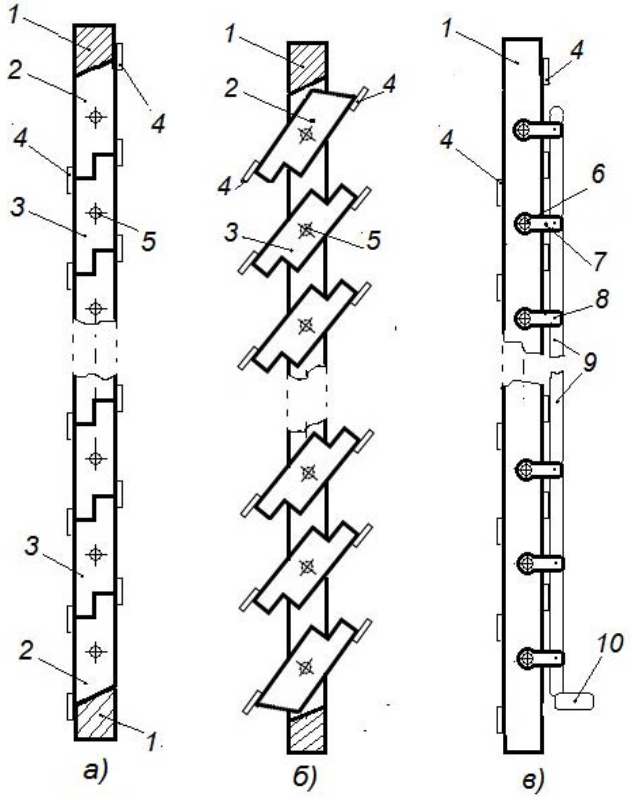


Рис. 1. Акустический экран: а – экранный режим; б – режим глушителя; в – приспособление для поворота панелей экрана

Корпус 1 в виде прямоугольной рамы (рис. 2) и экранирующие накладки 4 могут быть выполнен из любого достаточно прочного материала сталь, базальтополимерный пластик и др.), панели 2 и 3 выполнены многослойными с использованием для каркаса звукоизолирующего материала (сталь, стеклопластик, базальтополимерный пластик и др.) и закрепленных с двух сторон на каркасе звукопоглощающих плит (например, из пенополиэтилена закрытопористой структуры, пенополиуретана), что обеспечивает реализацию и звукоизоляции и звукопоглощения для повышения эффективности работы акустического экрана.

Акустический экран, установленный в вертикальной плоскости между источником шума (автомобиль, транспортный поток) и защищаемой территорией работает в двух режимах: экранный режим и режим глушителя.

В экранном режиме панели 2 и 3 располагаются в плоскости рамы вплотную к раме и друг к другу, как показано на рис.1а. Форма поперечного сечения этих панелей спрофилирована таким образом, чтобы в таком положении они перекрывали друг друга, например, за счет наклонных (между рамой 1 и панелями 2) и ступенчатых (между панелями) поверхностей. Дополнительно роль звукоизоляторов выполняют экранирующие накладки 4, перекрывающие горизонтальные стыки между панелями. В таком режиме акустический экран работает именно как экран. Расчеты его эффективности могут быть проведены по известным методикам [2, 3].

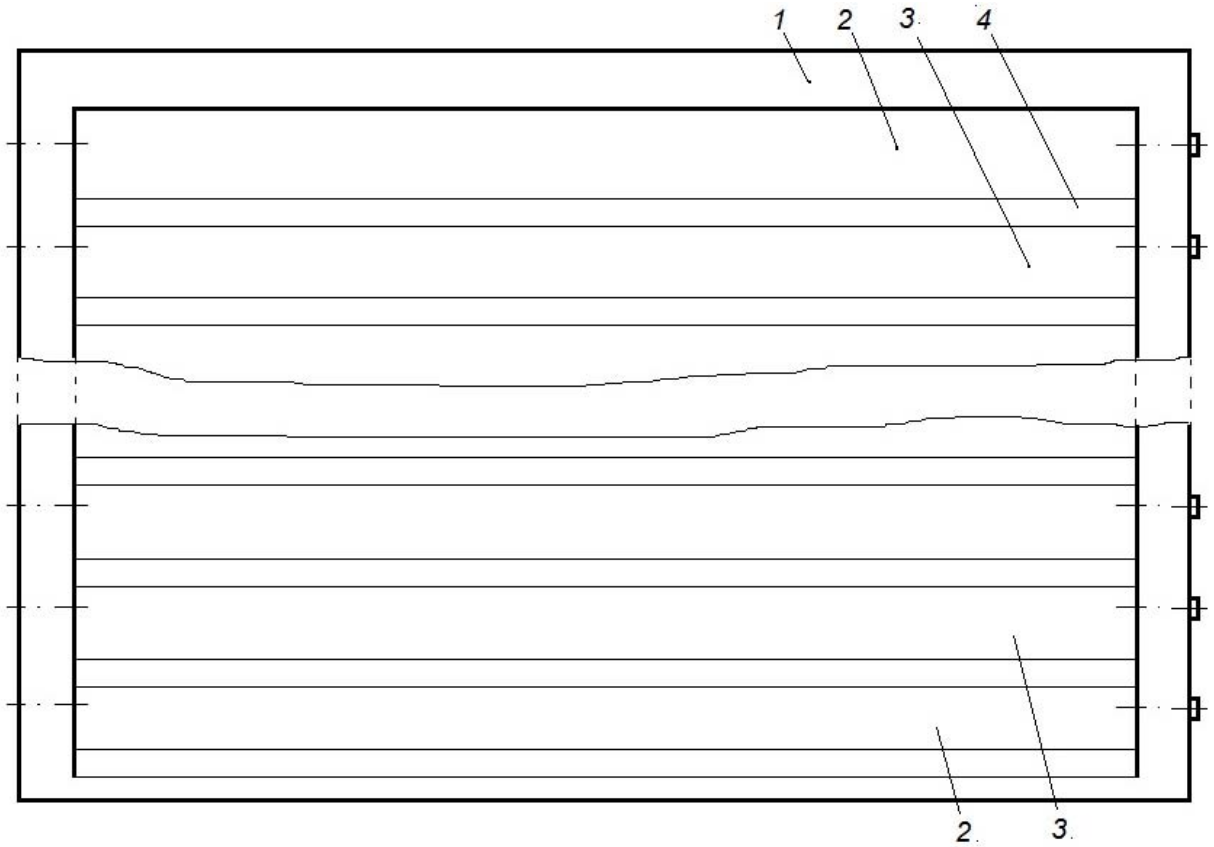


Рис. 2. Акустический экран: 1 – корпус;
2, 3 – звукопоглощающие панели; 4 – накладки

При работе в режиме глушителя панели 2 и 3 располагаются наклонно (рис. 1б) по отношению к горизонту и таким образом, чтобы звукопоглощающие поверхности панелей 2 и 3 обдувались потоками воздуха, следовательно, обеспечивали поглощение энергии звуковых волн. Наклон панелей рекомендуется выбирать в диапазоне от 45 до 90 градусов к горизонту,

чтобы формировать направление распространения прошедшего шума в этом диапазоне углов и ограничить проникновение шума в зону акустической тени. В таком положении панелей акустический экран работает как аэродинамический пластинчатый глушитель с эффективностью подобных конструкций [4]. При этом между горизонтальными стыками панелей 2 и 3 образуются щели, обеспечивающие режим вентиляции прилегающей к экрану дорожной территории или территории АЗС, предотвращающий образование пожаро- и взрывоопасных концентраций испаряющегося топлива.

Для синхронного поворота панелей 2 и 3, акустический экран оборудуется механизмом поворота панелей, например, в виде насаженных на валики 6 рычагов 7, сочлененных с помощью шарнира 8 с тягой 9, оборудованной рукояткой 10. В таком механизме, перемещение рукоятки 10 вниз (рис. 1в) обеспечивает синхронный поворот панелей в нужном направлении.

Эффективность снижения шума, при работе в режиме пластинчатого глушителя снижается, но остается достаточной, чтобы обеспечить допустимые нормы уровней звукового давления на прилегающей территории в области акустической тени и осуществить проветривание территории, решая задачу повышения взрывопожаробезопасности при установке вблизи от автозаправочных станций. Предлагаемый акустический экран может применяться и как составная часть (модуль) обычных шумопоглощающих экранов.

Библиографический список

1. Акустический экран. Заявка на полезную модель. Рег. номер 2015108087. Дата приоритета 06.03.2015 г.

2. Тюрина, Н.В. Расчет эффективности акустических экранов для снижения транспортного шума / Н.В. Тюрина // Сборник трудов научно-технического семинара «Применение акустических экранов при строительстве автомобильных дорог для снижения шума в жилой застройке», Павловск, 17–19 декабря 2002. – С. 55–63.

3. Шашурин, А.Е. Снижение шума акустическими экранами нового типа / А.Е. Шашурин, Н.Г. Семенов Н.Г. // Сборник докладов практического семинара «Новые акустические экраны для защиты от шума транспорта, строительства и промышленных установок», 15 сентября 2011 г. – СПб., 2011. – С. 76–82.

4. Гусев, В.П. Средства снижения воздушного и структурного шума систем вентиляции, кондиционирования и холодоснабжения / В.П. Гусев // АВОК. – 2005. – № 4.

К содержанию

УДК 331.44:004 + 007.51:629:534.83

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА АВТОТРАНСПОРТНЫХ УСТРОЙСТВ

И.П. Палатинская

В статье рассмотрено определение антропометрических характеристик при разработке 3-D модели тела человека-оператора для моделирования воздействия транспортной вибрации.

Ключевые слова: общая транспортная вибрация, антропометрические признаки человека.

Компьютерные технологии быстро развиваются и позволяют создавать компьютерные манекены, моделирующие тело человека, его действия, а также воздействия на него со стороны окружающей среды – машин, оборудования, технологий и т.д. [1].

При создании компьютерных манекенов необходимо руководствоваться требованиями нормативных документов по эргономике, обязывающих учитывать физические характеристики тела человека [1…7], которые должны лежать в основе проектирования сидений, мебели, машин и другого оборудования.

Выбор физических характеристик тела человека, учитываемых в модели тела человека, зависит от целей исследований, которые определяют антропометрическую точность, биомеханические возможности, графическую визуализацию, геометрическую конструкцию, моделирование.

Определим антропометрические параметры тела человека для исследований воздействия общей вибрации на оператора транспортных устройств.

К *антропометрическим характеристикам* относятся структура и форма манекена, учитывающие размеры тела человека в соответствующих позах (например, стоя или сидя), которые разделяются на параметры фиксированные (статические), остающиеся неизменными при моделировании и параметрические, варьируемые в дальнейших расчетах [1, 2, 4, 5].

В общем случае для моделирования реалистичного «каркасного» 3D-манекена человека-оператора, управляемого транспортным устройством необходимо учитывать множество варьируемых антропометрических параметров [1, 4, 5]. На рисунке 1 приведены такие антропометрические характеристики мужчин, необходимые для исследований.

Проанализируем возможность сокращения такого большого количества антропометрических характеристик, рис. 1, при моделировании исследований влияния общей транспортной вибрации на человека-оператора.

По данным Федерального медико-биологического агентства (ФМБА России) в распределении профессиональных заболеваний более половины приходится на виброболезни и пояснично-кресцовую радикулопатию, рис. 2 [8].

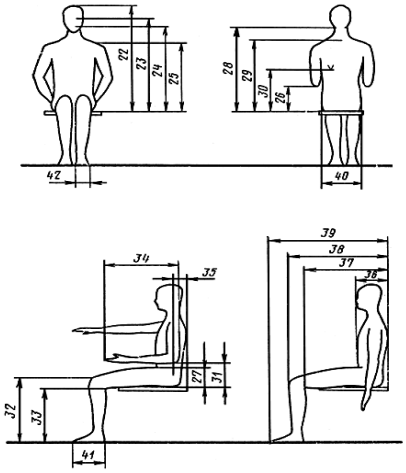


Рис. 1. Схема антропометрических признаков тела человека
в положении сидя [4, 5, 7]

Этим заболеваниям подвержены, прежде всего, механизаторы и водители, т.к. факторами, провоцирующими у них развитие виброболезни и профессиональной хронической пояснично-крестцовой радикулопатии являются: общая транспортная вибрация рабочих мест, превышающая предельно-допустимые уровни. Кроме того, синдром пояснично-крестцовой радикулопатии входит в классификацию вибрационной болезни, утвержденную Минздравом СССР 01 сентября 1982 № 10–11/60 и характеризует наличие выраженных форм вибрационной болезни от воздействия общей транспортной вибрации [9].

Воздействие общей вибрации приводит к прямому микротравмирующему действию на позвоночник вследствие значительных аксиальных нагрузок на межпозвоночные диски, локальных перегрузок в позвоночно-двигательном сегменте, что приводит к дегенерации диска. Возникает деформация тканей позвоночно-двигательного сегмента, раздражение его рецепторов, повреждение тех или иных структур, в зависимости от того, какие структуры вовлекаются в процесс в каждом конкретном случае [9].

Рис.2. Распределение профессиональных заболеваний с 2009 по 2013 гг.
по данным ФМБА России

Следовательно для изучения воздействия общей вибрации с помощью «каркасного» 3D-манекена человека-оператора, управляемого транспортным устройством, необходимо обязательно знать размеры № 22 и № 28, рис. 1, которые учитывают высоту тела человека в рабочей позе – сидя и высоту его головы. На рисунке 3 приведены такие параметрические характеристики тела человека, необходимые для исследований вибрационного воздействия на человека-оператора автотранспортных устройств.

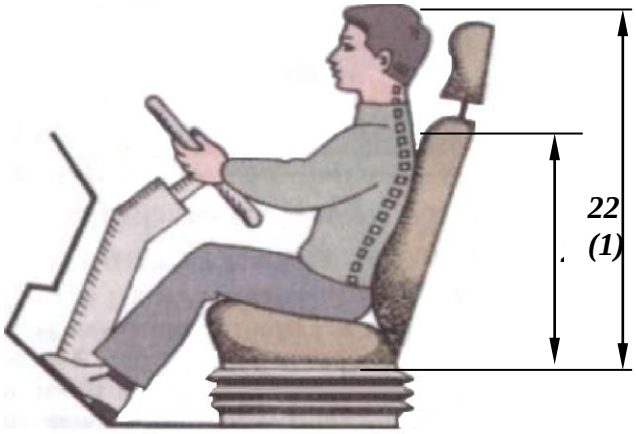


Рис. 3. Рабочая поза человека-оператора
автотранспортных устройств

При выборе среднестатистических антропометрических данных руководствуемся требованиями нормативных документов по эргономике [1…7]. Однако трудность выбора заключается в разных типовых размерах для европейского и российского населения. Так, ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ [6] ориентирован на российское население, а ГОСТ Р ИСО 15537-2009 [7] – на телосложения европейцев, таблицы 1…3. Перцентели определялись в соответствие с ГОСТ 20304 –90 (СТ СЭВ 4016 – 83) для взрослого мужчины в положении сидя.

Сравнивая антропометрические данные по ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ и ГОСТ Р ИСО 15537-2009 видим, что вариаций размеров больше по ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ, по которому выбор размеров определяется для каждой группы населения А, Б, В в зависимости от разных типов телосложения и разных значений перцентилей [10]. Однако в нем отсутствуют данные по голове человека для разных типо-размеров. Кроме того, сравнивая антропометрические характеристики для европейского и российского населения, видим существенные отличия.

Таблица 1

Фиксированные и параметрические антропометрические характеристики по ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ [6]

Наименование признака	Группа населения*	Значение признака, см, соответствующее перцентилям				
		1	5	50	95	99
		Хрупкое телосложение			Крупное телосложение	
22. Высота верхушечной точки над сиденьем – вертикальное расстояние от сиденья до верхушечной точки	А Б В	82,19 84,02 85,39	84,06 85,92 87,31	88,59 90,49 91,94	93,13 95,06 96,58	95,01 98,96 98,48
28. Высота первого шейного позвонка над сиденьем – вертикальное расстояние от сиденья до верхнего края ямки, находящейся выше остистого отростка второго шейного позвонка	А Б В	67,24 66,18 69,38	69,19 68,25 71,49	73,91 73,23 76,36	78,63 78,21 81,23	80,59 80,28 83,33
* – где А – население с малыми значениями продольных признаков; Б – население со средними значениями продольных признаков; В – население с большими значениями продольных признаков.						

Таблица 2

Фиксированные и параметрические антропометрические характеристики по ГОСТ Р ИСО 15537-2009 [7]

Измерение тела человека	Хрупкое телосложение		Крупное телосложение		
	Значение признака, мм, соответствующее перцентилям				
	P5	P50	P95/P5	P50	P95
Рост (высота человека)	1390	1520	1650	1780	1910
1. Высота в положении сидя (прямо)	740	800	870	935	1000
Окружность головы	475	505	540	570	600
Глубина головы	160	175	185	195	205
Ширина головы	120	135	145	160	170

Таблица 3

Рост человека по ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ [6]

Наименование признака	Группа населения	Значение признака, см, соответствующее перцентилям				
		1	5	50	95	99
Рост (высота человека)	А	155,70	159,32	167,69	176,06	179,69
	Б	157,73	161,40	172,29	183,18	186,85
	В	163,25	167,21	176,79	186,35	190,31

Итак, создание «каркасной» 3D–модели тела человека-оператора при воздействии общей вибрации от автотранспортных устройств, требует обязательного учета фиксированной рабочей позы – сидя и меняющихся антропометрических характеристик тела человека, а именно – 22, 28, 1 и размеры головы. Проведенный анализ выявил существенные различия телосложений человека-оператора для групп А, Б, В и для типов телосложений. При проведении моделирований вибрационного воздействия эти параметрические характеристики необходимо варьировать с целью выявления особенностей вибронагруженности тела человека.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 15536-2-2010. Эргономика. Компьютерные манекены и модели тела. Часть 1. Общие требования. Дата введения 2011-12-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 26 с.

2. ГОСТ Р ИСО 15536-2-2010. Эргономика. Компьютерные манекены и модели тела. Часть 2.Верификация функций и валидация размеров компьютерного манекена для систем моделирования. Дата введения 2011-12-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 21 с.

3. ГОСТ Р ЕН 547-3-2009. Безопасность машин. Размеры тела человека. Часть 3. Антропометрические данные. Дата введения 2011-12-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 10 с.

4. ГОСТ Р ЕН 614-1-2003 Безопасность оборудования. Эргономические принципы конструирования. Часть 1. Термины, определения и общие принципы. Дата введения 2005-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 18 с.

5. ГОСТ Р ИСО 7250-2007 Базовые измерения человеческого тела в технологическом проектировании. Дата введения 2008-06-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2007. – 34 с.

6. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. Дата введения 1982-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 25 с.

7. ГОСТ Р ИСО 15537-2009. Эргономика. Принципы отбора испытателей для проверки антропометрических свойств промышленной продукции и конструкций. Дата введения 2010-12-01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 21 с.

8. URL: http://fmbaros.ru/activities/activities/.

9. Мухин, Н.А. Профессиональные болезни / Н.А. Мухин, В.В. Косарев, С.А. Бабанов, В.В. Фомин. – М.: Гэотар-медиа. 2013. – 496 с.

10. ГОСТ 20304 –90 (СТ СЭВ 4016 – 83). Манекены посадочные трехмерные и двумерные. Конструкция, основные параметры и размеры. Дата введения 1992-01-07. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 15 с.

К содержанию

УДК 378.026.1
ББК Ч448.027.8

ИННОВАЦИОННЫЕ ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

М.А. Волкова

Представлен обзор статей, отражающих передовой педагогический опыт по использованию инновационных форм организации научно-исследовательской работы студентов. Охарактеризовано проходящее в рамках Всероссийского фестиваля науки мероприятие «Дни студенческой науки», направленное на содействие развитию научного творчества студентов, студенческого самоуправления при организации участия студентов в научно-исследовательской деятельности. Данное организационно-массовое мероприятие рассмотрено как система, включающая целевой, содержательный, процессуальный и корректировочный компоненты. Детально охарактеризован содержательный компонент системы.

Ключевые слова: научно-исследовательская работа студентов, стимулирование, инновационные формы, организационно-массовые мероприятия, организация высшего образования.

Актуальность совершенствования организации научно-исследовательской работы студентов (НИРС) не вызывает сомнений. Одна из задач современного высшего образования – повышение «качества подготовки обучающихся по образовательным программам высшего образования, привлечение обучающихся к проведению научных исследований под руководством научных работников, использование новых знаний и достижений науки и техники в образовательной деятельности» [5, ст. 72]. В ходе образовательно-научного процесса в организациях высшего образования у студента должны быть сформированы исследовательские компетенции. Разные уровни компетенции исследовательской деятельности («знает», «умеет», «способен и готов», «владеет») представлены в федеральных государственных образовательных стандартах подготовки практически всех направлений бакалавриата, специалитета, магистратуры.

На уровне овладения исследовательскими компетенциями студент, имеющий соответствующие интересы и способности, осуществляет уже не только учебно-исследовательскую, но и научно-исследовательскую деятельность, используя имеющуюся в образовательной организации систему материально-технического, информационного, организационного обеспечения НИРС.

Существует значительное количество работ, посвященных сравнительному анализу содержания терминов «учебно-исследовательская работа студентов» и «научно-исследовательская работа студентов». Вслед за автором, который осуществил системный анализ психолого-педагогической литературы по данной проблеме, считаем, что существенным различием между научно-исследовательской и учебно-исследовательской работой является степень самостоятельности выполнения исследовательского задания студентом и новизна результата [4].

Какова же вовлеченность студентов в систему НИРС? Сошлемся на результаты межрегионального социологического исследования «Научно-исследовательская деятельность студентов вузов: мотивация, формы, результаты» (2010–2011 гг.), проведенного в восьми вузах Ульяновской и Нижегородской областей, республиках Татарстан и Башкортостан (по два вуза в каждом регионе). Общий объем квотно-целевой выборки составил 980 человек. Как показывают результаты данного исследования, в разных формах НИРС и научно-технического творчества молодежи (НТТМ) заняты около половины студентов (45 %). Результаты данного исследования позволили выявить следующий уровень потенциальной готовности студентов к научному творчеству: «весьма способные и мотивированные» составляют 30–35 %; «способные, но немотивированные» – 55–60 %; «неспособные и немотивированные» – около 10 %. То есть, более половины имеющих соответствующие способности студентов нуждаются в стимулировании и формировании положительной мотивации для осуществления научных исследований [8].

Содействует вовлечению студентов в НИРС система мероприятий, сочетающая традиционные и инновационные формы организации научно-исследовательской работы студентов.

Существует значительное число публикаций, посвященных проблеме организации научно-исследовательской работы студентов в организациях высшего образования.

В ряде статей представлен анализ опыта и результаты функционирования традиционных форм приобщения студентов к научно-исследовательской работе: работа в научных кружках, проблемных группах, лабораториях; участие в факультетских тематических конференциях, в общеинститутских научных конференциях, во всероссийских конкурсах на лучшую работу, в олимпиадах; участие в экспедициях; в работе дискуссионных клубов и круглых столов.

Значительное число статей содержат обобщение опыта участия студентов различных организаций высшего образования в новых инновационных формах научной работы на Всероссийских форумах, например, «Селигер и «Интерра» [6]; опыта организации и развития научно-исследовательской работы учащихся и студентов, научно-технического инновационного творчества молодежи для создания благоприятных предпосылок выявления, поддержки и продвижения по научно-образовательной траектории «бакалавр – магистр – кандидат наук – доктор наук» талантливых и перспективных молодых исследователей в условиях становления национально-исследовательского университета [1]; опыт работы инновационных структур, обеспечивающих вовлечение студентов в инженерную, конструкторскую, изобретательскую, инновационную деятельность, повышение интереса к научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности; коммерциализации инновационных разработок [2].

Представлена характеристика организационно-педагогических условий организации НИРС, среди которых создание конкурентоспособной и мотивационной среды, прежде всего среди студентов и молодых ученых и формирование молодежных творческих команд для выполнения инновационных проектов и профессионального роста каждого члена команды [3].

В работе, посвященной анализу теории и практики организации НИРС в отечественной дидактике высшей школы в 70–80 гг. прошлого века, представлены основные принципы системы НИРС, одним из которых является опора на студенческую инициативу и активность [7].

Именно осмысление данного педагогического опыта, отраженного в представленных выше статьях, а также опыта, не оформленного в виде результатов научного анализа, но представленного в форме отчетов о мероприятиях системы НИРС различных организаций профессионального образования на сайтах данных организаций позволил разработать и реализовать на практике использование такой инновационной формы стимулирования участия студентов в НИРС, как «Дни студенческой науки в Южно-Уральском государственном университете».

В 70-80 гг. XX века благодаря «Положению о научно-исследовательской работе студентов» в педагогических исследованиях и практике утвердилась следующая классификация НИРС.

1. НИРС, включенная в учебный процесс, т.е. проводимая в учебное время в соответствии с учебными планами (учебно-исследовательская работа студентов).

2. НИРС, выполняемая во внеучебное время (внеучебная научная работа).

3. Организационно-массовые мероприятия.

Научные, научно-технические организационно-массовые мероприятия, в том числе состязательного характера, стимулируют развитие НИРС и приобщение студентов к творчеству. К ним относят студенческие научные

конференции, семинары, студенческие олимпиады, конкурсы и т.п., одновременно определяющие результативность и эффективность собственно научного труда студентов (публикации, авторство в научных отчетах, авторские свидетельства, патенты, реализуемые на практике разработки, награды на состязательных мероприятиях и т.д.) [7].

Дни студенческой науки, проводящиеся в Южно-Уральском государственном университете в рамках Всероссийского фестиваля науки, относятся к третьему типу мероприятий НИРС. В мероприятии принимают участие студенты – будущие бакалавры, специалисты, магистры разных курсов различных факультетов и институтов ЮУрГУ (более 140 человек).

Мероприятие «Дни студенческой науки» может быть рассмотрено как система, включающая целевой, содержательный, процессуальный и корректировочный компоненты и являющаяся подсистемой метасистемы НИРС университета.

На цели проведения данного мероприятия оказывают влияние как внешние факторы (общая экономическая и политическая ситуация в мире, в стране), так и внутренние (особенности организационного и материально-технического обеспечения организации НИРС). Так, в 2014 году при проведении «Дней студенческой науки» основной акцент был сделан на содействие развитию у студентов компетенций коммерциализации результатов научно-исследовательской работы. Это определило и отбор содержания Дней, и формы работы – значительное количество мастер-классов от предпринимателей, проведение деловой игры по соответствующей тематике. В 2015 году содействие формированию данных компетенций рассматривалось лишь как одна из задач.

Целью «Дней студенческой науки-215» в Южно-Уральском государственном университете являлось содействие развитию студенческого самоуправления при организации участия студентов в научно-исследовательской деятельности. Конкретизацией данной цели стало решение следующих задач: организация знакомства студентов с системой НИРС, существующей в университете; создание площадки для обмена опытом участия в НИРС, в том числе опыта участия в коммерциализации результатов научных исследований; создание условий для разработки проектов по совершенствованию элементов НИРС.

Цели и задачи мероприятия определили отбор его содержания. На основе анализа представленных выше работ была разработана программа Дней студенческой науки, которая содержательно включала следующие элементы.

1. Характеристика УИРС как базы для осуществления НИРС. Характеристика НИРС как системы. Традиционные и инновационные формы организации НИРС на кафедре, на факультете, в университете. Индивидуальные и организационно-массовые формы организации НИРС на институциональном, региональном, федеральном и международном уровнях.

2. Характеристика научных школ и основных направлений научных исследований, осуществляемых в Южно-Уральском государственном университете. Приоритетные направления развития: цели, задачи и достигнутые результаты (ПНР-1 – Энергосбережение в социальной сфере; ПНР-2 – Рациональное использование ресурсов и энергии в металлургии; ПНР-3 – Энерго-и ресурсоэффективные технологии в дизелестроении для бронетанковой техники и инженерных машин; ПНР-4 – Ресурсоэффективные технологии создания и эксплуатации комплексов морских баллистических ракет; ПНР-5 –Суперкомпьютерные и грид-технологии для решения проблем энерго- и ресурсосбережения).

3. Характеристика материально-технического обеспечения исследований, осуществляемых в Южно-Уральском государственном университете, в том числе по приоритетным направлениям развития. Лаборатория компьютерного моделирования (разработка теоретических и практических основ построения качественно новых высоко-масштабируемых методов и алгоритмов для интеллектуального анализа данных на суперЭВМ транспетафлопного уровня производительности; решение задач суперкомпьютерного моделирования для повышения энерго- и ресурсоэффективности высокотехнологичных отраслей экономики и социальной сферы; разработка технологий сквозного проектирования с использованием суперкомпьютерных и распределенных вычислительных систем для создания инновационных энерго-и ресурсосберегающих промышленных технологий с использованием суперкомпьютера «СКИФ-Аврора ЮУрГУ»). Научно-образовательный центр «Машиностроение», оснащенный обрабатывающими центрами фирмы MORI SEIKI (Япония), координатно-измерительной машиной КИМ-1000 (фирма «Лапик»), электроэрозионным станком фирмы Sodick (Япония) и большим парком универсального оборудования. Научно-образовательный центр «Нанотехнологии». Проекты центра: создание композитных наноматериалов; выращивание монокристаллического нитрида галлия; разработка золь-гель технологии легирования высокочистого кварцевого стекла; разработка технологии производства стеклоуглеродных наноматериалов для топливных ячеек, разработка новых адсорбционных наноматериалов и др.

4. Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ) как методология и технология инновационной деятельности.

5. Пути коммерциализации результатов научных исследований. Виды проектов: инновационные идеи – проекты, находящиеся на ранних стадиях разработки, не имеющие опытного образца; инновационные проекты – проекты, имеющие опытный образец продукции и бизнес-план; инновационные технологии – реализованные проекты, результатом которых стала новая продукция. Примеры проектов, результатом которых стал выход на рынок нового товара (технологии, услуги), имеющего спрос у потребите-

лей. Критерии оценки проектов. Этапы продвижения научно-технической разработки на рынок: комплексная экспертиза (аудит); правовую охрана созданной интеллектуальной собственности; технико-экономическое обоснование разработки; оценка стоимости интеллектуальной собственности; маркетинговые исследования; вывод научно-технической разработки на инновационные ярмарки, выставки, салоны, поиск инвесторов для организации производства новой продукции; стандартизацию и сертификацию новой продукции; организацию производства наукоемкой продукции и ее продвижение на рынок Охраны интеллектуальной собственности как основа коммерциализации результатов научно-технической деятельности. Грантовая поддержка результатов научных исследований.

6. Стипендиальное обеспечение как элемент стимулирования студентов, участвующих в системе НИРС. Виды стипендий, критерии отбора претендентов на получение повышенной стипендии.

Процессуальный компонент мероприятия включал в себя следующие формы организации работы участников «Дней»:

– экскурсии в научно-образовательные центы «Нанотехнологий», «Машиностроение», лабораторию компьютерного моделирования и др.;

– мастер-классы: по теории решения изобретательских задач; основам охраны интеллектуальной собственности; участию в программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК»);

– интеллектуальный марафон на тему «Научные открытия и изобретения», в ходе которого в игровой форме команды демонстрировали умения оперативно находить и обрабатывать информацию, а также использовать полученные (в том числе при освоении основ ТРИЗ) знания для создания конструкции из предложенного материала по заданным параметрам;

– мини-лекции теоретического блока: «Система НИРС (общая характеристика»); «Научные школы и основные направления научных исследований»; Школа молодого инноватора (общая характеристика);

– деловую командную игру на тему «Совершенствование организационно-массовых мероприятий системы НИРС».

Корректировочный компонент системы предполагал постоянную обратную связь с отдельными участниками и командами в целом. Организационной особенностью проведения «Дней» являлось наличие у групп студентов-кураторов, взаимодействующих и с командами, и с представителями оргкомитета мероприятия. Прошедшие соответствующий инструктаж и тренинг, студенты-кураторы в игровой форме организовали знакомство членов команд – представителей различных факультетов и институтов Южно-Уральского государственного университета; предоставили возможность каждому из членов команды рассказать о своем опыте участия в НИРС, своих достижениях и планах при осуществлении научно-исследовательской деятельности; организовывали консультационную помощь

командам, обращаясь к соответствующим экспертам, оказывали эмоциональную поддержку членам команды, работающим в жестком режиме: три дня по 7 часов. Неформальное взаимодействие участников команд, кураторов и представителей оргкомитета осуществлялось как очно, так и дистанционно – через созданные кураторами каждой группы диалоги в социальной сети «Вконтакте».

Представляется, что использование в системе НИРС организации высшего образования такой инновационной формы, как «Дни студенческой науки» стимулируют приобщение студентов к участию в научно-исследовательской работе и научно-техническому творчеству.

Библиографический список

1. Власов, В.А. Организация и развитие молодежной науки в политехническом университете / В.А. Власов, Л.М. Зольникова, Б.Б. Мойзес, А.А. Степанов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 277 с.

2. Дербенева, О.Ю. Концепция «инновационного конвейера» в системе инновационного развития / О.Ю. Дербенева // Непрерывное образование: XXI век. – 2013. – № 4. – С. 98–110.

3. Ковтун, О.П. Организация научно-образовательной деятельности в Уральской государственной медицинской академии / О.П., Ковтун Е.И. Глебова // Системная интеграция в здравоохранении. – 2010. – № 3.– С. 54–60.

4. Нужнова, С.В. Научно-исследовательская работа студентов как необходимое условие подготовки к профессиональной мобильности / С.В. Нужнова // Сибирский педагогический журнал. – 2012. – № 8. – С. 33–37.

5. «Об образовании в Российской Федерации» Федеральный закон. – URL: http://www.rg.ru/2012/12/30/obrazovanie-dok.html.

6. Петрушина, А.В. Молодежные инновационные форумы студентов как форма НИРС для подготовки специалистов / А.В. Петрушина // Вестник КемГУ. – 2009. – № 4. – С. 102–106.

7. Цыганкова, А.С. К вопросу о теории и практике научно-исследовательской работы студентов в отечественной дидактике высшей школы (70–80-е годы XX века) / А.С. Цыганкова // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2007. – № 7. – С. 128–132.

8. Шиняева, О.В. Роль научной деятельности студентов в повышении функциональности российского высшего образования / О.В Шиняева., Д.Х. Акманаева // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки. – 2011. – № 4. – С. 60–71.

К содержанию

ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ, ТОРГОВЛИ И ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 628.16.067(470.55)

ПРОИЗВОДСТВО БУТИЛИРОВАННОЙ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ НА ОСНОВЕ СКВАЖИН В ПОСЕЛКЕ «ЗАЛЕСЬЕ» СОСНОВСКОГО РАЙОНА ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

А.С. Соболевский

В статье обосновывается возможность бурения скважины в поселке «Залесье» на основе анализа ресурсов и химического состава.

Ключевые слова: подземные воды, добыча, фильтрация.

Рассмотрим гидрогеологические условия, характерные для Сосновского района.

Подземные воды приурочены практически ко всем стратиграфолитологическим комплексам пород осадочного, метаморфического и вулканогенного генезиса, начиная от палеозоя, кончая четвертичными отложениями. Преимущественным развитием пользуются трещинные и трещиннокарстовые, в основном, безнапорные воды, связанные с породами палеозоя.

Водообильность пород весьма разнообразная, но в целом по территории района невысокая.

Дебиты скважин, чаще всего, колеблются в пределах 0,5–3,0 л/сек и только карбонатные породы (закарстованные известняки) отличаются довольно значительной водообильностью.

Кроме того, водообильными являются зоны тектонических контактов, разломов.

По химическому составу воды, в основном, гидрокарбонатные со смешанным составом катионов.

Практическое значение для целей централизованного водоснабжения представляют на востоке водоносный комплекс карбонатных отложений палеозоя, а на остальной территории – подземные воды интрузивных массивов. Последние представляют интерес только на ограниченных участках (на контактах, разломах).

В целом эксплуатационные ресурсы подземных вод района небольшие.

Модуль эксплуатационных запасов колеблется от 0,05 до 0,5 л/сек с одного квадратного км, и только на отдельных площадях он характеризуется величиной 1,1 и более л/сек с одного квадратного км (районы распространения известняков).

Таким образом, подземные воды не могут полностью удовлетворить населенные пункты водой хозпитьевого назначения, в связи с чем основная часть водообеспечения планируется за счет поверхностных вод.

Однако, водоснабжение отдельных пунктов, со сравнительно небольшим водопотреблением, можно вполне базировать за счет подземных вод.

Таким образом, что подтверждается пробным бурением скважин в районе «Заречный», можно рассчитывать на производительность скважины 1000 л/час при глубине скважин до 100 м.

По химическому составу воды, в основном, гидрокарбонатные со смешанным составом катионов.

Гидрокарбонаты – кислые соли угольной кислоты H2CO3 (содержат анион HCO3-). В противоположность большинству карбонатов все гидрокарбонаты в воде растворимы. Гидрокарбонат кальция Ca (HCO3)2 обусловливает временную жесткость воды. В организме гидрокарбонаты выполняют важную физиологическую роль, являясь буферными веществами, регулирующими постоянство реакции крови. Нормативы рекомендуют концентрацию гидрокарбонатов в питьевой воде в диапазоне 30–400 мг/дм3.

Добытая из скважины вода требует фильтрации, чтобы удовлетворять требованиям к питьевой воде. Рассмотрим виды фильтров.

1. Фильтрация – очистка воды от механических примесей, таких как песок, частицы ржавчины и т.д. Осуществляется путем фильтрования воды через пористые или волокнистые материалы с различным эффективным диаметром пор (от 100 до 0,045 мкм). Степень очистки воды и производительность фильтра зависит, естественно от соотношения между размерами загрязняющих частиц и диаметром пор. Следует также иметь в виду, что фильтры с диаметром пор от 0,45 мкм и менее обеспечивают и надежное обеззараживание воды путем задерживания бактериальных частиц.

2. Сорбция – удаление нежелательных химических веществ (в основном органических, некоторых тяжелых металлов), чем достигается улучшение вкуса, устранение запаха путем связывания таких веществ за счет сил межмолекулярного взаимодействия. Наиболее часто в качестве сорбента используется активированный уголь различного происхождения или некоторые другие природные материалы. Эффективность сорбции зависит от величины поверхности взаимодействия. Во избежание «обрастания» микроорганизмами иногда используют нанесение на угольные частицы ионов серебра, йода и др. обеззараживающих реагентов. Устройства, действующие по принципу сорбции, характеризуются понятием «емкость» – определенным количеством тех или иных загрязнителей, которые могут быть поглощены данным количеством сорбента. После превышения этого ресурса уменьшается эффективность работы устройства и не исключено даже загрязнение воды веществами, ранее поглощенными сорбентом.

3. Ионный обмен – замена одних (нежелательных) ионов другими (нейтральными), например, кальция и магния – на натрий в случае умягчения воды. Ионный обмен часто используется для удаления определенных загрязняющих компонентов, таких как тяжелые металлы, фториды и др.,

а также и для введения в воду некоторых веществ в необходимых случаях (фтор, йод). Устройства, работающие по этому принципу, требуют периодической регенерации, и, соответственно, расхода определенных реагентов. Необходимо уточнить у представителя фирмы-производителя или поставщика возможность приобретения этих реагентов, а также режим регенерации, возможность автоматизации этого процесса.

4. Обратный осмос – очистка воды за счет фильтрования через полупроницаемые мембраны с молекулярным размером пор (от 10 до 500 нм). Такое фильтрование обычно требует повышенного давления воды, которое создается специальным насосами, обеспечивает, в зависимости от диаметра пор, частичное или практически полное устранение любых примесей, в том числе и минеральных компонентов. Часто такие устройства используются для опреснения воды. Обратноосмотические устройства большой производительности довольно дороги, поэтому их часто используют в системах водоснабжения для окончательной очистки только воды, которая используется для питья.

5. Для обеззараживания воды используют ультрафиолетовое облучение, обработку воды озоном, соединениями активного хлора, ионами серебра или йода. Как правило, после обеззараживания тем или иным способом необходима дополнительная обработка воды пропусканием через фильтр, содержащий активированный уголь для удаления продуктов распада микроорганизмов и ионов, используемых для обеззараживания.

Поселок «Залесье» имеет площадь около 10 квадратных километров. Рекомендуется иметь одну скважину на один квадратный километр. Можем пробурить около 10 скважин на территории поселка.

Комплекс технологического оборудования для обработки природных минеральных вод, добываемых из скважины, состоит из сборника воды, установленного в помещении над скважиной. Насосом минеральную воду перекачивают в сборник-мерник. Для удаления взвешенных частиц и частичного обеспложивания минеральную воду фильтруют на керамических свечных фильтрах либо фильтрах-прессах. Осветленная минеральная вода охлаждается до температуры 4–10 градусов Цельсия в теплообменнике и поступает в сатуратор для насыщения диоксидом углерода (если это необходимо). После этого минеральная вода подается в бактерицидную установку, в которой подвергается воздействию ультрафиолетовых лучей. Из сборника обеззараженная вода подается на фасование. Иногда в качестве обеззараживания минеральной воды в условиях малого производства используют реагентные способы – серебрение и хлорирование.

Таким образом, в поселке «Заречный» возможна организация производства бутилированной питьевой или минеральной воды из скважины с производительностью до 1000 литров в час. Вода отличается большим содержанием гидрокарбонатов, что требует применения ионообменных фильтров.

Библиографический список

1. Схема муниципального планирования (корректировка) Сосновского района Челябинской области / Челябинскгражданпроект. – Челябинск, 2014.

К содержанию

УДК 637.146.4

ПРИМЕНЕНИЕ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

А.А. Лукин

Молочная сыворотка – жидкость, которая остается после сворачивания и процеживания молока. Молочная сыворотка является побочным продуктом при производстве сыра или казеина и имеет некоторые коммерческие применения в технологи продуктов питания.

Ключевые слова: молочная сыворотка, пищевая ценность, биологическая ценность, белки, лактоза.

Молочная сыворотка представляет собой зеленовато-желтую жидкость с кисловатым вкусом. Сыворотку иногда называют молочным серумом. При переработке молока образуется сыворотка, являющаяся побочным продуктом производства. С точки зрения физиологии питания сыворотка – ценнейший пищевой продукт. В ней содержится около половины питательных веществ молока – растворимые белки, составляющие около 20 % молочных белков, молочный сахар, минеральные соли, растворимые в воде витамины.

Сладкая сыворотка получается при производстве твердых сыров, например, чеддера или швейцарского сыра.

Кислая сыворотка получается при производстве кислых сыров, например, прессованного творога.

В мире насчитывается более 15000 видов молочной сыворотки. На практике применяется обычно два вида – сладкая и кислая. Они являются побочными продуктами сыроделия (сладкая сыворотка) и производства творога и казеина (кислая сыворотка).

В среднем в молочную сыворотку переходит около половины сухих веществ молока. Состав молочной сыворотки колеблется в значительных пределах и зависит для подсырной – от вида вырабатываемого сыра и его жирности; творожной – от способа производства творога и его жирности; казеиновой – от вида вырабатываемого казеина.

Распределение основных компонентов молока-сырья в процессе получения сыра показано в таблице 1.

Таблица 1

Распределение компонентов молока в процессе производства сыра, %

Компоненты	Сыр	Молочная сыворотка	Потери
Сухие вещества	48,5	48,5	3,0
Белки	76,0	22,0	2,0
Жир	86,0	10,0	4,0
Лактоза	5,0	92,0	3,0
Минеральные вещества	12,0	73,0	5,0

В молочной сыворотке, как и в молоке сосредоточено более 250 соединений и содержится около 100000 молекулярных структур, которые находятся в растворенном (нано-уровень) и коллоидно-дисперстном (кластеры) состоянии, а также в виде суспензий (казеиновая пыль) и эмульсий (молочный жир).

Молочная сыворотка содержит минимум калорий и максимальную биологическую ценность. Это позволяет рассматривать сыворотку и продукты, полученные из нее, как биологически полноценные с диетическими и лечебными свойствами, обеспечивающие охрану внутренней среды организма [2].

Молочная сыворотка – ценный продукт питания за счет большого количества содержания лактозы. Сывороточные белки, которые являются ценными компонентами сыворотки, оптимально сбалансированы по аминокислотному набору, особенно серосодержащих аминокислот – цистеина, метионина, что создает хорошие возможности для регенерации белков печени, гемоглобина и белков плазмы крови.

Минеральные соли сыворотки почти идентичны цельному молоку и содержат защитные комплексы антисклеротического действия.

Пищевая ценность молочной сыворотки характеризуется полным для продуктов питания набором: высокой доброкачественностью, высокой калорийностью, хорошей усвояемостью, достаточным содержанием питательных веществ, биологической и физиологической полноценностью.

По калорийности молочная сыворотка составляет 36 % от цельного молока. Усвояемость компонентов соответствует усвояемости цельного молока.

Липиды молочной сыворотки, как и молока ассоциируются с молочным жиром в виде шариков эмульсий или суспензий в зависимости от температуры. В нативной молочной сыворотке жир присутствует в эмульгированном виде.

Основа образования липидного комплекса – жирокислотный состав.

Молочный жир занимает в сухом веществе молочной сыворотки 5 % .

Азотосодержащий комплекс представлен белковыми веществами (протеины) и небелковыми соединениями; занимает к массе сухого вещества 15 %.

Белковые вещества молочной сыворотки разнообразны. Казеиновые фракции исходного молока в молочной сыворотке представлены в виде скоагулированных частиц. Присутствующий в сыворотке казеин удаляется с позиции технологии и экономики.

Главными из сывороточных белков молочной сыворотки являются β-лактоглобулин и α-лактальбумин. Сывороточные белки богаты незаменимыми аминокислотами (лизин, триптофан, метионин, треонин) и цистеином, что позволяет их отнести к наиболее ценной части белков молока. Использование белков сыворотки имеет на практике большое значение в пищевых целях.

Иммунноглобулины содержаться в малых количествах. Выполняют функцию антител. Обладают ярко выраженными свойствами агглютинации – склеивания микробов и других чужеродных клеток, а также шариков жира.

Аминокислотный состав казеина и сывороточных белков различен. В альбумине содержание триптофана в 4 раза больше, чем в казеине, содержание незаменимой аминокислоты цистина в глобулине – почти в 7 раз больше, а в альбумине – в 19 раз больше, чем в казеине. В альбумине и глобулине также больше незаменимой аминокислоты лизина, которая имеет определенную роль в защитных реакциях организма. Молочная сыворотка содержит в себе все незаменимые аминокислоты [1].

Общее содержание аминокислот в подсырной и творожной сыворотке почти одинаково. Однако, в творожной сыворотке содержится в 3,5 раза больше аминокислот и в 7 раз больше незаменимых свободных аминокислот (в основном, за счет валина, фенилаланина, лейцина, изолейцина), чем в подсырной. Это можно объяснить тем, что при производстве творога происходит более интенсивный гидролиз белков, чем при производстве сыра. Содержание свободных аминокислот в подсырной сыворотке в 4 раз больше, чем в исходном молоке, а в творожной – в 10 раз больше.

Углеводы представлены в основном лактозой – сахаром животного происхождения. Она составляет основную массу в сухом веществе в молочной сыворотке (более 70 %) и характеризует при получении молочного сахара показатель доброкачественности.

Чем ниже качество очисти сыворотки от несахаров, тем больше лактозы остается в мелассе.

Минеральный комплекс молочной сыворотки представлен минеральными веществами молока, солями, вводимыми в процессе производства пищевого продукта и соединениями, переходящими со стенок машин и ап-

паратов. Общее содержание минеральных веществ по ее зольности составляет 0,6 %. Преобладающими катионами являются: калий, натрий, кальций, магний, железо и микроэлементы; преобладающие анионы – радикалы лимонной и фосфорной кислот, хлора. Соотношение между минеральными веществами молока и сыворотки почти одинаковы.

Минеральные вещества в сыворотке находятся в виде истинного и молекулярного раствора, в коллоидном состоянии, в виде солей органических и неорганических кислот. Минеральные вещества сыворотки относятся к несахарам.

Содержание витаминов в молочной сыворотке (мг в 100г) в сравнении с другими видами молочного сырья показано в таблице 2.

Таблица 2

Содержание витаминов в молочном сырье

Витамины	Молочная сыворотка	Цельное молоко	Обезжиренное молоко	Пахта
Тиамин (B_1)	0,37	0,45	0,35	0,36
Рибофлавин (B_2)	2,0	1,5	1,8	2,0
Пиридоксин (B_6)	1,3	0,33	1,5	1,6
Кобаламин (B_{12})	2,6	4,0	4,0	4,2
Аскорбиновая кислота (С)	4,7	1,5	2,3	2,7
Ретинол (А)	0,04	0,25	0,03	0,08
Токоферол (Е)	0,29	0,85	0,5	0,55
Биотин (Н)	0,01	56,0	0,01	0,01
Холин	662,0	313,0	328,0	466,0

Следует отметить значительное снижение жирорастворимых витаминов в молочной сыворотке в сравнении с цельным молоком. Это положение следует учитывать при ее переработке, обогащая продукты витаминами А, D, Е, В то же время содержание пиридоксина, холина и рибофлавина в сыворотке превышает показатели в молоке, что обусловлено жизнедеятельностью молочнокислых бактерий и рассматривается, как положительной явление.

В целом состав молочной сыворотки является кладезем витаминов с возможностью их использования, выделения и даже направленного синтеза.

Ферментный комплекс представлен всеми ферментами исходного сырья и внесенными в процессе обработки. Для молочной сыворотки особое значение имеют нативные ферменты молока, остающиеся в молочной сыворотке после биотехнологической обработки, вносимые ферменты-коагулянты и ферменты, синтезируемые микробным пулом.

Вода составляет 90 % в сыворотке.

Молочная сыворотка является хорошей средой для развития различных микроорганизмов. Этому способствует большое содержание в сыворотке молочнокислых бактерий, которые переходят в процессе выработки основного продукта, дополнительный их рост в процессе кратковременного хранения до обработки, дополнительное бактериальное обсеменение посторонней микрофлорой в процессе сбора и хранения. К тому же из основного производства сыворотка поступает с температурой около 30 ^{o}C, что соответствует оптимальному росту большинства молочнокислых бактерий. Поэтому сбор, первичная обработка, резервирование до переработки должно осуществляться быстро и с соблюдением санитарно-гигиенических условий. Несоблюдение этих требований может привести к изменению состава и качества сыворотки.

В процессе хранения состав и свойства сыворотки меняются. Связано это с деятельностью молочнокислых бактерий. Лактоза, как наименее устойчивый компонент, подвергается ферментативному гидролизу. Количество лактозы снижается, а кислотность сыворотки возрастает, снижается ее доброкачественность, возрастает мутность. При нарастании кислотности сыворотки до 100 °Т потери лактозы превышают 20 % от исходного содержания. Происходит гидролиз белков и жира, изменяется вкус сыворотки, могут накапливаться нежелательные и даже вредные вещества.

Практически считается, что при хранении молочной сыворотки без обработки в течение 12 часов она теряет до 25 % энергетической ценности.

Для сохранения исходного качества молочной сыворотки ее подвергают тепловой обработке (пастеризации, охлаждению) или вносят консерванты, разрешенные органами здравоохранения. Такая обработка позволяет успешно сохранить качество сыворотки в течение 24–36 ч.

Библиографический список

1. Сарафанова, Л.А. Современные пищевые ингредиенты. Особенности применения / Л.А. Сарафанов. – М.: Профессия, 2009. – 216 с.

2. Храмцов, А.Г. Рыночная концепция полного и рационального использования молочной сыворотки / А.Г. Храмцов // Молочная промышленность. – 2006. – № 6. – С. 7–11.

К содержанию

УДК 664.761

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ МУКОМОЛЬНОЙ ЛИНИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Б.М. Кисимов

Рассмотрен принцип работы фотосепаратора. Приводится анализ применения фотосепаратора для повышения качества очистки зерна при производстве муки. Проведен расчет экономической эффективности возможного использования фотосепаратора в зерноочистительном отделении ОАО «Первый хлебокомбинат».

Ключевые слова: фотосепаратор, зерно, очистка, сортировка, эффективность.

Основными процессами производства муки являются подготовка зерна к помолу, собственно помол зерна и формирование сортов.

Подготовка зерна к помолу включает следующие операции: составление партии, очистка зерна от примесей, обработка поверхности зерна и кондиционирование.

Очистка зерна является одним из наиболее ответственных, трудоемких и энергоемких процессов мукомольного производства. Это связано с тем, что после уборки урожая зерно содержит разнообразные посторонние примеси – семена сорных растении, соломистые частицы, обмолоченные колосья и даже кусочки земли или мелкие камни. При перевозке и различных операциях с зерном в него могут попасть кусочки проволоки, различные металлические предметы, веревка, стекло и т.п.

Особую опасность представляет наличие в зерне вредных примесей в виде семян растений, содержащих ядовитые вещества. К ним относятся семена куколя, софоры лисохвостной, триходесмы инканум и др. От них зерно необходимо очищать особенно тщательно. Если пшеница заражена спорыньей, то ее рожки тоже попадают в массу зерна при обмолоте. Спорынья содержит в своем составе много алкалоидов, токсичных для человека [1, 2, 6].

Очистку зерна проводят на машинах различного принципа действия: зерновых сепараторах, триерах, камнеотделителях, аспираторах и др.

Одним из относительно новых и эффективных видов оборудования этой группы является фотосепаратор.

Фотосепараторы (сортировщики по цветам) предназначены для очистки зерновых круп от непригодных в пищу примесей - некачественных зерен, мелких соринок и прочих мелких примесей, отличающихся от качественных зерен цветом.

Очистка на фотосепараторе является завершающим этапом в механической обработке зерна до зерновой крупы в результате которой из зерна удаляют недозрелые, подгнившие, порченные зерна, примеси семян сорных трав, делая крупу чистой и соответствующей всем стандартам [4].

Помимо быстрой и качественной очистки зерна от различных примесей, фотосепаратор позволяет производить сортировку зерна по размеру, форме и цвету. Сортировать таким образом можно не только зерновые, но и масличные, бобовые культуры и продукты их переработки, что делает его применение особенно эффективным в зерноперерабатывающей промышленности, а также семеноводстве и растениеводстве.

Очистка зерна с помощью фотосепаратора происходит благодаря технологии линейного сканирования сортируемого материала и его фотообработке. Все операции осуществляются на высокой скорости. Сепаратор анализирует цвет материала и его плотность, и на основании полученных показателей производит сортировку. Современные сепараторы делятся на два вида в зависимости от типа анализатора светового потока – сенсорные и с CCD-камерой.

Фотосепараторы с CCD камерами имеют преимущество перед сенсорными аппаратами, поскольку CCD камеры осматривают зерновку точечно, что позволяет выявлять более мелкие дефекты на каждой частице размером от 0,2 мм.

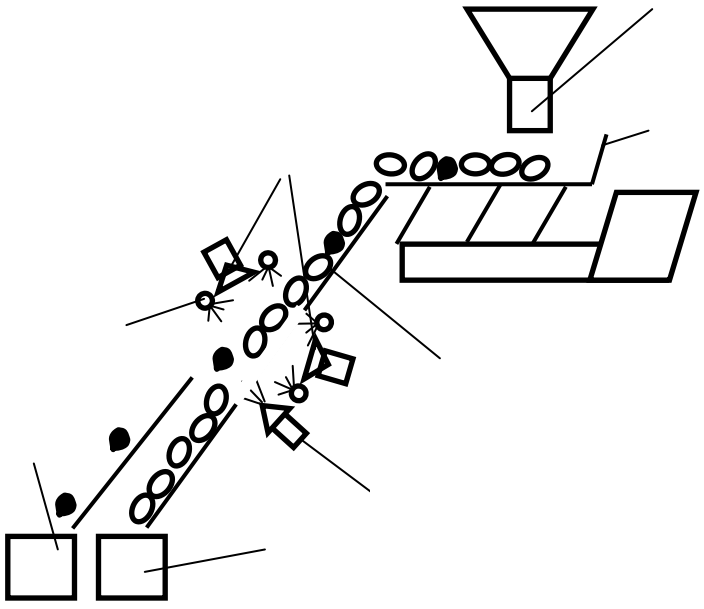


Схема очистки зерна фотосепаратором

При работе фотосепаратора зерно из бункера 1 попадает на вибропитатель 2 (рис.), который равномерно распределяет зерно по каналам лотка 3. Лоток – это металлическая планка с множеством параллельных дорожек-

каналов, по которым зерно равномерно ссыпается на рабочие органы фотосепаратора. Затем, зерно, продвигаясь по каналу попадает в поле зрения фотоэлемента 4 (либо CCD–камеры,), где система определяет качество этого зерна. Для повышения качества распознания используются лампы подсветки 5. Если зерно соответствует заданному качеству, то оно продолжает двигаться дальше и падает в бункер 6 для чистого зерна. Если же зерно отличается от заданного параметра, то фотоэлемент передает сигнал системе, от чего форсунка 7 «выстреливает» струю воздуха, и это зерно перебрасывается в бункер для отходов 8.

За один этап сортировки, как правило, зерно очищается не полностью, поэтому сортировка в фотосепараторе проходит в два цикла: первичный и вторичный. Во время вторичного цикла обеспечивается чистовая очистка и сортировка зерна [3, 5].

Эффективность работы фотосепаратора составляет 99,9 %. Производительность современных фотосепараторов достигает 30 тонн в час, при этом теряется не более 0,5 % качественного зерна. Основными поставщиками этого оборудования являются Италия, Корея, Китай. В настоящее время производство фотосепараторов освоено и в России на предприятии «Воронежсельмаш».

Для оценки эффективности использования фотосепараторов были проведены экономические расчеты возможного внедрения данного оборудования на примере предприятия ОАО «Первый хлебокомбинат» г. Челябинск.

Исходя из экономических расчетов установлено, что внедрение фотосепаратора 6SXM–400B в зерноочистительном отделении мукомольной линии позволит заменить 4 триера, увеличить отбор щуплого и мелкого зерна, тем самым увеличив вымол муки на 3 %, что в годовом выражении составит 1037 тонн.

Библиографический список

1. Иванова, В.Н. Пищевая промышленность России. Современное состояние, проблемы, ориентиры будущего развития: учеб. пособие / В.Н. Иванова, С.Н. Серегин. – М: Финансы и статистика, 2013. – 568 с.

2. Иванова, В.Н. Модернизация отраслей пищевой промышленности в реализации программных мероприятий технологической платформы «Хранение и переработка-2030» / В.Н. Иванова. С.Н. Серегин, Е.А. Куликова // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2013. – № 5. – С. 15–20.

3. Серегин, С.Н. Создание современной системы хранения сельскохозяйственного сырья и продовольствия в решении задачи продовольственной безопасности России / С.Н. Серегин // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2011. – № 10.

4. Серегин, С.Н. Модернизация пищевой промышленности в решении проблем продовольственной безопасности России / С.Н. Серегин // Материалы международной конференции. МПА, Москва, 28–30 ноября 2011. – М., 2011.

5. Пивень, В.В. Основные тенденции совершенствования фракционных технологий очистки зерна / В.В. Пивень, О.Л. Уманская // Проблемы современной науки и образования. – 2013. – № 1.

6. Юкиш, А.Е. Технология и организация хранения зерна / А.Е. Юкиш, О.А. Ильина, Г.Н. Ильичев. – М.: ДеЛи, 2015. – 476 с.

К содержанию

УДК 664.7 + 001.895

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ПРИОРИТЕТ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Ю.И. Кретова

Развитие агропромышленного комплекса в настоящее время является одним из основных приоритетных задач в решении вопросов продовольственной безопасности страны. Однако на сегодняшний день существует ряд системных проблем, к числу которых в первую очередь, относится недостаток сельскохозяйственного сырья определенного уровня качества для переработки. Чтобы в полной мере обеспечить внутренний рынок качественной отечественной продукцией, темпы обновления основных производственных фондов недостаточны. В связи со сложившейся ситуацией первоочередными задачами в сфере производства являются внедрение результатов научно-технических достижений для снижения энергопотребления производства и активное использование пищевой и перерабатывающей промышленностью ресурсосберегающих технологий. Только при выполнении этих условий возможен дальнейший рост и повышение эффективности развития пивоваренной промышленности. Предлагается задачу повышения эффективности технологии обработки зернового сырья решить в результате перехода от традиционной технологии обработки к обработке, связанной с использованием методов электрофизического воздействия.

Ключевые слова: инновационные технологии, пищевая и перерабатывающая промышленности, энергосберегающие и ресурсоэффективные технологии, качество сырья.

Развитие агропромышленного комплекса в настоящее время является одним из основных приоритетов политики государства с точки зрения решения социально-экономических вопросов и стратегической задачей в продовольственной безопасности страны. Одним из условий успешного решения данной задачи является стабильное снабжение продовольственными и сырьевыми ресурсами, а также наличие необходимых резервных фондов [1].

Однако на сегодняшний день во всех отраслях существует ряд проблем, к числу которых можно отнести, в первую очередь, недостаток сельскохозяйственного сырья с определенными качественными характеристиками для переработки. Кроме того, износ технологического оборудования с точки зрения морального и физического вопроса, недостаток мощностей по отдельным видам переработки сельскохозяйственного сырья в производстве; достаточно низкий уровень конкурентоспособности пищевой продукции российских предприятий-производителей; слаборазвитая инфраструктура хранения, транспортировки и логистики товародвижения пищевой продукции; недостаточное соблюдение в экологическом аспекте требований при организации пищевой промышленности сдерживают развитие пищевой и перерабатывающей промышленности [1].

Проведенный анализ литературных источников показал, чтобы в полной мере обеспечить внутренний рынок продукцией отечественных производителей на основе импортозамещения, темпы обновления в производстве основных фондов недостаточны. Так, производственные мощности хлебопекарной, мукомольной, крупяной, сахарной, молочной и мясной промышленности в настоящее время в большинстве случаев устарели и используются не в полном объеме, что связано с дефицитом сельскохозяйственного сырья определенного уровня качества. В последнее время модернизация пищевой и перерабатывающей промышленности осуществляется в основном на базе технологического оборудования, поступающего из-за рубежа, что создает дополнительные риски по развитию некоторых отраслей промышленности [2].

Главной причиной высокого уровня образования отходов при производстве, сброса производственных стоков в открытые водоемы и выбросов в атмосферу промышленных загрязнений является физический износ и моральное старение оборудования [1, 2].

В связи со сложившейся ситуацией приоритетными задачами в сфере производства являются внедрение современных достижений научно-технического прогресса для снижения энергопотребления; переход пищевой и перерабатывающей промышленности к ресурсосберегающим технологиям, обеспечивающим производство с минимальными отходами и воздействием на экологию; переработка новых видов сырья, полученных с использованием инновационных технологий, в том числе, био- и нанотехнологий.

Пивоваренная промышленность не стала исключением в решении данных задач, несмотря на то, что в настоящее время является одной из динамично развивающихся отраслей пищевой промышленности России. Дальнейший рост и повышение эффективности развития пивоваренной промышленности будет возможным при условии, что предприятия будут использовать инновационные технологии.

Внедрение инновационных технологий, позволит обеспечить не только эффективность производства продукции, но и повысит экономическую эффективность производителя сельскохозяйственной продукции, снизит ее расход [4, 5].

Предлагается проблему повышения эффективности технологии обработки зернового сырья разрешить в результате перехода от традиционной технологии обработки к обработке, связанной с использованием методов электрофизического воздействия.

В настоящее время на пивзаводы поступает большое количество товарных партий зерна ячменя различного уровня качества, то есть встречается и нестандартное зерно, использование которого приводит к снижению качества пива из-за снижения качества самого солода и не позволяет снизить затраты на его производство за счет наличия потерь при обработке сырья [6, 7].

Современные технологические приемы на основе применения обоснованных процессов обработки зерна перед солодоращением, позволяют целенаправленно их использовать в технологическом процессе [4, 5].

В настоящее время известна обработка растений ячменя препаратом алкилоксибензол (АОБ), при которой уже на стадии колошения значительно снижается загрязнение зерна ячменя как бактериями, так и мицелиальными грибами [8].

Недостатком такого способа является его трудоемкость, так как обработку необходимо осуществлять на разных стадиях технологического цикла (замачивание, солодоращение и др.).

Известно, что некоторые физические факторы обладают стерилизующим эффектом, угнетая развитие микроорганизмов. Например, использование γ-лучей, ультразвука, электронно-ионной технологии и других физических методов обработки зерна дает положительные результаты. Однако микроорганизмы имеют различную чувствительность к физическим факторам воздействия, так к действию γ-лучей и ультразвука были устойчивы мицелиальные грибы, а ИК-лучи, наоборот, угнетают развитие мицелиальных грибов, но в меньшей степени воздействую на бактерии [9, 10, 11].

Известен способ обработки зерна ячменя повышенной влажности электрическим током частотой 50–10000 Гц и определение влияния переменного тока на солодоращение ячменя. Способ стимулирует всхожесть ячменя и повышает активность всех гидролитических ферментов. После первого замачивания и обработки зерна микроэлектротоком частотой 200 Гц наблюдается хорошо воспроизводимый рост всех показателей солода, необходимых для получения пива [12].

Недостаток указанного способа заключается в том, что он не оказывает существенного влияния на обеззараживание зерна ячменя от вредной микрофлоры, что очень важно для приготовления пива высокого качества.

Таким образом, ни один из этих способов не обеспечивает полное обеззараживание от вирусов и грибов, что очень важно при производстве солода и пива высокого уровня качества.

Как уже отмечено ранее большое количество товарных партий зерна ячменя с различными параметрами поступает на пивзаводы, то есть преобладает нестандартное зерно, что в значительной мере влияет на качество пива из-за снижения качества самого солода и не позволяет снизить затраты на его производство, за счет наличия потерь при обработке сырья. Наша задача заключалась в устранении этого недостатка.

Указанная задача решается тем, что в способе обработки зерна ячменя пивоваренных сортов при производстве солода, включающем промывку ячменя водой, обработку ячменя влажностью 15,5–17,5 % в СВЧ-поле с частотой 2450 МГц, со скоростью нагрева зерна 0,4–0,8 ºС/с в течение 60–90 с до конечной температуры 58–60 ºС, замачивание, солодоращение, согласно нашим исследованиям, после обработки в СВЧ-поле осуществляют сортировку ячменя на I-й и II-й классы по крупности и выравненности зерна, после которой ячмень I-го класса отправляют на замачивание, а ячмень II-го класса повторно обрабатывают в СВЧ-поле с частотой 2450МГц со скоростью нагрева зерна 0,1–0,3 ºС/с в течение 95–125 с.

Предлагаемая нами схема обработки зерна ячменя пивоваренных сортов может быть использована для производства солода.

В таблице представлены режимы обработки ячменя. Учитывая, что изучали два фактора ($m = 2$), влияющих на технологию солодоращения (процесс проращивания), выбрали план активного планирования эксперимента Кона-2. Входными параметрами были: экспозиция обработки (τ, сек) и скорость нагрева (V_t, ºС/с). Входные параметры варьировались на 3-х уровнях: минимум, среднее, максимум. Экспозиция обработки была равна 95; 110 и 125 сек, а скорость нагрева составляла 0,1; 0,2 и 0,3 ºС/с.

Предлагаемый способ подразумевает после обработки в СВЧ-поле сортировку ячменя на I-й и II-й классы по крупности и выравненности зерна, после которой отсортированный ячмень I-го класса отправляют на замачивание и далее на солодоращение и приготовление пива. Оставшееся зерно ячменя II-го класса повторно обрабатывают в СВЧ-поле с частотой 2450 МГц, но уже с другими параметрами – со скоростью нагрева зерна 0,1–0,3 ºС/с в течение 95–125 с.

Эта особенность способа дает возможность получить из нестандартного зерна солод, по своим показателям, приближающийся к солоду II-го класса, а из ячменя II-го класса – солод I-го класса, а полученный солод используют для производства качественного пива. Кроме того исключаются потери из-за отбраковки и возврата партий зерна ячменя, что снижает затраты на производство пива. Зерно I-го класса, полученное после сортировки по крупности и выравненности, соответствует ГОСТ 5060-86 [13].

Таблица

Режимы обработки ячменя

№ варианта	Режимы		Температура, ºС
	Экспозиция обработки τ, сек	Скорость нагрева V_t, ºС/с	
1.	125	0,3	87
2.	125	0,1	58
3.	95	0,3	49
4.	95	0,1	36
5.	125	0,2	71
6.	95	0,2	45
7.	110	0,3	79
8.	110	0,1	52
9.	110	0,2	63
10.	Контроль		20

Крупное зерно содержит больше веществ, определяющих плотность пива; оно равномерно замачивается, равномерно растворяется, меньше греется при соложении, что влияет на улучшение качества солода. Кроме того, повторная обработка в СВЧ-поле оставшегося зерна с указанными режимами гарантирует получение микробиологически чистой продукции. В результате мы обеспечиваем повышение качества солода (или пива) и практически безотходное производство за счет исключения потерь зерна путем повышения качества при повторной СВЧ-обработке отсортированного зерна.

Таким образом, использование новых технологических приемов в процессе обработке сырья позволило нам решить задачу с точки зрения энерго- и ресурсосбережения, что очень важно в сложившейся ситуации для пищевой и перерабатывающей промышленности.

Библиографический список

1. Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности России на период до 2020 г. / Распоряжение Правительства РФ от 17 апреля 2012 г. N 559-р // СПС «Гарант».

2. Позняковский, В.М. Системный анализ российского рынка пива для обоснования целесообразности категоризации его торгового предложения / В.М. Позняковский, К.В. Киселев, А.А. Казанцев, О.В. Коркачева // Пиво и напитки. – 2012. – № 6. – С. 4–8.

3. Кунце, В. Технология солода и пива: пер. с нем. / В. Кунце, Г. Мит. – СПб.: Изд-во «профессия», 2008. –1130 с.

4. Ермолаева, Г.А. Инновации в пивоварении России за 20 лет (1991–2011 гг.) / Г.А. Ермолаева // Пиво и напитки. – 2011. – № 3. – С. 8–9.

5. Фролова, О.В. Обоснование разработки новых направлений в технологии пивных напитков / О.В. Фролова, А.Б. Даниловцева // Пиво и напитки. – 2012. – № 6. – С. 35–38.

6. Билай, В.И. Микроорганизмы – возбудители болезней растений / В.И. Билай, Р.И. Гводяк, И.Г. Скрипаль. – Киев: Наукова думка, 1988. – 297 с.

7. Койшибаев, М.К. Болезни зерновых культур / М.К. Койшибаев. – Алма-Ата: Изд. КазНИИЗР, 2002. – 264 с.

8. Шаненко, Е.Ф. Влияние алкилоксибензола на технологические свойства и контаминацию пивоваренного ячменя / Е.Ф. Шаненко, Л.Н. Шабурова, С.Б. Витол, Эль-Регистан // Пиво и напитки. – 2005. – № 2. – С. 22–24.

9. Потороко, И.Ю. Исследование возможностей регулирования состава микрофлоры продовольственных товаров электрофизическими методами воздействия / И.Ю. Потороко, Н.В. Науменко // Товаровед продовольственных товаров. – 2011. – № 2. – С. 6–9.

10. Способ производства солода из пивоваренных сортов ячменя. Пат. 2283861, опуб. 20.09.2006, БИ 26 / Кретова Ю.И. (Зданович Ю.И.), Цугленок Г.И., Цугленок Н.В. и др.

11. Пучков, К.В. Применение ЭМП СВЧ в пищевой и перерабатывающей промышленности / К.В. Пучков // Вестник КрасГАУ. – 2002. – С. 40–41.

12. Зарубина, Е.П. Влияние частоты переменного тока на солодоращение ячменя / Е.П. Зарубина, С.Ф. Данько, Т.Н. Данильчук // Пиво и напитки. – 2003. – № 4. – С. 14–15.

13. ГОСТ 5060-86 Ячмень пивоваренный. Технические условия. – М., 2010.

К содержанию

УДК 664.642.2 + 663.11

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОБИОТИЧЕСКИХ ЗАКВАСОК В ТЕХНОЛОГИИ РЖАНО-ПШЕНИЧНЫХ СОРТОВ ХЛЕБА

С.П. Меренкова

С употреблением дрожжевых хлебобулочных изделий связывают развитие дисбактериоза, метеоризма, дистрофических явлений в органах, патологических изменений в организме. Польза бездрожжевого хлеба заключается в том, что он лучше усваивается, облегчает процесс пищеварения, активизирует работу мышц пищеварительного тракта. Ржаные сорта хлеба являются хлебобулочными изделиями с высокой биологической ценностью, отличаются высоким содержанием незаменимых аминокислот, минеральных веществ, витаминов, пищевых волокон. Формирование параметров ржано-пшеничного теста происходит в результате микробиологических и биохимических процессов, протекающих при брожении теста, обусловленных применяемыми заквасочными микроорганизмами. Хлеб на основе ржаной муки, изготовленный с применением пробиотических микроорганизмов характеризуется эластичным упругим мякишем, выраженным ржано-кислым вкусом, содержит продукты метаболизма пробиотических бактерий, благоприятно влияющих на деятельность желудочно-кишечного тракта и уровень обменных процессов в целом.

Ключевые слова: ржано-пшеничный хлеб, пробиотические микроорганизмы, брожение теста, дрожжевые клетки, биологическая ценность.

Обеспечение населения хлебом высокого качества и высокой пищевой ценности основано на разработке эффективных технологий производства, расширении ассортимента изделий, поиске способов улучшения показателей качества готовой продукции. Повышение пищевой и биологической ценности хлеба осуществляют регулированием химического состава продукта за счет применения нетрадиционных видов сырья. В общепринятой технологии ржано-пшеничного хлеба одним из обязательных компонентов являются термофильные дрожжи, представляющие собой искусственно выращенную грибковую микрофлору.

Научными исследованиями установлено, что при выпечке хлеба дрожжи не уничтожаются, а сохраняются в клейковинных оболочках и могут оказывать негативное влияние на организм человека. Так установлено, что при размножении дрожжей формируются акоспоры, которые гематогенным путем из пищеварительного тракта попадают в органы и ткани, способствуют разрушению мембран клеток и провоцируют возникновение онкологических заболеваний. Дрожжи, размножаясь в условиях организма

угнетают деятельность нормальной микрофлоры, которая выполняет ряд жизненно важных функций, начиная от формирования естественной резистентности и заканчивая синтезом биологически активных компонентов: витаминов и аминокислот [9].

С употреблением обычных хлебобулочных изделий обычно связывают развитие дисбактериоза, метеоризма, излишнего газообразования в кишечнике. Существует мнение, что использование в пищу дрожжевых продуктов, способствует формированию запоров, образованию сгустков песка, камней в желчном пузыре, печени, поджелудочной железе, дистрофическим явлениям органов, что ведет к патологическим изменениям в организме.

Химический состав бездрожжевого хлеба отличается большим количеством полезных веществ, по сравнению со стандартным хлебом, благодаря тому, что часть сахаров, аминокислот, витаминов, – не расходуется на питание дрожжевых клеток [9].

Польза бездрожжевого хлеба заключается в том, что он лучше усваивается и облегчает процесс пищеварения. Это связано с его грубостью и плотностью. Плотный мякиш в пищевом комке способствует более активной работе кишечника, благодаря чему активизируется работа мышц пищеварительного тракта, лучше усваивается пища [6, 7]. Бездрожжевые изделия имеют меньший объем, плотную структуру. Из-за отсутствия продуктов жизнедеятельности дрожжей ухудшается вкус и аромат хлеба. Для модификации вкусо-ароматических характеристик возможно применение заквасочных культур микроорганизмов с пробиотическими свойствами.

Ржаные сорта хлеба, пользуются повышенным спросом у потребителей, являются хлебобулочными изделиями с высокой биологической ценностью. В ржаной муке, по сравнению с пшеничной, содержится больше незаменимых аминокислот, таких как: лизин, валин, триптофан и метионин; минеральных веществ и витаминов. В зернах ржи содержатся пищевые волокна, к которым относят высокомолекулярные пентозаны – слизи. Обладая высокой гидрофильностью, они не только участвуют в формировании структурно-механических свойств ржаного теста, но и способствуют улучшению работы желудочно-кишечного тракта. Пентозаны обладают высокой водопоглотительной, ионной и буферной способностью, адсорбируют и выводят из организма непереваренные продукты обмена и токсичные вещества [3].

В тесте из ржаной муки не образуется клейковинного каркаса, так как белки ржаной муки быстро неограниченно набухают, пептизируются и переходят в состояние вязкого коллоидного раствора. Для получения оптимальной структуры ржаного теста необходимо целенаправленно снижать амилолитическую активность муки, регулировать пептизацию белков, гидролиз пентозанов. Усилить функциональные свойства ржаного теста, воз-

можно путем повышения его кислотности до 8–10 град. Для достижения такой кислотности хлеб вырабатывают с использованием различных видов биологических заквасок, в состав которых могут входить представители нормальной микрофлоры человека [4, 6].

Формирование параметров ржано-пшеничного теста происходит в результате взаимосвязанных микробиологических и биохимических процессов, определяющих особенности ржаного хлеба. Такие как кислый вкус, особый аромат, высокая титруемая и активная кислотность и мелкопористая структура мякиша. Поэтому качество хлеба зависит от качества закваски.

С учетом биотехнологических свойств, антимутагенной активности пробиотических бактерий возможно подобрать симбиоз культур, отвечающих специфическим требованиям технологических процессов производства разных видов хлебобулочных изделий. К пробиотическим микроорганизмам относят представителей симбиотической для человека микрофлоры: лактосбраживающие, пропионовокислые бактерии, бифидобактерии. Пробиотические культуры способны активно наращивать биомассу в процессе брожения и расстойки теста, накапливать продукты обмена, формирующие показатели качества готового хлеба.

Вкус и аромат хлебобулочных изделий определяется составом сырья; параметрами технологического процесса; вкусовыми добавками, вводимыми в рецептуру; кислотами и ароматическими веществами, возникающими в результате протекания физико-химических, биохимических процессов. Стадия брожения является в этом процессе основополагающей. В процессе жизнедеятельности молочнокислых бактерий происходит накопление кислот и ароматических веществ. Результат брожения зависит от природы микроорганизмов, типа и технологических параметров брожения [1, 5].

Вкус ржаного хлеба зависит от соотношения в заквасках органических кислот: при брожении ржано-пшеничного теста формируются в основном уксусная (до 40 %), пропионовая (до 30 %), муравьиновая (до 10 %) кислоты. Кроме того, в ржаных заквасках обнаружены янтарная, яблочная, винная, лимонная кислоты, на долю которых приходится около 8 % летучих кислот Огромное значение в образовании ароматического комплекса ржаного хлеба играют карбонильные соединения: ацетальдегид, ацетоин, диацетил, оксиметилфурфурол [2, 8].

Используя специфические свойства отдельных штаммов пробиотических бактерий, их способность к кислотообразованию и синтезу побочных продуктов жизнедеятельности, можно путем комбинации симбиотических культур, получать продукты с разнообразным профилем вкуса.

Рядом исследований экспериментально доказано, что хлеб на основе ржаной муки, изготовленный с применением пробиотических микроорганизмов характеризуется эластичным упругим мякишем с равномерной пористостью, ярко-выраженным ржано-кислым вкусом и ароматом, повы-

шенным содержанием витаминов группы В. Данный вид хлебобулочных изделий следует отнести к продуктам лечебно-профилактического назначения, благодаря высокому содержанию биологически ценных микронутриентов, пищевых волокон, наличием продуктов метаболизма пробиотических бактерий, благоприятно влияющих на деятельность желудочно-кишечного тракта и уровень обменных процессов в целом. Установлено, что пробиотические микроорганизмы обладают бактерицидными свойствами, благодаря комплексу синтезируемых кислот и антибиотических веществ, ингибируют развитие плесени и картофельной болезни, обуславливают пролонгированный срок хранения хлебобулочных изделий [11].

Рассмотрим пищевые добавки на основе живых культур микроорганизмов, применяемые в технологии хлеба из ржаной муки, направленные на улучшение качества хлеба.

«Аром Левен» – это жидкая инактивированная закваска. Процесс ее производства включает в себя непосредственно получение закваски путем сбраживания ржаной муки дрожжами и молочнокислыми бактериями, ее инактивацию и концентрирование. Благодаря комплексному действию дрожжей и молочнокислых бактерий происходит максимальное накопление вкусо-ароматических веществ.

Использование ржаной муки, благодаря высокому содержанию в ней пентозанов, увеличивает выделение кислот, усиливающих вкус и аромат хлеба, и понижает значение pH. В результате этого после стадии созревания закваска имеет такие же технологические свойства, как и традиционная закваска. Изменяя дозировку (от 0,5 до 5 %) «Аром Левен», можно регулировать кислотность выпеченных изделий и получать широкий ассортимент продукции с различной степенью выраженности аромата и вкуса с хлебным мякишем кремового цвета и пониженной крошковатостью.

Стартовая культура «Саф-Левен» LV1 – это совокупность чистых культур молочнокислых бактерий и специальных штаммов дрожжей, в результате брожения которых изделия имеют насыщенный молочнокислый вкус и аромат. Такую закваску на основе стартовой культуры можно использовать на поточно-механизированных линиях по производству пшеничного хлеба для снижения крошковатости, замедления черствения и придания изделиям приятного аромата. Использование стартовой культуры «Саф-Левен LV1» позволяет получать стабильное качество продукции.

Изменяя интенсивность процесса замеса теста, возможно управлять интенсивностью вкусовых характеристик хлеба. Во время длительного замеса под воздействием кислорода воздуха происходит окисление вкусо-ароматических веществ, в результате чего вкус и аромат хлеба становится менее выраженным. При производстве хлеба на закваскаx пробиотических культур, появляется возможность сократить время замеса теста для сохранения накопленных низкомолекулярных соединений, формирующих вкус ржаного хлеба [10].

Механизм формирования потребительских свойств ржано-пшеничного хлеба – процесс достаточно сложный и многостадийный. Применение биологических заквасок на основе пробиотических микроорганизмов позволяет уменьшать содержание неблагоприятных факторов в хлебе и получать хлебобулочные изделия с оптимальными вкусовыми, структурно-механическими характеристиками. Получаемые ржано-пшеничные сорта хлеба способны нормализовать физиологические процессы, предотвращать дисбактериоз, расстройства органов пищеварения, способствовать улучшению усвоения пищи и повышать резистентность организма.

Библиографический список:

1. Биотехнологические основы производства хлеба: учебно-практическое пособие / Т.Б. Цыганова, Г.Д. Касаткина, И.И. Люшинская и др.– М.: МГУТУ, 2004 – 76 с.

2. Богатырева, Т.Г. Контроль биотехнологических свойств сырья и полуфабрикатов при производстве хлебобулочных изделий: лабораторный практикум / Т.Г. Богатырева, В.Я. Черных, Т.А. Юдина. – М.: Издательский комплекс МГУПП, 2008. – 132 с.

3. Казаков, Е.Д. Биохимия зерна и продуктов его переработки / Е.Д. Казаков, В.Л. Кретович. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: «Агропромиздат», 1989. – 368 с.

4. Козьмина, Н.П. Биохимия хлебопечения / Н.П. Козьмина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Пищевая пром-ть, 1978. – 278 с.

5. Кретович, В.Л. Биохимия зерна и хлеба / В.Л. Кретович. – М.: Наука, 1991. – 136 с.

6. Матвеева, И.В. Биотехнологические основы приготовления хлеба / И.В. Матвеева, И.Г. Белявская. – М.: ДеЛи принт, 2001. – 150 с.

7. О значении дрожжей Saccharomyces cerevisiae и S. Minor при приготовлении ржаного хлеба / Л.Н. Казанская, О.В. Афанасьева, А.Г. Егорова и др. // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. – 1969. – № 4. – С. 18–21.

8. Плотников, П.М. Влияние дозировки муки в закваске и температуры теста на технологию приготовления ржаного хлеба / П.М. Плотников // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. – 1961. – № 7. – С. 39–42.

9. Разработка технологии закваски для производства хлеба функционального назначения / Е.П. Иванова, М.А. Митрохин, О.В. Перфилова, Ю.В. Родионов и др. // Вопросы современной науки и практики. – 2014. – № 1(50). – С. 260–264.

10. Синькевич, М.А. Совершенствование технологии производства ржано-пшеничного хлеба на основе замороженных полуфабрикатов: дис. … канд. тех. наук / М.А. Синькевич. – М., 2003. – 218 с.

11. Хамагаева, И.С. Влияние пробиотических микроорганизмов на качество хлебобулочных изделий / И.С. Хамагаева, Р.Б. Аюшева // Товаровед продовольственных товаров. – 2014. – № 5. – С. 9–14.

К содержанию

УДК 664.761

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА МУЧНЫХ КОМПОЗИТНЫХ СМЕСЕЙ

В.Н. Николаев

Предложена и рассмотрена конструктивно-технологическая схема производства мучных композитных смесей. Технико-экономический эффект линии достигается за счет согласованной работы блока дозирования-смешивания, что позволит сократить время и снизить энергоемкость производства мучных композитных смесей, а также снизить материалоемкость конструкции и сократить транспортные пути внутри цеха.

Ключевые слова: дозирование, смешивание, вибрация, дозатор, смеситель, мучные композитные смеси.

В последнее время наблюдается стойкая тенденция увеличения производства и потребления мучных кондитерских изделий. Высокая калорийность, низкое содержание важных биологически активных веществ – витаминов, микро- и макроэлементов, пищевых волокон, является существенным недостатком мучных кондитерских изделий [1]. В связи с этим возникает необходимость существенной коррекции химического состава мучных кондитерских изделий, особенно печенья, посредством увеличения содержания пищевых волокон, дефицитных минеральных веществ, одновременно снижением калорийности, что позволит рассматривать их в качестве продуктов функционального назначения.

Особое внимание необходимо обращать на дозирование и смешивание компонентов, так как не только основные рецептурные составляющие, но и дополнительные, входящие в рецептуру даже в небольших количествах, должны равномерно распределяться по всей массе. Поэтому получение мучных кондитерских изделий функционального назначения по прогрессивным технологиям на оборудовании отечественного производства для обеспечения в полной мере внутреннего рынка отечественной продукцией на основе импортозамещения является актуальной задачей.

Решение этой задачи сводится к созданию и внедрению в производство новой, высокоэффективной техники и прогрессивной технологии. Одним из направлений в решении поставленной задачи, является полезное использование вибрации. Несмотря на сложность протекания процессов в вибрационных машинах они имеют ряд преимуществ по сравнению с другими.

В связи с этим, применение дозирующих и смешивающих вибрационных машин непрерывного действия, совмещенных в один блок, обоснование и оптимизация основных их параметров позволит сократить время и

снизить энергоемкость производства мучных композитных смесей при обеспечении требуемого их качества, а также снизить материалоемкость конструкции и сократить транспортные пути внутри цеха.

Технологическая схема линии производства мучных композитных смесей представлена на рисунке. Предлагаемый блок дозирования-смешивания, входящий в состав технологической линии производства мучных композитных смесей, состоит из многокомпонентного вибрационного дозатора [2], лотка и вибрационного смесителя [3].

Производительность многокомпонентного вибрационного дозатора и вибрационного смесителя составляют соответственно до 12 т/ч и до 6 т/ч, установленная мощность привода – 1,5 кВт и 0,75 кВт. При этом погрешность дозирования составляет ±2 %, однородность смеси – 96 %.

Многокомпонентный вибрационный дозатор 3 состоит из корпуса в виде клина с секциями, установленного жестко на раме. Система возбуждения включает в себя эксцентриковый вибровозбудитель с шатунами, имеющими разные эксцентриситеты. Во избежание сгруживания материалов в каждой секции бункера установлены активаторы. Заданная подача каждой секции устанавливается при помощи заслонок, расположенных вертикально на передней стенке бункера перемещающихся по направляющим, положение которых задает толщину слоя дозируемого материала.

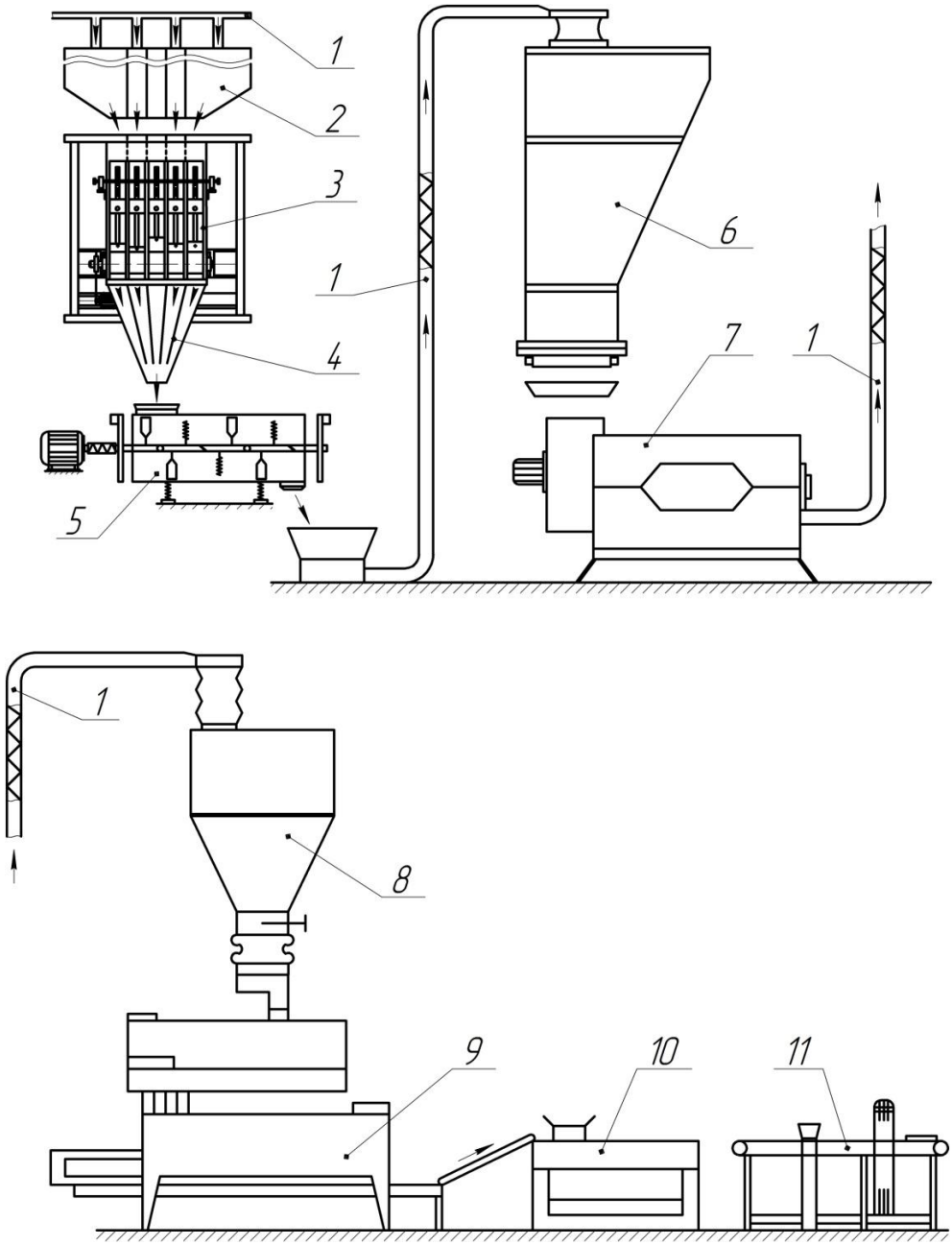
Лоток 4 разделен перегородками и служит для одновременного введения всех компонентов в вибрационный смеситель.

Вибрационный смеситель 5 состоит из корпуса, установленного на упругих элементах, внутри которого установлен ротор с активаторами, в виде пружин и лопатками. На валу ротора закреплены дебалансы.

Подготовленные сыпучие компоненты гибким механическим транспортом 1 поступают в бункер 2 сухих компонентов, разделенный на секции, двух большего объема предназначенных для муки пшеничной и сахарной пудры, и двух меньшего объема для сухого молока и дополнительных компонентов. Далее сыпучие компоненты из каждой секции бункера поступают в соответствующие секции многокомпонентного вибрационного дозатора 3. В зависимости от требуемого соотношения компонентов по рецепту до загрузки бункера вибрационного дозатора сначала устанавливается величина открытия выпускных окон с помощью заслонок.

При включении электродвигателя вибрационного дозатора 3 через гибкую передачу передается крутящий момент на эксцентриковый вал. Шатуны, насаженные на эксцентриковый вал и имеющие разные эксцентриситеты, создают колебательные движения упругого дна каждой секции корпуса. От вибрирующей поверхности упругого дна передаются колебательные движения активаторам. Активаторы приводят в состояние «псевдоожижения» сыпучие компоненты в секциях корпуса, особенно интенсивно на скошенной стороне. Состояние «псевдоожижения» исключает сводообра-

зование сыпучих материалов в корпусе, повышается их сыпучесть, что положительно влияет на их равномерное истечение и этому способствует установка шатунов с разными эксцентриситетами, что позволяет регулировать параметры вибрации: амплитуду и частоту колебаний упругого дна в зависимости от физико-механических свойств сыпучего материала.



Технологическая схема производства мучных композитных смесей:
1 – гибкий механический транспорт; 2 – секционный бункер;
3 – многокомпонентный вибрационный дозатор; 4 – лоток;
5 – вибрационный смеситель; 6 – производственный бункер;
7 – просеиватель Ш2-ХМЕ; 8 – бункер-дозатор; 9 – фасовочный автомат А5-АРВ-2;
10 – производственный стол; 11 – оклеивающая машина ОМ

При открытии заслонок сыпучий материал в состоянии «псевдоожижения» равномерным потоком стекает по лотку и одновременно со всех секций подается в вибрационный смеситель. В вибрационном смесителе при вращении ротора с активаторами за счет дебалансов генерируются эллиптические колебания, которые являются причиной интенсивной циркуляции смешиваемых компонентов в состоянии «виброкипения»: циркуляционное движение сыпучих компонентов происходит по спиралевидной траектории по внутренней цилиндрической поверхности контейнера из-за вращающегося ротора и одновременно находящегося в колебательном движении совместно с корпусом. Состояние «виброкипения» смешиваемых компонентов позволяет за короткий промежуток времени получить мучную композитную смесь высокой степени однородности в течение до одной минуты.

Полученная мучная композитная смесь высокого качества гибким механическим транспортом 1, поступает в производственный бункер 6, откуда подается в просеиватель Ш2-ХМЕ 7 для очистки и просеивания МКС от посторонних примесей. Затем эта смесь поступает в бункер 8 над фасовочным автоматом А5-АРВ-1 9, где мучная композитная смесь фасуется в пакеты (0,5 кг) из различных упаковочных материалов, предназначенных для сыпучих продуктов. Пакеты укладываются в короба на производственном столе 10. Для оклейки коробов используется оклеивающая машина ОМ 11. На предприятиях большой и малой мощности МКС поступают в тканевых мешках.

Технико-экономический эффект линии достигается за счет согласованной работы блока дозирования-смешивания, что позволит сократить время и снизить энергоемкость производства мучных композитных смесей, а также снизить материалоемкость конструкции и сократить транспортные пути внутри цеха.

Библиографический список

1. Магомедов, Г.О. Технология мучных кондитерских изделий: учебное пособие / Г.О. Магомедов, А.Я. Олейникова, Т.А. Шевякова. – М.: ДеЛи принт, 2009. – 296 с.

2. Патент РФ № 2410649. Вибрационный дозатор / В.Н. Николаев, Н.С. Сергеев, К.А. Вишневская, А.В. Литаш. – Опубл. в БИ № 3. 2011.

3. Патент РФ №2417829. Вибрационный смеситель / В.Н. Николаев, Э.Н. Гайнуллин, Е.В. Зязев. – Опубл. в Б.И. №13 2011.

К содержанию

УДК 664.2

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ТЕХНОЛОГИЙ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Н.А. Старикова

В статье приводится обзор основных тенденций в развитии пищевой промышленности, происходящих в разных секторах организации и технологии производства, управления качеством и безопасностью продукции, перспективные направления ее развития.

Ключевые слова: пищевая промышленность, технологии, рацион питания, функциональные продукты.

Пищевая промышленность является одной из стратегических отраслей экономики, обеспечивающая население страны необходимым количеством продуктов питания. По валовому производству она занимает третье место после машиностроения и топливной промышленности. Пищевая промышленность России важнейшая часть агропромышленного комплекса страны, которая насчитывает несколько десятков отраслей и подотраслей, видов производств, объединяющих многие тысячи предприятий разных форм собственности и различной мощности. Доля пищевой и перерабатывающей промышленности в общем промышленном производстве России составляет около 15 % [1, 2].

Современные тенденции в формировании здорового рациона питания диктуют необходимость производства продуктов с высокой биологической и физиологической ценностью, следствием чего стало значительное расширение ассортимента продовольственных товаров.

Вопросы производства здоровой пищи остаются в центре внимания специалистов, которые занимаются разработкой современных технологий, позволяющих улучшить ее качественный состав, обогатить рацион человека недостающими пищевыми и биологически активными веществами, а также получить экологически безопасную и конкурентоспособную продукцию с высокими потребительскими свойствами и длительными сроками хранения, придать продуктам красивый внешний вид, выраженный вкус и аромат [3].

Положительным фактором при этом является возможность отечественного машиностроения предложить большой ассортимент оборудования, позволяющего создавать оригинальные продукты и вырабатывать продукцию различного назначения, в том числе предназначенную для немедленной реализации в ближайших от производства районах.

Однако, вследствие недостаточного обеспечения средствами для технического переоснащения и невысокой покупательской способности насе-

ления, обусловливающей неполную загрузку производственных мощностей, положение многих, особенно малых предприятий остается довольно сложным. Тем не менее, возрастающий спрос населения на свежеприготовленную продукцию вызывает необходимость и целесообразность строительства малых цехов с небольшим радиусом развоза.

Стремление расширить рынки сбыта выпускаемой продукции и повысить конкурентоспособность сегодня во многих отраслях пищевой промышленности ведет к процессам объединения предприятий с целью создания крупных торгово-промышленных групп.

Несмотря на сложности, испытываемые предприятиями пищевой промышленности, в настоящее время, прослеживается целый ряд направлений в разработке технологий, обеспечивающих все многообразие ассортимента, удовлетворяющего широчайший потребительский спрос.

В настоящее время на рынке ассортимент продуктов, действительно отвечающих современным медико-биологическим и физиологическим нормам, предназначенных для различных категорий весьма ограничен. В сложившейся структуре питания, как взрослого, так и детского населения наблюдается недостаток белковых компонентов, витаминов и минеральных веществ.

В связи с этим, интенсивно ведутся и внедряются разработки специализированных обогащенных продуктов, отвечающих требованиям функционального питания. Они включают не только минеральные вещества, витамины, олигосахариды, пищевые волокна, полисолодовые экстракты, содержащие полноценный белок, легкоусвояемые углеводы и позволяющие увеличить срок хранения готовых продуктов без использования консервантов, но и некоторые виды полезных микроорганизмов и компонентов на их основе (бифидобактерии, ацидофильная палочка, кисломолочный биопродукт «кефинар»), и многие другие. Это позволяет компенсировать недостаток в организме тех или иных веществ и способствовать выделению из него избыточного количества нежелательных элементов, накапливающихся в результате неправильного обмена веществ [4].

Одной из современных тенденций является разработка технологий производства продукции с улучшенными потребительскими характеристиками для различных категорий населения. Можно выделить ассортимент по возрастам (для детей дошкольного возраста, школьников, пожилых людей); для людей, испытывающих недостаток в отдельных пищевых веществах (витаминов, минеральных веществах); для людей, неспособных усваивать отдельные вещества продукта (например, безлактозное молоко для неспособных усваивать лактозу потребителей); для больных различными заболеваниями (сахарный диабет, целиакия пр.).

Другой тенденцией представляется внедрение новых технологических приемов и способов обработки сырья, полуфабрикатов и готовой продук-

ции с целью придания ценных свойств и увеличения срока хранения. Например, очень широкое использование вакуумных технологий при производстве и хранении продукции, микрофильтров при пастеризации молока, использование СВЧ-обработки для обеспечения безопасности и улучшения качества при производстве функциональных продуктов питания [5, 6].

Требованием времени является применение современных упаковочных материалов. Дизайн упаковки – один из основных инструментов мотивации совершения покупки. Оригинальная, отвечающая требованиям гигиены, экологичная при утилизации упаковка не только позволяет сохранять свойства и качества продукции длительное время, но и служит для защиты ее от фальсификации. Разработка и применение современных упаковочных материалов позволяет использовать технологические приемы, сохраняющие полезные свойства исходных продуктов.

Еще одним важным ресурсом расширения ассортимента и увеличения выпуска продукции является глубокая переработка вторичного сырья. В мясной отрасли – субпродуктов, шкур, кишечного сырья, крови, кости, в молочной отрасли – обрата, молочной сыворотки, маслосливочной пахты и других.

Особое место занимает и широкое применение заменителей сырья. Соевые препараты (соевая мука, соевый белковый концентрат, соевый белковый изолят) часто заменяют основное сырье, например, молочный белок при производстве сметанного продукта, творожных изделий, мясо при производстве колбасных изделий, пельменей. Продукты с высоким содержанием соевых препаратов, обладают худшими вкусовыми характеристиками, а также могут вызывать аллергические реакции, быть склонны к закисанию, и иметь меньшую продолжительность хранения. Соевые препараты не только снижают себестоимость производства, но и позволяют использовать низкокачественное мясное сырье.

Использование технологий фракционирования, переэтерификации и гидрогенизации растительных масел, позволяет производить эквиваленты и **заменители масла какао**, разнообразные кондитерские жиры, заменители молочного жира. Для производства заменителей молочного жира возможно использование таких рафинированных дезодорированных растительных масел, как: масло соевое, горчичное, кукурузное, рапсовое, кокосовое, пальмовое для пищевой промышленности, льняное, конопляное, рыжиковое для пищевых целей, сурепное для пищевых целей, пальмовый олеин, пальмоядровое масло и его фракции, продукты гидрогенизации, переэтерификации выше перечисленных растительных масел и/или их смесей для пищевых целей.

Наиболее часто используется пальмовое масло – жирозаменитель, применяемый при производстве сливочного масла, сгущенного молока, мороженого и других изделий. Будучи продуктом растительного происхожде-

ния, не содержит холестерина, но имеет низкое качество жирных кислот в сравнении с молочным жиром (сливок). Используется для удешевления производства, так как значительно дешевле молочного жира.

Фракционированное пальмовое масло является сырьем для производства эквивалентов, заменителей масла какао, а также его суррогатов. Суррогаты масла какао вырабатываются из пальмоядрового и кокосового масел, которые подвергают гидрогенизации и фракционированию. Основным качеством заменителей какао масла производители называют их низкую стоимость (почти в два раза ниже масла какао).

В качестве заменителей сахара в продуктах для больных диабетом еще с прошлого века используются сорбит и ксилит. Эти полиспирты не имеют редуцирующих групп, не участвуют в реакциях меланоидинобразования, не вызывают потемнения изделий при нагреве. В пищевой промышленности сахар также заменяют глюкозо-фруктозным сиропом из крахмалсодержащего сырья, что обусловлено меньшими затратами труда на выращивание сырья (в основном кукурузы) и возможностью круглогодичной переработки его с получением дополнительных побочных продуктов (кукурузное масло, корма) [7].

В большинстве случаев использование заменителей сырья обусловлено необходимостью снижать себестоимость выпускаемой продукции, но не всегда оправдывается высоким качеством готовых изделий.

Также значимой тенденцией современного производства является массовое использование пищевых добавок, без которых современная пищевая промышленность уже немыслима.

Пищевые добавки вводятся с целью совершенствования технологии подготовки, изготовления, упаковывания, транспортирования, хранения сырья и продуктов, ускорения сроков изготовления, сохранения природных качеств, улучшения внешнего вида и органолептических свойств пищевых продуктов, увеличения стабильности продуктов при хранении, а также создания максимального комфорта потребителей при создании «удобной еды». В качестве пищевых добавок наиболее часто в пищевой промышленности применяют глутамат натрия, нитрит натрия, пищевые фосфаты, модифицированный крахмал и многие другие. Химические или природные вещества, призванные улучшать вкус, цвет, запах и срок хранения продуктов питания надежно вошли во все отрасли пищевой индустрии и насчитывают несколько сотен наименований [8].

Наблюдаемое в последние годы глобальное ухудшение экологической обстановки повышение уровня заболеваемости населения ставит задачу оздоровления населения современного общества. Также есть данные, что более половины населения России может нуждаться в значительной корректировке питания из-за изменившихся условий труда и быта (гиподинамия и экология). Вполне очевидно, что для снижения антропогенного воз-

действия окружающей среды на организм человека, он должен получать в достаточных количествах экологически чистые пищевые продукты, которые нейтрализуют вредное воздействие биосферы. В то же время на современном рынке продовольствия прослеживается негативная тенденция – производство пищевых продуктов пониженной себестоимости за счет замены натурального сырья пищевыми добавками химического происхождения [9].

В связи с этим развитие производства функционального питания, то есть включение в ежедневный рацион человека разнообразных продуктов, которые при систематическом употреблении обеспечивают организм не только энергетическим и пластическим материалом, но и регулируют физиологические функции и биохимические реакции. На сегодняшний день именно потребитель стремится получить высококачественные и безопасные продукты, позволяющие сохранять хорошее здоровье и качество жизни.

Огромная роль пищи и системы питания в жизни человека, а также развитии общества обусловливает необходимость контроля государства в этой сфере. Государство осуществляет регулирование качества продуктов питания с помощью механизмов стандартизации и сертификации. Фонд нормативных документов составляет около 900 межгосударственных и государственных стандартов, до 350 отраслевых и более 3500 технических условий. Особо следует отметить, что в настоящее время для предприятий пищевой промышленности введена в действие концепция, которая призвана обеспечить контроль производства пищевых продуктов на всех его этапах, любой точке процесса производства и предусматривает систематическую идентификацию, оценку и управление опасными факторами, существенно влияющими на безопасность продукции.

Система ХАССП должна стать эффективным средством управления при продвижении на рынке пищевых продуктов и защите производственных процессов от биологических (микробиологических), химических, физических и других рисков загрязнения.

Дальнейшее развитие народного хозяйства и повышение его эффективности существенно зависит от комплексного использования природных ресурсов, совершенствования технологических процессов и повышения эффективности охраны окружающей среды. Одна из важнейших задач современной технологии – разработка таких технологических процессов, которые исключают вредные выбросы в атмосферу и водоемы при комплексном использовании сырья и ускоренное внедрение малоотходных технологий и безотходных производств.

В соответствии с требованиями Технического регламента Таможенного союза № 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», при осуществлении процессов производства пищевой продукции изготовитель должен

разработать, внедрить и поддерживать процедуры, основанные на принципах ХАССП. Это позволит повсеместно обеспечить население безопасными и качественными продуктами питания во всех ценовых категориях выпускаемого ассортимента.

Таким образом, рассмотренные современные тенденции в развитии технологий пищевой промышленности дают понимание процессов, происходящих в разных секторах организации и технологии производства, управления качеством и безопасностью продукции пищевой индустрии, а также отражают перспективные направления ее развития.

Библиографический список

1. Магомедов, М.Д. Экономика пищевой промышленности / М.Д. Магомедов, А.В. Заздравных, Г.А. Афанасьева. – М.: Дашков и К, 2011. – 232 с.

2. Потороко, И.Ю. Современное состояние и тенденции развития хлебопекарной отрасли / И.Ю. Потороко, Н.В. Андросова // Сборник материалов XII Международной научно-практической конференции «Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства» – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2014. – С. 168–170.

3. Кипрушкина, Е.И. Инновационные технологии производства и хранения растительной продукции / Е.И. Кипрушкина // Материалы V Международной конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». – СПб.: СПбГУНиПТ, 2011. – С. 350–353.

4. Меренкова, С.П. Роль пробиотических микроорганизмов в технологии инновационных мясопродуктов с высокой пищевой и биологической ценностью / С.П. Меренкова // Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Серия «Пищевые и Биотехнологии». – 2014. – Т. 2. – С. 13–20.

5. Кретова, Ю.И. Перспективы использования СВЧ-обработки при производстве функциональных продуктов питания / Ю.И. Кретова, Ю.А. Шалагина // Товаровед продовольственных товаров. – 2014. – № 11. – С. 10–14.

6. Юсупова, Г.Г. Применение энергии СВЧ-поля для обеспечения безопасности и улучшения качества продуктов растительного происхождения / Г.Г. Юсупова, Ю.И. Зданович, Э.И. Черкасова // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2005. – № 7. – С. 27–29.

7. Галкина, Г.В. Современные методы гидролиза крахмалсодержащего сырья / Г.В. Галкина, Т.А. Ладур, Е.К. Сидорова. – М.: Аропромиздат, 2001. – 166 с.

8. Деликатная, И.О. Современные тенденции применения добавок в пищевой промышленности / И.О. Деликатная, С.Н. Бобрышева, И.Ю. Ухарцева // Премьер-Продукт. – 2006. – № 2. – С. 32–28.

9. Плотникова, Т.В. Насыщение продовольственного рынка за счет местного плодово-ягодного сырья / Т.В. Плотникова, Е.В. Тяпкина, Е.Б. Табала // Медицина и образование в Сибири. – 2009. – № 6. – С. 17–29.

К содержанию

УДК 664.7

ВЛИЯНИЕ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ НА КИСЛОТНОСТЬ И ВЛАЖНОСТЬ КРУП

Ю.А. Шалагина

Мукомольно-крупяная промышленность входит в число наиболее социально значимых отраслей агропромышленного комплекса. Изменения технологических свойств, в частности, объема зерна и его насыпной плотности имеет большое значение при производстве и упаковке готового продукта. В данной статье рассмотрено влияние СВЧ обработки на кислотность и влажность зерна.

Ключевые слова: быстроразваривающиеся крупы, СВЧ.

Мукомольно-крупяная промышленность входит в число наиболее социально значимых отраслей агропромышленного комплекса. Вырабатываемые из муки хлеб, хлебобулочные, макаронные, крупяные и кондитерские изделия необходимы всем в любом возрасте. Именно поэтому основным критерием продовольственной безопасности страны является стабильное обеспечение потребления продуктов переработки зерна. Пятую часть повседневного рациона россиян составляют именно продукты хлебной группы.

Целью данного исследования является выявить закономерность влияния СВЧ обработки на кислотность и влажность круп на примере гречневой крупы.

Для достижения данной цели необходимо изучить биохимический состав крупы, провести лабораторные исследования, проанализировать полученные результаты.

Данное исследование является частью исследования по разработке технологии производства быстроразваривающихся круп с применением СВЧ обработки.

Для определения качества зерна большое значение имеет его кислотность. Кислотность определяют по болтушке: водной, спиртовой или эфирной вытяжкам из размолотого зерна.

Кислотность обусловлена наличием в зерне кислореагирующих веществ. К этой группе можно отнести аминокислоты, белки, жирные кислоты, органические и неорганические кислоты. В зерне содержатся такие органические кислоты, как яблочная, щавелевая, молочная, аконитовая и др. При добавлении к взвеси или раствору щелочи кислота связывается с ней.

Нормальное здоровое зерно обычно имеет низкую кислотность (от 1 до 3°), для гречневой крупы кислотность равна 2,5…6°, рисовой – 1…2,5°, 2,5…8° для овяных круп [19]. При неблагоприятных же условиях хранения (прорастание, самосогревание) либо при очень длительном хранении ки-

слотность возрастает. Таким образом, кислотность является показателем свежести зерна. Она возрастает также и при хранении муки, крупы и комбикормов, тем более, если были нарушены условия хранения.

Кислотность выражают в градусах. Один градус кислотности равен одному миллилитру нормальной щелочи (гидроксида натрия), идущей на нейтрализацию кислоты в 100 г размолотого зерна при титровании.

Влажность крупы влияет на ее питательную ценность и является определяющим фактором при хранении. Для разных видов крупы предельно допустимая влажность колеблется от 12 до 17 %. При этом продукция, предназначенная для длительного хранения или отгрузки в отдаленные районы, должна иметь влаги на 1–1,5% меньше, чем используемая для текущего потребления. Так, влажность гречневой крупы предназначенной для длительного хранения, должна быть не более 13 %, а для текущего потребления – до 14 % [20].

Объектами исследования являются основные показатели качества круп – влажность и кислотность, предметом – крупа гречневая первого сорта.

Методы эксперимента – приведены ниже.

Определение кислотности крупы

Кислотность крупы характеризовали по двум показателям: титруемая кислотность и активная кислотность. Титруемую кислотность в кондитерском производстве принято выражать в условных единицах – градусах. За градус кислотности принимают количество кубических сантиментов 1 н раствора едкого натрия, необходимое для нейтрализации кислот и кислых солей в 100 г объекта исследования. Кислотность определяют методом титрования. Для этого навеску измельченной крупы массой 5 г отвешивали с точностью 0,01 г и количественно переносили в мерную колбу на 100 см^3. Затем приливали 50 см^3 дистиллированной воды с температурой 60–70 ºС, перемешивали и доводили объем до метки. Полученный раствор охлаждают до температуры 18–20 ºС, прибавляли 2–3 капли 1 % раствора фенолфталеина и титровали 0,1 н раствором гидроксида натрия до бледно-розового окрашивания, не исчезающего в течение 1 минуты. Кислотность (К) в градусах вычисляют по формуле:

$$K = 10\frac{V}{m},$$

где V – объем 0,1 н раствора гидроксида натрия, пошедшего на титрование, см^3;

m – масса навески крупы, г.

Определение влажности

Выделяют навеску массой 30 г и размалывают. Крупность размола контролируют по проходу сита 08, который для гороха шелушенного должен быть не менее 50 %, для овсяной крупы 60 %, для всех остальных круп не менее 75 %. Измельченную крупу помещают в банку с притертой пробкой,

хорошо перемешивают и из разных мест отбирают совочком две навески по 5±0,05 г в две чистые просушенные и предварительно взвешенные бюксы. Взвешивание проводят на технических весах с точностью до 0,01 г. Бюксы в открытом виде помещают в специальные гнезда сушильного шкафа СЭШ – 3 (или СЭШ – 3м) нагретого до температуры 140 °С. Причем в гнездо ставят крышку, а на крышку бюксу. Свободные гнезда сушильного шкафа закрывают заглушками. После установки бюксов контактный термометр переключают на температуру 130 °С. Обычно после установки бюксов температура падает ниже 130 °С. Как только сигнальная лампа на шкафу отключится, (температура достигла 130 °С) засекают время и сушат 40 минут. По истечении экспозиции высушивания, бюксы с измельченной крупой извлекают из шкафа тигельными щипцами, закрывают крышками и ставят в эксикатор до полного охлаждения, примерно на 20 мин. Охлажденные бюксы с измельченной крупой взвешивают с точностью до 0,01 г и ставят в эксикатор до конца подсчетов. Влажность крупы в процентах вычисляют по формуле:

$$X = 100\frac{Д_1 - Д_2}{Д_1},$$

где $Д_1$ – масса навески размолотой крупы до высушивания, г;

$Д_2$ – масса навески размолотого зерна после высушивания, г;

Х – влажность крупы, %.

Ход эксперимента

Основными параметрами СВЧ обработки является величина энергетической облученности продукта (мощность лучистого потока) и время облучения.

Как правило, с ростом мощности лучистого потока, подаваемого на зерновое сырье, степень модификаций в обрабатываемом сырье возрастает. С повышением мощности облучения появляется риск обгорания поверхности из-за неоднородности распределения температурного поля при интенсивной СВЧ обработке.

Увлажнение крупы водой при температуре 18–20 °С в количестве 1,5–2,0 % от общей массы крупы, перемешивание крупы в течение 60 мин до достижения влажности крупы 28–30 % обусловлено тем, что данный технологический прием позволяет увеличить количество свободной влаги в капиллярах приповерхностных оболочек и центральных слоях зерновок крупы, создать оптимальные условия для поглощения и пропускания СВЧ излучения крупой при термообработке, увеличить удельную поверхность парообразования в капиллярно-пористой структуре крупы при СВЧ-термообработке, снизить удельные энергозатраты на парообразование при СВЧ-термообработке крупы.

Термообработка увлажненной крупы СВЧ излучением в течение 5 мин при 50 % мощности при периодическом перемешивание позволяет снизить

конечную температуру обрабатываемой крупы, минимизировать перепад температур на поверхности и в центре каждой зерновки крупы, провести однородную СВЧ-обработку всего объема крупы, позволяет управлять развитием полей градиента температуры и влажности, с удержанием влаги в обрабатываемой крупе.

Выдерживание крупы в течение от 3-х до 6-ти мин при постоянном перемешивании в СВЧ поле обусловлено тем, что за это время, которое при заданном диапазоне температур необходимо для образования устойчивой структуры, состоящей из высококачественных декстринов, клетчатки и гемицеллюлозы во всем объеме углеводсодержащей части крупы, что позволяет создать структуру пищевых волокон крупы с наибольшей сорбционной емкостью. Если данный технологический прием осуществляется за время меньшее 3 мин, то образование высококачественных декстринов во всем объеме углеводсодержащей части крупы не наблюдается. Если данный технологический прием осуществляется за время большее 6 мин, то наблюдается резкое снижение витаминов группы В и резкое снижение сорбционной емкости (по данным исследования А.А. Андреевой).

Постоянное перемешивание необходимо для устранения слипаемости, а также предотвращения водообразования и агломерации крупы.

Окончательное охлаждение крупы до 18–20 °С в течение 3–5 мин необходимо для того, чтобы остановить процессы в крупе, т.е. осуществить «консервирование» и получить продукт быстрого приготовления с заданными функциональными свойствами.

Исследование влияния СВЧ воздействия на технологические свойства круп проводилось на примере перловой крупы. Основной целью было рассмотреть влияние СВЧ обработки на продолжительность варки.

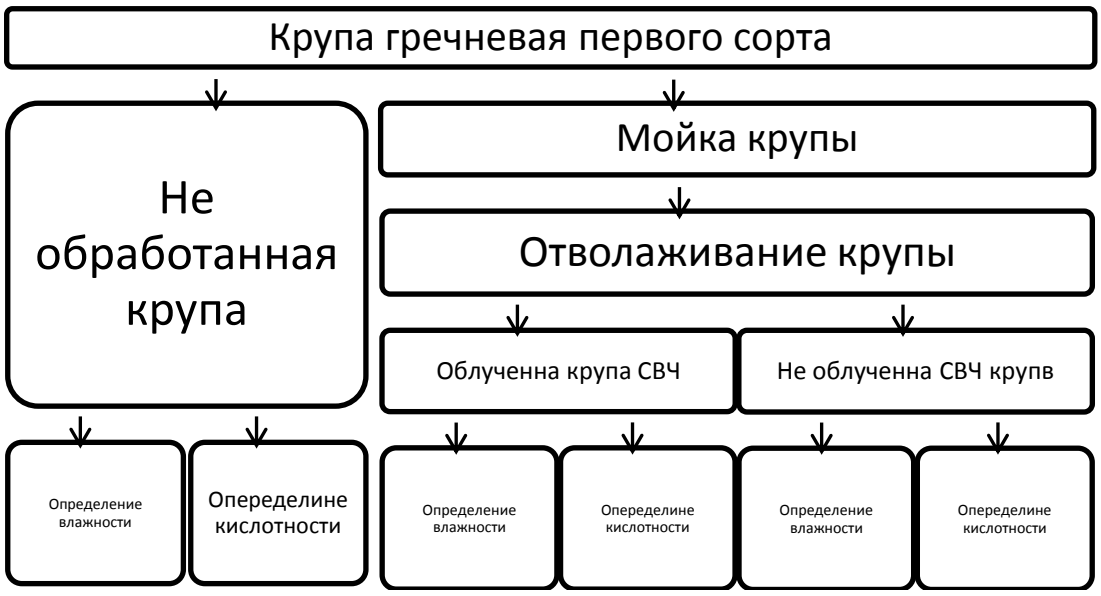


Рис. 1. Ход эксперимента

Пробы массой по 300 г из перебранной и очищенной гречневой крупы тщательно промывали в проточной воде. Затем пробы подвергали СВЧ облучению в стеклянной таре с закрытой крышкой. При воздействии СВЧ поля зерна крупы нагреваются, и происходит изменения в составе и структуре зерна. Изменения в объеме обусловлены тем, что клеточная стенка достаточно толстая, а при нагреве происходит набухание крахмала и увеличение его в объеме.

В ходе эксперимента были получены следующие данные, представленные в таблице 1 и 2.

Таблица 1

Изменение градуса кислотности крупы при СВЧ облучении

Мощность, кВт / Продолжительность обработки, мин	Кислотность крупы						
	0	200	400	500	600	800	1000
0	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90	5,90
2	5,90	5,10	4,20	4,20	4,30	4,20	4,00
4	5,90	5,10	4,10	4,40	4,40	4,10	4,00
5	5,90	4,80	4,40	4,60	3,60	3,90	3,70
6	5,90	4,80	3,60	4,32	3,90	5,00	5,20
8	5,90	4,40	4,00	4,30	4,20	6,00	6,60
10	5,90	4,40	4,00	4,00	4,00	6,40	6,90

Таблица 2

Изменение влажности крупы при СВЧ облучении

Мощность, кВт / Продолжительность обработки, мин	Влажность крупы, %						
	0	200	400	500	600	800	1000
0	24	22,00	23,00	24,00	24,00	24,00	24,00
2	24,00	22,15	16,32	22,40	22,00	21,45	21,20
4	24,00	21,68	15,40	10,80	10,45	7,27	8,23
5	24,00	19,25	14,37	6,77	6,80	6,70	6,75
6	24,00	18,65	13,38	6,60	5,87	5,87	5,78
8	24,00	18,12	12,39	5,75	5,75	5,63	4,65
10	24,00	18,65	11,39	5,65	4,70	4,65	2,92

Для наглядного анализа данных были построены графики изменения кислотности и влажности при обработке.

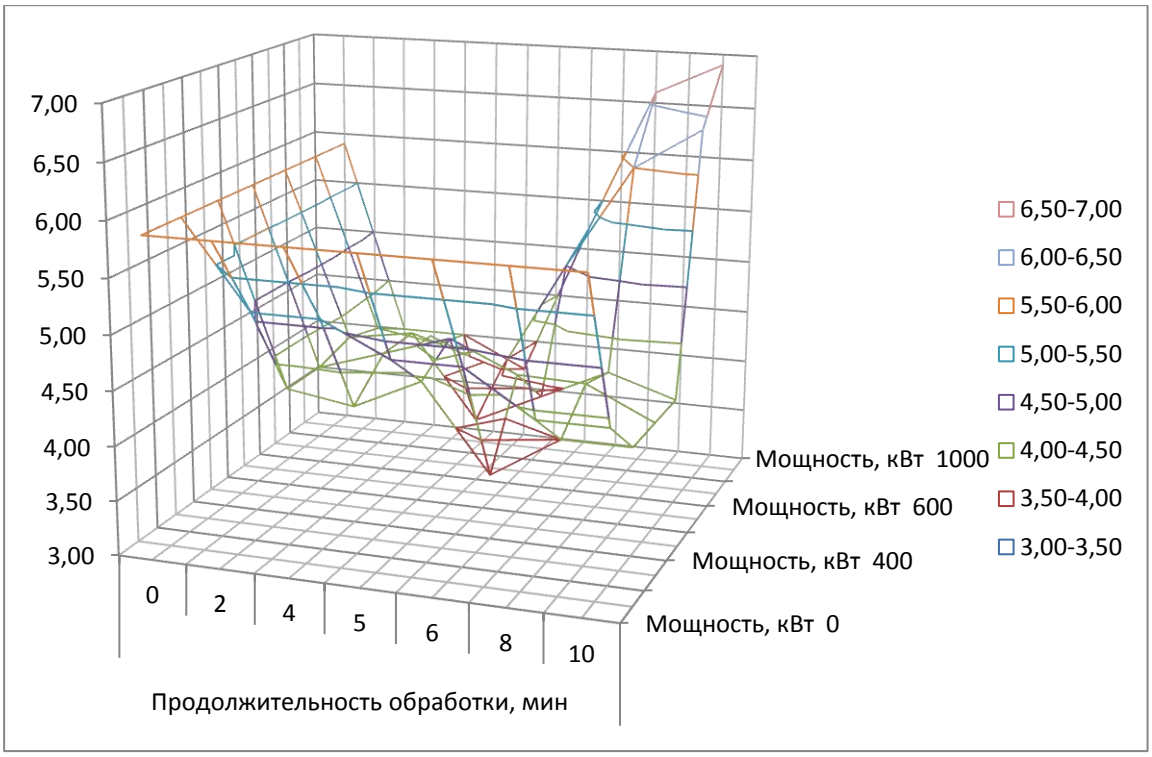


Рис. 2. Изменение градуса кислотности крупы при СВЧ облучении

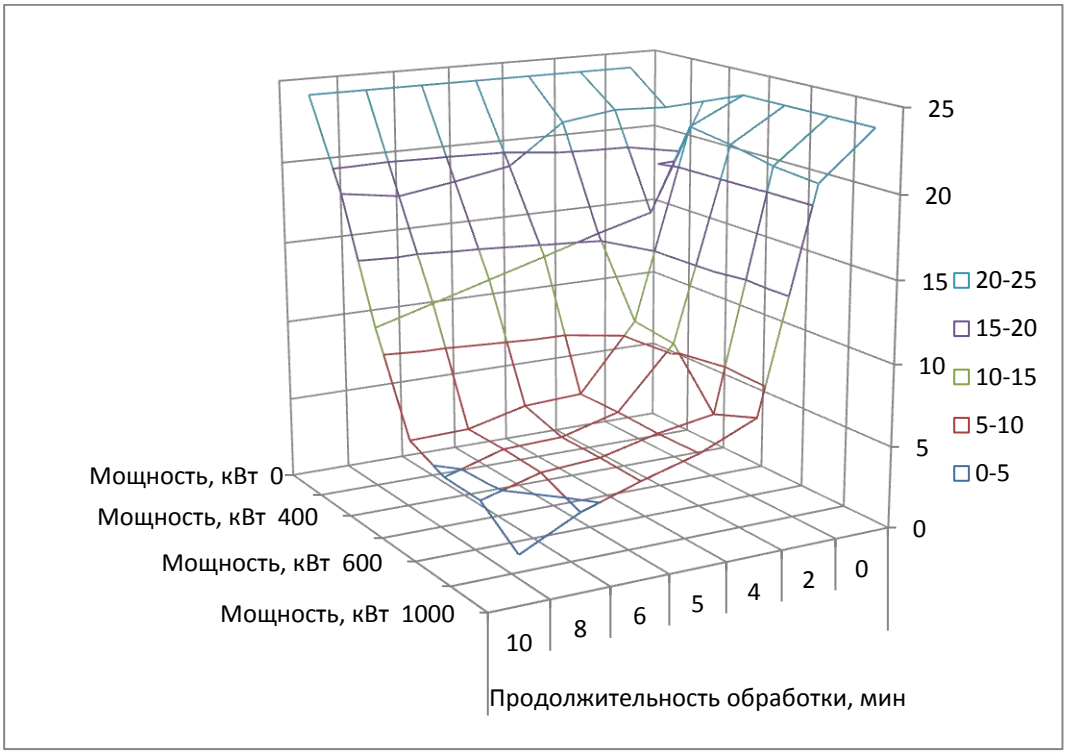


Рис. 3. Изменение влажности крупы при СВЧ облучении

Как видно из таблиц и рисунков влажность крупы резко снижается при обработке СВЧ полем. Причем, чем выше мощность потока и продолжительность обработки, тем ниже влажность крупы, с точки зрения длитель-

ного хранения, оптимальными будут режимы обработки мощность СВЧ поля более 400 ВТ, и длительность более 4 минут. Но при облучении мощностью более 600 Вт и длительностью более 6 минут происходит сгорание крупы в поле СВЧ.

Кислотность обусловлена наличием в зерне кислореагирующих веществ. К этой группе можно отнести аминокислоты, белки, жирные кислоты, органические и неорганические кислоты. В зерне содержатся такие органические кислоты, как яблочная, щавелевая, молочная, аконитовая и др.

При воздействии температуры белки денатурируют, жиры окисляются, а при облучении от 800 Вт свыше 6 минут происходит активное дымообразование, перегрев и сгорание продукта. Происходит гидролиз крахмала, все эти факторы влияют на кислотность облучаемого сырья.

Максимальный эффект сохранения внешнего вида и влажности крупы наблюдается при мощности 500 Вт и времени от 4 до 6 минут. Обработанная крупа имеет влажность до 10 %, что будет способствовать ее более длительному хранению, кислотность данной крупы также не высокая.

Библиографический список

1. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. ГОСТ Р 52349-2005; введ. 01.07.2006.

2. Юдина, С.Б. Технология продуктов функционального питания / С.Б. Юдина. – М.: ДеЛи принт, 2008. – 280 с.

3. Егоров, Г.А. Технология муки. Технология крупы: учеб. пособие для вузов по специальности 270100 «Технология хранения и переработки зерна» / Г.А. Егоров. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: КолосС, 2005. – 302 с.

4. Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 года: постановление Правительства РФ от 17 апреля 2012 г. N 559-р // Собрание законодательства. – 2012. – № 18 – Ст. 74.

5. Андреева, А.А. Разработка энергосберегающей технологии производства продуктов быстрого приготовления из крупяного крахмалосодержащего сырья: автореф. дис. … канд. техн. наук / А.А. Андреева. – М.: Моск. гос. ун-т пищевых пр-в (МГУПП), 2010. – 26 с.

6. Отраслевая программа Развитие мукомольно-крупяной промышленности Российской Федерации года: постановление Министерства сельского хозяйства РФ от 23 мая 2014 г. N 166 // Собрание законодательства. – 2014. – Ст. 15.

7. Пат. 2165714 Российская Федерация, МПК A23L1/168. Злаковый продукт быстрого приготовления с добавленными овощами и способ его получения / Эрнст Х. Раймердес; Пьер Дюпар; Освальдо Джеромини; Жан-Жак Дежардан.; заявитель и патентообладатель СОСЬЕТЕ ДЕ ПРОДЮИ НЕСТЛЕ С.А. (CH). – № 2165714; заявл. 22.12.1995; опубл. 27.04.2001. – 4 с.

8. Анисимова, Л.В. Влияние гидротермической обработки зерна на белковый комплекс крупяных продуктов / Л.В. Анисимова // Ползуновский вестник. – 2012. – № 2/2. – С. 158–162.

9. Мелешкина, Л.Е. Изменение углеводного комплекса перловой и гречневой крупы быстрого приготовления в процессе барометрического текстурирования / Л.Е. Мелешкина, В.С. Иунихина, М.А. Вайтанис //Ползунов. вестн. – 2012. – № 2. – С. 117–121.

10. Иунихина, В.С. Крупяные продукты -источник пищевых волокон / В.С. Иунихина // Хлебопродукты. – 2009. – № 5. – С. 44–46.

11. Скурихин, И.М. Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания: Справочник / И.М. Скурихин, В.А. Тутельян. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 276 с.

12. Химия и технология крахмала. Промышленные вопросы / под.ред. Р.Л. Уистлера и Э.Ф. Пашаля. – М.: Пищевая промышленность, 1975. –360 с.

13. Егоров, Г.А. Технологические свойства зерна / Г.А. Егоров. – М.: Агропромиздат, 1985.

14. Попова, Е.П. Микроструктура зерна и семян / Е.П. Попова. – М.: Колос, 1979. – 224 с.

15. Николаева, М.А. Хранение продовольственных товаров: учеб. пособие / М.А. Николаева, Г.Я. Резго. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2010. – 304 с.

16. ГОСТ 5784-60. Крупа ячменная. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.

17. ГОСТ 6201-68. Горох шлифованный. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 6 с.

18. ГОСТ 6292-93 Крупа рисовая. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 5 с.

19. ГОСТ 26971-86 Зерно, крупа, мука, толокно для продуктов детского питания. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 5 с.

20. ГОСТ 550-74 КРУПА ГРЕЧНЕВАЯ. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.

21. Патент 2264128 РФ, МПК: A 23 L 1/18, 1/20, A 23 P 1/14, F 23 B 3/30. Установка для термообработки зернового сырья / Филатов В.В., Филатов А.В., Кирдяшкин В.В., Елькин Н.В., Плаксин Ю.М., Андреева А.А.; заявитель и патентообладатель МГУПП. – № 2004129690/13; заявл. 14.10.04; опубл. 20.11.05, Бюл. № 32. – 8 с.

22. Патент 2372795 РФ, МПК A 23 L 1/18. Установка для термообработки пищевого материала / Андреева А.А., Доронин А.Ф., Елькин Н.В., Елькин И.Н., Кирдяшкин В.В.; заявитель и патентообладатель МГУПП. – № 2008145707/13; заявл. 20.11.08; опубл. 20.11.09, Бюл. № 32. – 8 с.

23. Заявка 2009120326/13 (028062). Способ производства продуктов быстрого приготовления из крахмалосодержащих круп / Филатов В.В., Андреева А.А., Доронин А.Ф., Кирдяшкин В.В.; заявители и патентообладатели: Филатов В.В., Андреева А.А., Доронин А.Ф., Кирдяшкин В.В. – № 2009120326/13 (028062); заявл. 29.05.09; приоритет 04.12.09.

К содержанию

УДК 664.66:536

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

И.Ю. Потороко, Н.В. Андросова

Исследования посвящены изучению влияния ультразвука на течение процессов технологии производства хлеба. В ходе эксперимента установлено изменение растворимости пищевой соли и сахара в зависимости от способа приготовления растворов.

Ключевые слова: хлебобулочные изделия, ультразвук, кавитация, растворы.

Для решения задачи повышения конкурентоспособности продукции пищевой промышленности, создания условий для обеспечения импортозамещения в отношении социально значимых продуктов питания, в Стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 года (утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 апреля 2012 г. № 559-р) предполагается комплекс мер, среди которых внедрение современных методов управления и системы интегрального контроля показателей качества и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов на этапах переработки, транспортирования и хранения [4].

По данным сообщества специалистов хлебопекарной и кондитерской отраслей основная тенденция развития хлебопечения в России – сохранение крупных и средних хлебозаводов при сокращении малых пекарен. В складывающиеся ситуации малые пекарни должны найти новые возможности для расширения ассортимента выпускаемой продукции и изменения качества и внешнего вида изделий. В таких условиях сетевые супер- и гипермаркеты являются наиболее эффективным форматом для продвижения хлеба и хлебобулочных изделий. К примеру, объем продаж хлеба и хлебобулочных изделий сети магазинов «Ашан» составляет 8–10 тонн в сутки, «Перекресток» – 4 тонны в сутки.

В соответствии с данными Госкомстата РФ, производство хлебобулочных изделий сократилось с 18,2 до 8 миллионов тонн. Изменения коснулись и структуры потребления хлеба – более дорогие сорта хлеба и хлебобулочных изделий стали пользоваться большим спросом. Положительной тенденцией является расширение ассортимента продукции, растущий спрос на свежевыпеченный горячий хлеб, на хлеб диетический, диабетический, а также с добавлением злаков. В апреле 2013 года была утверждена «Концепция развития специализированного и функционального хлебопечения».

Наиболее крупными российскими производителями хлеба и хлебобулочных изделий по данным Intesco Research Group являются: ОАО «Хлебозавод № 22», ЗАО «Хлебокомбинат «Пеко» (Москва), ОАО «Хлебный Дом», ОАО «Каравай» (Санкт-Петербург), ОАО «Первый хлебокомбинат» (Челябинск), ОАО «Липецкхлебмакаронпром» (Липецк), ОАО «Владимирский хлебокомбинат» (Владимир), ОАО «Волжский пекарь» (Тверь), ОАО «Ростовский хлебозавод № 1» (Ростов-на-Дону) и ЗАО «Щелковохлеб» (г. Щелково Московской области). Данные предприятия занимают лидирующую позицию на рынке уже несколько лет подряд.

При технологической переработке зерновых культур, в том числе пшеницы и ржи происходит существенная потеря витаминов и минеральных веществ, поскольку они удаляются вместе с оболочками зерна. Помимо этого, потеря этих важных биологически активных веществ происходит в процессе производства из муки хлеба и хлебобулочных изделий.

К примеру, содержание витаминов группы В (тиамина, ниацина, витамина B_6, фолиевой кислоты) и ряда минеральных веществ (железо, кальций) в процессе помола зерна и производства хлеба снижается в 2–6 раз.

Процесс производства хлеба достаточно дорогостоящий и энергоемкий. Ускорение процесса приготовления теста ведет к снижению затрат. На сегодняшний день существуют различные способы ускоренного тестоприготовления (увеличение дозировки дрожжей, применение комплексных улучшителей, заквасок и др.). Одной из главных проблем в хлебопечении является замедление процесса черствения хлеба. Одним из путей ее решения является использование различных добавок (замедляющих выход влаги, изменяющих структуру белка), природных компонентов. В конечном итоге использование пищевых добавок влияет на качество хлеба.

Процесс приготовления теста в технологии хлеба занимает около 70 % времени производственного цикла. Для производства хлеба используют основное (необходимая составная часть хлеба) и дополнительное (применяемое для повышения пищевой ценности и придания изделию специфических органолептических свойств) сырье:

− к основному сырью относятся мука, вода, дрожжи и соль;

− к дополнительному – жиры, сахар, патока, молочные продукты, солод, яйцо и яичные продукты, отруби или цельносмолотое зерно, орехи, изюм, пряности и др.

В соответствии с унифицированными рецептурами для получения пшеничного хлеба в среднем на 100 частей муки берут около 0,7–2,0 частей дрожжей, 1,0–1,25 частей соли, 50–70 частей воды (в зависимости от влажности сырья). Если изделие булочное или сдобное, то в рецептуру входит еще жир (2,5–13 частей) и сахар (5–20 частей) [1, 4].

Одним из основных видов сырья является вода, которая должна соответствовать требованиям стандарта к питьевой воде. Одним из показателей

качества питьевой воды является ее жесткость. Жесткость обусловлена наличием в воде солей кальция и магния, которые имеют свойство не только не ухудшают качество хлеба, но в некоторых случаях даже улучшают его, укрепляя слабую клейковину. Кроме этого, жесткая вода обеспечивает организм человека солями. При использовании мягкой питьевой воды рекомендуется проводить ее минерализацию, т.е. обогащение солями магния и кальция. Для обеспечения оптимальной температуры теста воду для замеса подогревают в среднем до температуры 34–36 °С.

Поваренная пищевая соль оказывает влияние на скорость брожения путем снижения активности дрожжей и замедления деятельности ферментов. Поэтому при приготовлении теста опарным способом соль вводят не в тесто, а в опару.

Все компоненты рецептуры рекомендуется вносить в растворенном или растопленном виде для лучшей однородности теста и исключения непромеса. Так, соль и сахар вносят в тесто в виде солевых и сахарных растворов, дрожжи прессованные – в виде дрожжевой суспензии, маргарин или масло сливочное – в растопленном виде и т.п.

В процессе технологии длительного брожения теста происходит формирование вкуса, аромата и структуры дрожжевого хлеба. Молекулы белков и углеводов изменяются под действием бродильной микрофлоры, что улучшает усвоение хлеба и хлебобулочных изделий. В настоящее время происходит замена длительных технологий приготовления хлеба на ускоренные. Ускоренные технологии позволяют сократить процесс производства хлеба в 2–3 раза. Достигается это в основном за счет применения интенсивного замеса теста, повышенных дозировок высокоактивных штаммов дрожжей, обязательного включения в рецептуры изделий хлебопекарных улучшителей, использования синтетических или натуральных ароматизаторов, усилителей вкуса, органических кислот и других достижений химии и биотехнологии. Лучше всего ускоренные технологии подходят для изготовления изделий из пшеничной муки высшего и 1 сортов [4].

Одним из путей интенсификации производства является использование электрофизических методов воздействия, к которым относится ультразвуковое воздействие. Ультразвук представляет собой упругие колебания высокой частоты. Под воздействием ультразвука в жидкости возникает явление ультразвуковой кавитации – образование в жидкости пульсирующих пузырьков (полостей), заполненной паром, газом или их смесью. В ультразвуковой волне во время полупериодов разрежения возникают кавитационные пузырьки, которые резко захлопываются после перехода в область повышенного давления, порождая сильные гидродинамические возмущения в жидкости, интенсивное излучение акустических волн. При этом в такой жидкости происходит разрушение поверхностей твердых тел, граничащих с кавитирующей жидкостью [5].

В качестве объектов исследования были определены солевые и сахарные растворы, используемые для замеса теста, вода для которых обрабатывалась ультразвуком мощностью 120, 180, 240 Вт и длительностью экспозиции 1, 2, 3 минуты.

Солевые и сахарные растворы готовили двумя способами:

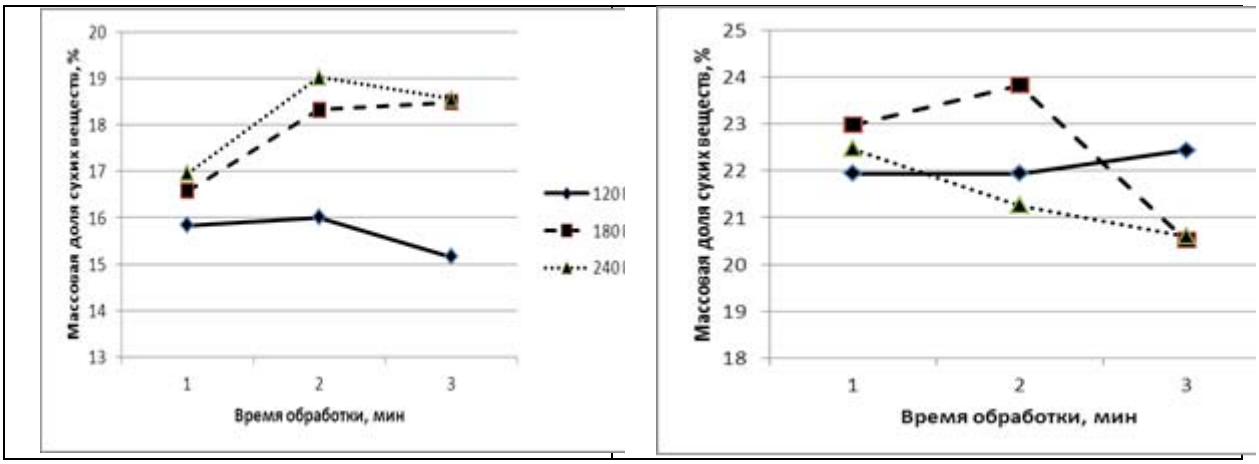
1) способ № 1 – обработка воды в ультразвуковом аппарате и смешивание с заданным количеством соли или сахара;

2) способ № 2 – смешивание воды с заданным количеством соли или сахара и обработка полученного раствора в ультразвуковом аппарате.

В растворах определяли массовую долю сухих веществ, результаты исследований представлены на рис. 1 и рис. 2.

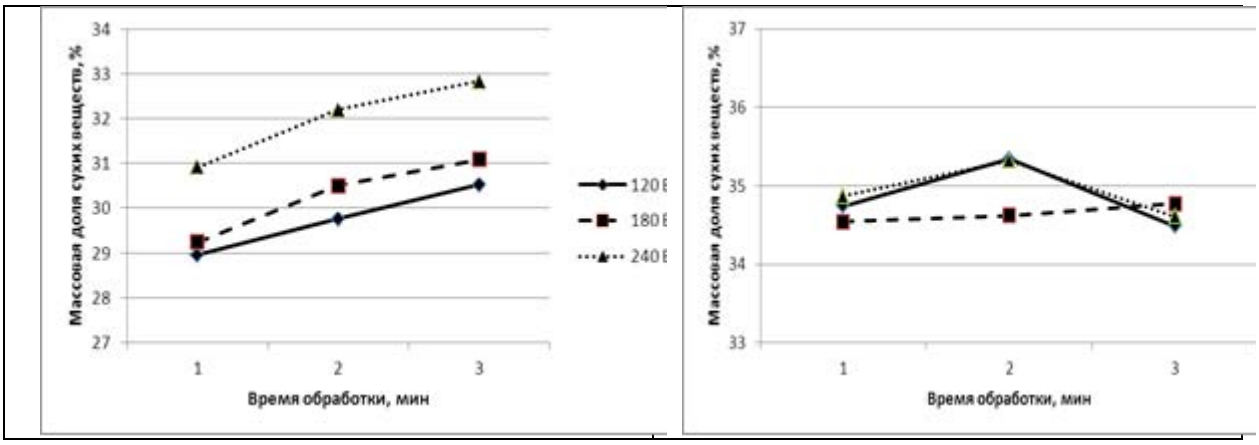
Исследования Поповой Н.В., Цирульниченко Л.А., Фаткуллина Р.И. (ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ)) в области изучения влияния эффектов ультразвука на свойства воды и водных растворов доказали его применимость для корректировки свойств. Доказано, что ультразвуковая обработка воды приводит к снижению значений показателя общей жесткости.

При этом характер зависимостей общей жесткости от мощности воздействия ультразвука несколько различен. Наиболее активно снижение общей жестокости наблюдается при обработке ультразвуком в течение 1 и 3 минут – общая жесткость снижается в среднем на 20 %, воздействие ультразвука в течение 5 минут при указанных мощностях позволяет снизить значения этого показателя еще лишь на 5–7% [3].



а б

Рис. 1. Зависимость массовой доли сухих веществ солевого раствора от времени и мощность ультразвукового воздействия: а – способ 2; б – способ 1



а б

Рис. 2. Зависимость массовой доли сухих веществ сахарного раствора от времени и мощность ультразвукового воздействия: а – способ 2; б – способ 1

Известно, что кавитационно дезинтегрированная вода на определенное время приобретает некоторые свойства, присущие воде вблизи температуры кипения, при этом оставаясь холодной. Вода, подвергшаяся ультразвуковому воздействию, становится сильным растворителем, а также способна активно вступать в реакции гидратации. При этом, в отличие от кипящей воды, такая вода не вызывает денатурацию биополимеров [3].

Результаты исследования показали, что выбор способа приготовления растворов влияет на растворимость веществ и может впоследствии обеспечить интенсификацию технологических процессов.

Библиографический список

1. Ауэрман, Л.Я. Технология хлебопекарного производства / Л.Я. Ауэрман. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 2005. – 416 с.

2. Белявская, И.Г. Пшеничное тесто: эффективность действия рецептурных компонентов / И.Г. Белявская, И.В. Матвеева // Хлебопродукты. – 1996. – № 1. – С. 15–18.

3. Шестаков, С.Д. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции / С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, В.И. Богуш, И.Ю. Потороко. – М.: Изд-во «ГИОРД», 2013. – 152 с.

4. Потороко, И.Ю. Применимость метода пробной лабораторной выпечки для исследования качества хлебобулочных изделий, производимых в условиях собственного производства на предприятиях розничной торговли / И.Ю. Потороко, Н.В. Андросова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2015. – Т. 3. – № 1. – С. 62–70.

5. Применение ультразвука в пищевой промышленности / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков и др. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203 с.

К содержанию

УДК 628.5(470.5) + 502.3:621.039(470.5)

ОБ ОПАСНОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА РАДИОНУКЛИДАМИ

Н.Л. Наумова

В статье представлена обзорная информация по загрязненности территории Уральского региона радионуклидами. Отмечены высокие дозы облучения населения Челябинской области, как за счет природных источников ионизирующего излучения, так и за счет деятельности предприятий ядерно-энергетического комплекса. Установлено, что единственным фактором, позволяющим снизить уровень радиационного загрязнения, является время, т.е. естественный распад радионуклидов.

Ключевые слова: радионуклиды, экологическая обстановка, ионизирующее излучение, стронций, цезий, Восточно-Уральский радиоактивный след.

Уральский регион в настоящее время представляет собой высокоразвитый агропромышленный комплекс. На фоне химического загрязнения природной среды он испытывает на себе самые разнообразные по генезису радиоактивные воздействия [5, 6, 16]. Значение годовой эффективной дозы облучения населения России за счет природных источников ионизирующего излучения в 2007 г. составило 3,15 мЗв/год. В Челябинской же области эта величина составила 5,3 мЗв/год [13].

Основным источником радиоактивного загрязнения окружающей природной среды Челябинской области являются предприятия и научно-исследовательские организации ядерно-энергетического комплекса, расположенные в городах: Озерск (ПО «Маяк») и Снежинск (РФЯЦ ВНИИТФ).

Производственное объединение «Маяк» было создано на Южном Урале в конце сороковых годов для получения оружейного плутония и переработки делящихся материалов. С 1948 года, началось очень опасное радиационное загрязнение нескольких крупных озер, рек: Течи, Исети, Иртыша и Тобола радиоактивными отходами производственного объединения «Маяк», которое продолжается и сегодня, обрекая сотни тысяч людей на жизнь в условиях перманентного посткатастрофного периода [1, 18].

29 сентября 1957 года произошел тепловой взрыв радиоактивных отходов на ПО «Маяк», повлекший радиационное загрязнение территорий Челябинской, Свердловской, Курганской областей [1, 7, 10, 20]. Активность выброса в окружающую среду радиоактивных продуктов составила $7{,}4 \times 10^{17}$ Бк. Радиоактивные продукты (стронций-90, цезий-137, церий-144 и др.), выброшенные в атмосферу, образовали радиоактивное облако, которое распространилось по направлению ветрового потока, а осевшие из него на поверх-

ность земли радиоактивные вещества загрязнили местность, образуя по ходу движения облака Восточно-Уральский радиоактивный след [6, 15, 18].

В реку Теча поступило около 2,8 МКu радиоактивных веществ по β-излучателям [4]. Активность, накопленная в донных отложениях и зоне затопления реки, составляет: активность ^{90}Sr – 0,1 PBq, ^{137}Cs – 0,3 PBq. В водной растительности, рыбе, траве, молоке, мясе зафиксировано повышенное содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs [9, 14]. Ежегодно выявляется большая часть проб, не соответствующая требованиям СанПиН по содержанию ^{137}Cs, относящаяся к дикорастущим продуктам, а также к молоку и молочным продуктам, получаемым в личных хозяйствах [13].

Радиоактивному загрязнению подверглись территории 15 административных районов (832 населенных пункта, 5 городов) с общей численностью населения около 1 млн 400 тыс. человек [11]. При этом население Челябинской области пострадало как от сбросов радиоактивных отходов в р. Теча, так и от аварии 1957 года. Некоторые жители стали жертвами последовательно двух радиационных ситуаций.

Любая информация о деятельности «Маяка» до конца 1989 года считалась строжайшей государственной тайной. И все это время люди пили зараженную воду р. Течи, купались в ней, ловили и ели рыбу, собирали в пойме реки грибы и ягоды, пасли там домашний скот, заготавливали корма и т.п. [8]. Неслучайно, глава администрации Челябинской области П.И. Сумин, обращаясь к российскому парламенту, охарактеризовал радиационное заражение Южного Урала как «одну из величайших человеческих трагедий XX века» и заявил, что «… на планете нет другого места, столь же загрязненного радиацией и столь же взрывоопасного». Челябинская область занесена в Книгу рекордов Гиннеса как самая радиационно-загрязненная территория на планете. Активность имеющихся в наши дни на Южном Урале радиоактивных отходов достигает огромной цифры – 37 млрд. ГБк. Этого количества достаточно, чтобы превратить в аналог Чернобыльской зоны отселения всю территорию бывшего СССР [16]. Единственным фактором, позволяющим снизить уровень загрязнения, является время, т. е. естественный распад радионуклидов [19].

Радионуклиды, включаясь в биологические цепочки, способны облучать ткани и органы живых организмов, в том числе и человека, что может привести к генетическим и соматическим последствиям различной степени тяжести [3].

По данным медицинских исследований, воздействие радиации при больших дозах вызывает серьезные поражения тканей. Малые дозы приводят к ослаблению организма, анемии, вегето-сосудистым расстройствам, понижают сопротивляемость организма к различным инфекционным заболеваниям, могут образовываться недоброкачественные опухоли и генетические дефекты, которые проявляются у детей и внуков человека, подвергшегося облучению, или у его более отдаленных потомков [2].

Отмечена особая чувствительность к радиации детей. Относительно небольшие дозы облучения хрящевой ткани могут замедлить или совсем остановить рост костей, что приводит к аномалиям развития скелета. Облучения мозга могут вызвать его изменения и привести к снижению или потере памяти, а у маленьких детей – даже к слабоумию и идиотии [21].

Библиографический список

1. Абдуллин, А.Г. Социально-психологические последствия крупномасштабных техногенных катастроф в отдаленном периоде: На примере Уральского региона: дис. … д-ра психол. наук / А.Г. Абдуллин. – Магнитогорск, 2006. – 447 с.

2. Алексеева, А.В. Реакции тканей на хроническое воздействие ионизирующего излучения / А.В. Алексеева // Радиационная биология и радиоэкология. – 2009. – Т. 49 (№ 1). – С. 5–20.

3. Величко, Б.А. Сорбенты для экомониторинга водных сред / Б.А. Величко, Г.В. Абрамова, Л.А. Шутова // Экология и промышленность России. – 2008. – № 3. – С. 32–33.

4. Воробьева, М.И. Реконструкция доз внешнего облучения населения, обусловленного сбросами радиоактивных отходов ПО «Маяк» в реку Теча: автореф. дис. … канд. физ.-мат. наук / М.И. Воробьева. – Челябинск, 2000. – 24 с.

5. Духовная, Н.В. Влияние радиационного и химического загрязнения водоемов ПО «Маяк» на состояние фитопланктонных сообществ / Н.В. Духовная, Д.И. Осипов, Г.А. Тряпицына // Вопросы радиационной безопасности. – 2011. – № 1. – С. 24–36.

6. Земерова, З.П. Современные уровни содержания радионуклидов и дозовые нагрузки от излучений ^{90}Sr и ^{137}Cs для гидробионтов водоемов ВУРСа / З.П. Земерова, С.Г. Левина // Научное наследие В.И. Вернадского и современные проблемы науки: Материалы I Всероссийской научно-практической конференции. – М., 2010. – С. 98–101.

7. Иванов, Д.В. Радиоэкологические исследования уровней облучения жителей Уральского региона методом ЭПР дозиметрии: дис. … канд. физ.-мат. наук / Д.В. Иванов. – Екатеринбург, 2005. – 147 с.

8. Комаров, Б.А. Почему возрастает интерес к препаратам на основе хитозана / Б.А. Комаров, Т.А. Трескунов, А.С. Фоменко // Место фитотерапии в современной медицине: М-лы науч. конф. – Черноголовка, 1999. – С. 23–26.

9. Коньшина, Л.Г. Факторы, определяющие заболеваемость населения районов, расположенных по рекам Теча и Исеть / Л.Г. Коньшина, В.Н. Шершнев, Н.В. Коновалова // Гигиена и санитария. – 2008. – № 3. – С. 8–11.

10. Николин, О.А. Тритий в водных экосистемах Уральского региона: дис. … канд. биол. наук / О.А. Николин. – Екатеринбург, 2008. – 108 с.

11. Новоселов, В.Н. Атомный след на Урале / В.Н. Новоселов, В.С. Толстиков. – Челябинск: Рифей, 1997. – 240 с.

12. Оберлис, Д. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных / Д. Оберлис, Б. Харланд, А. Скальный. – СПб.: Наука, 2008. – 544 с.

13. Онищенко, Г.Г. Радиационная обстановка на территории РФ по результатам радиационно-гигиенической паспортизации / Г.Г. Онищенко // Гигиена и санитария. – 2009. – № 3. – С. 4–7.

14. Осипов, Д.И. Влияние радиационного загрязнения на зоопланктон пресных водоемов / Д.И. Осипов, Г.А. Тряпицына, Е.В. Стяжкина // Вопросы радиационной безопасности. – 2011. – № 1. – С. 37–49.

15. Позолотина, В.Н. Последствия хронического действия радиации для флоры Восточно-Уральского радиационного следа / В.Н. Позолотина, Е.В. Антонова, Э.М. Каримуллина // Радиационная биология и радиоэкология. – 2009. – Т. 49 (№ 1). – С. 97–106.

16. Сумин, П.И. Народные депутаты об угрозе радиоактивного загрязнения Челябинска / П.И. Сумин. – Радио Москвы, 10.12.1990. – Методы оценки. – С. 27.

17. Уткин, В.И. Радиоактивные беды Урала / В.И. Уткин, М.Я. Чеботина, А.В. Евстигнеева. – Екатеринбург, УрО РАН, 2000. – 236 с.

18. Шагина, Н.Б. Разработка половозрастной модели метаболизма стронция для жителей Уральского региона: дис. … канд. физ.-мат. наук / Н.Б. Шагина. – Челябинск, 2003. – 126 с.

19. Юрченко, В.В. Сорбционное извлечение радионуклидов из природных вод тонкодисперсными алюмосиликатами / В.В. Юрченко, А.Ф. Никифоров, А.В. Свиридов // Экология и промышленность России. – 2010. – № 4. – С. 28–30.

20. Ярмошенко, И.В. Анализ отдаленных эффектов облучения населения северной части Восточно-Уральского радиоактивного следа / И.В. Ярмошенко, Л.Г. Коньшина, В.Л. Лежнин // Гигиена и санитария. – 2009. – № 3. – С. 49–51.

21. Anderson, R. Ascorbate and cysteine-mediated selective neutralisation of extracellular oxidants during N-formyl peptide activation of human phagocytes / R. Anderson, P.T. Lukey, A.J. Theron. – Agents and Actions. – 1987. – Vol. 20 (1/2). – P. 77.

К содержанию

УДК 664.7

ПРОИЗВОДСТВО МЯСНЫХ РУБЛЕНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ

Т.А. Пономарева

Статья посвящена вопросам повышения пищевой ценности мясных рубленых полуфабрикатов. Рассмотрено значение мясных продуктов в питании, факторы, влияющие на качество мясных полуфабрикатов в процессе приготовления. Рассмотрены направления повышения качества мясных рубленых полуфабрикатов на основе использования добавок растительного происхождения. Предложена технология мясных рубленых полуфабрикатов с воздушной гречневой крупой. Проведены исследования влияния воздушной гречневой крупы на потребительские свойства мясных рубленых полуфабрикатов.

Ключевые слова: мясные рубленые полуфабрикаты, пищевая ценность, крупа гречневая воздушная.

Важнейшей социальной и экономической задачей, стоящей перед обществом, является наиболее полное удовлетворение потребностей населения в качественных продуктах питания. В результате возникает задача расширения ассортимента и повышения качества выпускаемой продукции. Это относится и к производству изделий из рубленого мяса, которые занимают значительную долю в общем объеме производства кулинарных мясных изделий [1].

Мясо является наиболее ценным продуктом питания человека, так как в нем содержатся основные, необходимые для нормальной жизнедеятельности организма вещества – жиры, белки, углеводы, витамины, минеральные вещества, которые представлены в оптимальных количествах и легко усваиваются.

В ассортименте мясных продуктов важную роль играют мясные полуфабрикаты – изделия, максимально подготовленные для кулинарной обработки, что в современных условиях делает их особо привлекательными для потребителя. Ассортимент мясных рубленых полуфабрикатов каждый год расширяется за счет разработки новых рецептур и способах производства.

Основные задачи, стоящие перед общественным питанием и пищевой промышленностью является: разработка технологии изделий из рубленого мяса, сочетающее мясное сырье с другими добавками, что позволит получить продукт высокого качества; эффективное использование дефицитного мясного сырья.

В процессе тепловой обработки изделий из рубленого мяса потери их массы составляют от 19 % (изделия из котлетной массы) до 30 % (натуральные рубленые изделия). Потери происходят в основном за счет выде-

ления влаги и жира из продуктов [1]. Поэтому является актуальным разработка технологии производства изделий из рубленого мяса, которая обеспечивала бы сокращение потерь жира и влаги при тепловой обработке.

В настоящее время внимание исследователей и производителей пищевых продуктов направлено на создание новых пищевых продуктов, учитывающих структуру питания современного человека. Это продукты со сбалансированным составом, с пониженным содержанием сахаров и жира, с повышенным содержанием витаминов, пищевых волокон, минеральных веществ.

Перспективным путем решения проблемы рационального использования сырья, повышения качества блюд, расширения ассортимента кулинарных изделий из мяса является разработка технологии производства изделий из рубленого мяса, предполагающей внесение разнообразных добавок в фарш, которые позволят увеличить водо- и жироудерживающую способность мясных изделий, сократить потери их массы при тепловой обработке. Таким образом, происходит экономия мясного сырья и повышается их биологическая и пищевая ценность.

Для создания мясных рубленых изделий практический интерес представляет растительное сырье и вторичные растительные ресурсы. Растительное сырье – это источник ряда необходимых организму пищевых веществ, поступление которых не может быть обеспечено только за счет животных продуктов – это аминокислоты, витамины, минеральные вещества, пектины и пищевые волокна [2]. Они обладают выраженными лечебно-профилактическими свойствами, невысокой себестоимостью и доступны для потребителя.

В настоящее время на мировом рынке имеются более 100 видов белковых препаратов растительного происхождения, используемых в качестве наполнителей при производстве мясных рубленых изделий и заменителей мясного белка. Это связано с имеющимся дефицитом в настоящее время животного белка. Поэтому около 65 % от общей потребности населения удовлетворяется за счет растительных белков. Чаще всего для замены используют белки сои. Многочисленные исследования посвящены изучению свойств белков сои и вопросам применения их в производстве мясных рубленых продуктов.

В мясной фарш сою могут добавлять в виде муки, белкового изолята, белковых концентратов, используют также соевый жмых, остающийся после экстрагирования белка. Соевые препараты имеют высокую растворимость, хорошую влагосвязывающую и жиросвязывающую способность, они близки по химическому составу к мясным продуктам и обладают высокой пищевой ценностью. Соевые добавки не оказывают существенное влияние на органолептические показатели готовых изделий, увеличивают содержание полноценных белковых веществ, способствуют сокращению потерь массы полуфабрикатов при тепловой обработке.

Большой интерес представляет использование добавок овощей при производстве мясных рубленых полуфабрикатов. За счет стабилизирующей и эмульгирующей способности овощей улучшаются структурно-механические свойства готовых изделий, а также увеличивается количество витаминов, пищевых волокон, минеральных веществ. В качестве овощных добавок в мясные рубленые полуфабрикаты используют картофельные продукты: сушеный картофель, картофельную муку, картофельную кашку. А также применяют пюре и порошки из моркови, тыквы, свеклы, кабачков и других овощей.

Нужно учитывать, что использование овощных ингредиентов затруднено из-за сезонности сбора овощей, их высокой влажности и недостаточной устойчивостью при хранении. Поэтому при производстве мясных рубленых изделий применяют в основном овощи в виде порошков. Используют овощные порошки обычно в гидратированном виде при соотношении овощного порошка и воды 1:2, с заменой до 10 % мясного сырья [3].

В качестве ингредиента, придающего пищевым продуктам функциональные свойства, можно использовать яблоки свежие, сухофрукты из них, яблочный порошок. Яблоки – это ценный витаминно-минеральный комплекс, который имеет большое количество пищевых волокон. Также в качестве добавки в мясные продукты можно использовать чернослив. Чернослив богат витаминами, микроэлементами (натрий, магний, фосфор, фтор), органическими кислотами, клетчаткой т.д. Чернослив полезен при авитаминозах, благотворно влияет на работу сердечно-сосудистой системы, благодаря содержанию в нем полифенолов. Мясные рубленые полуфабрикаты с такими добавками имеют положительные характеристики по органолептическим и физико-химическим показателям, так же повышается их пищевая и биологическая ценность, увеличивается водосвязывающая способность изделий.

В целом использование натуральных продуктов технологии мясопродуктов ограничено по нескольким причинам. Во-первых, из-за низкого содержания пищевых веществ в натуральных растительных наполнителях, в результате чего не происходит эффективного их обогащения. Во-вторых, из-за снижения содержания белковой части продукта, так как мясной фарш и растительные добавки не равнозначны по биологической ценности [3].

Большое распространение получило добавление в мясной фарш углеводистых продуктов – муки зерновых (пшеницы, риса, пшена, кукурузы) и бобовых культур, модифицированных крахмалов и т.д.

Известно, что крахмалосодержащие продукты обладают большой влагоудерживающей способностью, например, влагоудерживающая способность картофельной муки составляет 300 %. Введение крахмалосодержащих продуктов усиливает поглощения влаги мышечными волокнами мяса.

При введение в мясной фарш, например, 5 % крахмалосодержащих продуктов позволяет снизить потери влаги при тепловой обработке на 11 %.

Также в качестве добавки в мясные рубленые полуфабрикаты используют отруби пшеничные, овсяные, ячменные. Отруби могут вводить в фарш в сухом виде, в сухом виде после тепловой обработки или в гидратированном виде. Гидратацию отрубей проводят при температуре 40 °С в соотношении 1:2,4. Оптимальный уровень введения отрубей в мясные рубленые изделия составляет в среднем 6–10 %, что обеспечивает организм человека на 4–18 % пищевыми веществами от их суточной потребности. Данные добавки обеспечивают обогащение мясных изделий пищевыми волокнами, повышают их биологическую и пищевую ценность, обогащают продукты витаминами группы В и РР, минеральными солями и фитиновой кислотой, которая способствует выведению из организма токсинов, тяжелых металлов, а также увеличивают водоудерживающую и жироудерживающую способность изделий, что способствует снижению потерь массы при тепловой обработке.

В ФГБОУ ВПО ЮУрГУ (НИУ) на кафедре «Технология и организация питания» проводятся исследования, обеспечивающие расширение ассортимента мясных рубленых полуфабрикатов и повышения их пищевой и биологической ценности. В качестве добавки используется воздушная гречневая и рисовая крупа. На данную разработку был получен патент на изобретение № 2428058 «Способ приготовления мясных рубленых полуфабрикатов». Наиболее близким к заявленному способу является способ приготовления котлет, биточков и шницелей (Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания, 1996 г, рецептура № 416) [4].

В основу изобретения положена задача расширения ассортимента рубленых полуфабрикатов и повышения биологической и пищевой ценности готового продукта.

Воздушная гречневая крупа характеризуется высокими пищевыми и вкусовыми достоинствами. В ее состав входят органические кислоты (лимонная, яблочная, щавелевая), которые способствуют лучшей усвояемости питательных веществ организмом. Так же в воздушной гречневой крупе много фосфора, железа, кальция и калия, витаминов: тиамина, рибофлавина и ниацина, и она содержит большое количество пищевых волокон.

Воздушная рисовая крупа очень питательна и хорошо усваивается организмом человека. Основная часть углеводов рисовой крупы приходится на долю крахмала. Аминокислотный состав белков достаточно полноценен. В рисовой крупе очень мало жиров, что способствует ее хорошей сохранности.

Также одним из отличительных свойств воздушных круп является способность выводить из организма человека соли тяжелых металлов. Хими-

ческие изменения, происходящие в крупе при взрывании, повышают ее пищевую ценность. Воздушные крупы обладают высокой водосвязывающей способностью, обусловленной наличием гидрофильных групп полимеров.

Способ приготовления мясных рубленых полуфабрикатов с использованием воздушных круп, включает измельчение мясного сырья, получение фарша из измельченного мяса, предварительно замоченного пшеничного хлеба, соли, перца черного молотого, воды, формирование полуфабрикатов, отличающийся тем, что в фарш дополнительно вводят измельченную до размера частиц 0,3–0,5 мм воздушную крупу в количестве 25–90 % от массы пшеничного хлеба, которую предварительно гидратируют в соотношении воздушная крупа:вода 1:3 в течение 15–20 мин при температуре воды 25–30 °С, и вареную морковь в количестве 3–6 % от массы мясного сырья.

Введение вареной моркови в фарш способствует дополнительному обогащению продукта минеральными веществами, витаминами и пищевыми волокнами.

Предварительная гидратация измельченной воздушной крупы является необходимой, так как при введении воздушной крупы в сухом виде происходит обезвоживание мясного сырья с перераспределением части слабосвязанной влаги из мяса в капиллярную систему пищевых волокон воздушной крупы.

Исследования показали, что количество микроорганизмов в мясных рубленых полуфабрикатов с воздушными крупами, выработанных по данному способу соответствует предельно-допустимым нормам в соответствии с требованиями СанПиН 2.3.2.1078-01 [5].

При добавлении в рубленые полуфабрикаты воздушной гречневой и рисовой крупы улучшаются структурно-реологические, органолептические свойства готового продукта, повышается его пищевая и биологическая ценность, происходит обогащение его пищевыми волокнами. А также увеличивается выход готовых изделий, за счет хорошей водосвязывающей способности воздушных круп. Так же введение воздушной гречневой и рисовой крупы в мясные рубленые полуфабрикаты позволит снизить потери при тепловой обработке до 10–13 %.

Дегустационной оценкой установлено, что мясные рубленые полуфабрикаты, изготовленные по предлагаемой рецептуре, в отличие от известных рецептур, имеют более приятный вкус и аромат, они сочны, имеют нежную консистенцию и отличаются оригинальностью.

Предлагаемая рецептура мясных рубленых полуфабрикатов позволяет вырабатывать их на предприятиях общественного питания, где осуществляется реализация мясных рубленых изделий, а также производство их на предприятиях пищевой промышленности.

Библиографический список

1. Осипова Л. Д. Разработка кулинарной продукции из рубленого мяса повышенной водо – и жироудерживающей способности: дис. … канд. техн. Наук / Л.Д. Осипова. – Орел, 2004. – 232 с.

2. Вайтанис, М.А. Перспективы расширения ассортимента комбинированных мясных продуктов / М.А. Вайтанис // Ползуновский вестник – 2011. – № 3/2. – С. 159–162.

3. Разработка функциональных мясных продуктов, обогащенных пищевыми волокнами и минеральными веществами / Г.Т. Кажибаева, Б.К. Асенова, Ф.Х. Смольникова // Zbior raportow naukowych. Wpływ badań naukowych. (28.04.2013–30.04.2013). Bydgoszcz: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2013. – Str. 52–55.

4. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий: Для предприятий обществ. Питания / Авт.-сост. А.И. Здобнов, В.А. Цыганенко. – М.: «ИКТЦ «ЛАДА», К.: «Издательство «Арий», 2006. – 680 с.

5. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.

К содержанию

УДК 664.681.2 + 634.722

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОРОШКА ИЗ ЯГОД КРАСНОЙ СМОРОДИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

А.А. Рущиц

Статья посвящена вопросам повышения качества мучных кондитерских изделий на примере бисквитных полуфабрикатов с использованием растительной добавки – порошка из ягод красной смородины. Рассмотрен химический состав ягод красной смородины. Обосновано ее использование в производстве мучных изделий. Предложена технология получения порошка из ягод красной смородины на основе сушки в СВЧ поле и исследовано его влияние на органолептические свойства бисквитных полуфабрикатов.

Ключевые слова: бисквитный полуфабрикат, красная смородина, сушка в СВЧ поле.

Согласно Концепции здорового питания РФ одним из приоритетных направлений в производстве продуктов питания является разработка продукции, способствующей улучшению и сохранению здоровья нации в условиях воздействия антропогенных факторов и современного образа жизни. Среди огромного разнообразия продуктов питания мучные кондитерские изделия занимают одно из центральных мест по уровню потребления.

В связи с чем, эта группа является перспективным объектом для создания обогащенных и функциональных продуктов [1, 5].

Бисквитные полуфабрикаты по объемам производства и потребления занимают лидирующие позиции на рынке мучных кондитерских изделий. Популярность бисквитных изделий обусловлена разнообразием ассортиментной линейки данной продукции, привлекательным внешним видом, приятным вкусом и ароматом. Однако пищевая ценность бисквитных полуфабрикатов, как и других групп мучных изделий не соответствует нормам рационального питания. Все это позволяет рассматривать бисквитные полуфабрикаты как объекты для разработки обогащенных продуктов питания [2].

Продукты переработки ягод являются ценным биологически активным сырьем, так как содержат большой спектр эссенциальных нутриентов – витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон, органических кислот. Благодаря сбалансированному химическому составу, их можно рассматривать как сырье для разработки обогащенных мучных кондитерских изделий [2].

Красная смородина широко распространенное растение на Южном Урале. В составе ягод красной смородины большое количество биологически активных веществ – органических кислот, витаминов А, С, Е, β-каротина, минеральных веществ, пектиновых веществ, моно- и дисахаридов, антиоксидантов, в частности селена. Благодаря высокому содержанию пектинов, красная смородина способствует выведению из организма человека токсинов и шлаков, предупреждению развития воспалительных процессов, используется для лечения и профилактики желудочно-кишечных заболеваний, тормозит развитие злокачественных новообразований [3, 4].

По данным научных исследований ягоды красной смородины содержат кумарины и фурокумарины. Это ценные вещества, обладающие противоопухолевым и болеутоляющим действием, а также другими целебными свойствами. Содержание пектинов в красной смородине сравнимо с аптечными препаратами, а йода в ней столько же, сколько в фейхоа или хурме [3, 4].

Таким образом, использование ягод красной смородины в производстве бисквитных полуфабрикатов позволит повысить пищевую ценность, обогатить продукцию эссенциальными нутриентами и придать ей функциональные свойства.

Наиболее удобной формой введения растительного сырья в состав мучных кондитерских изделий являются порошки. В таком виде сырье может довольно длительное время храниться, лучше смешивается с рецептурными компонентами, главным образом с мукой [2].

С целью разработки технологии получения порошка из ягод красной смородины провели сравнение двух видов сушки – конвективной и сушки в СВЧ поле. Сушку ягод проводили до конечной влажности 8 %. Продолжительность сушки конвективным способом при температуре 50–55 ^{o}С составила 10 ч. При этом органолептические показатели высушенных ягод

достаточно высокие – практически не изменяется цвет, сохраняется аромат и вкус ягод. Однако в процессе сушки происходит изменение пищевой ценности и в первую очередь существенно снижается содержание витамина С, летучих органических кислот.

Продолжительность сушки в СВЧ поле зависит от мощности. Для определения оптимального режима проводили сушку при мощности 300–700 Вт. При этом продолжительность сушки составила от 20 до 60 мин. На рис. 1 представлена кривая сушки ягод красной смородины в зависимости от разных температур сушки до влажности конечного продукта 8 %.

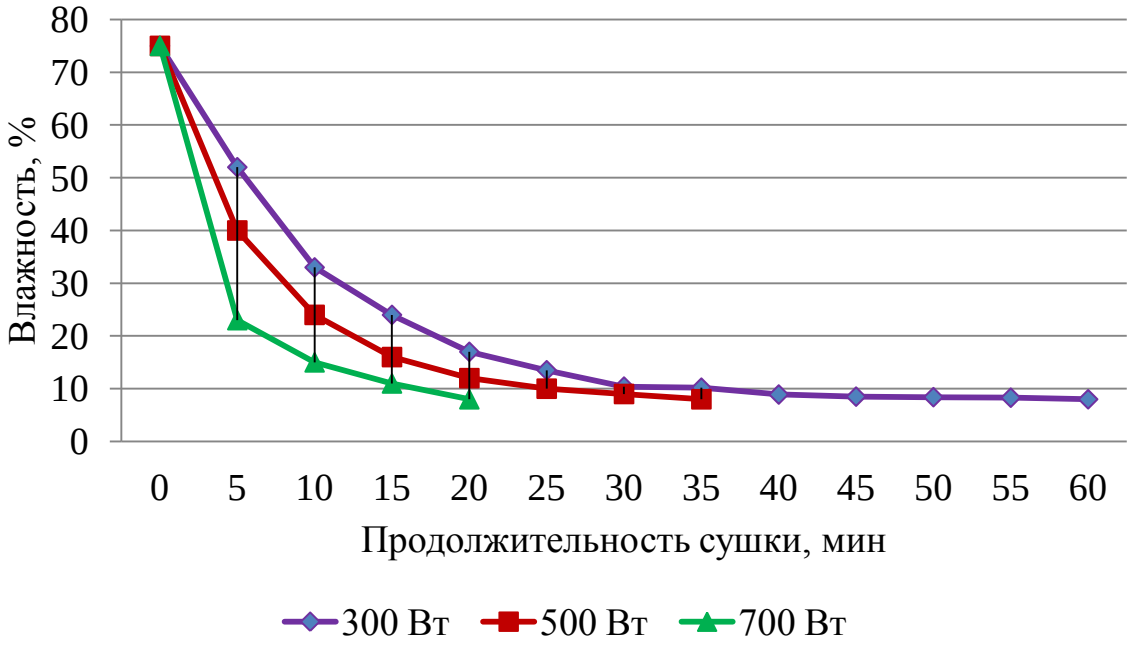


Рис. 1. Продолжительность сушки в СВЧ поле

Из данных представленных на рис. 1 видно, что с увеличением мощности СВЧ поля скорость сушки возрастает. Однако, сушка при 700 Вт приводит к снижению органолептических показателей порошка. Происходит интенсивное потемнение, появляется горький привкус. Порошок, полученный высушиванием ягод при 300 и 500 Вт, имел хорошие органолептические показатели – неяркий красный цвет, приятный аромат и вкус. Изменение содержания витамина С и органических кислот в порошке после СВЧ сушки было незначительное. Сушка при мощности 500 Вт происходила в 1,7 раза быстрее, чем при 300 Вт.

Таким образом, наиболее оптимальным режимом сушки ягод красной смородины является сушка в СВЧ поле при мощности 500 Вт в течение 35–40 мин. Такой режим обеспечивает хорошие органолептические показатели конечного продукта – порошка из ягод красной смородины, а также позволяет экономить затраты электроэнергии за счет сокращения продолжительности сушки в 15 раз.

Для получения порошка высушенные ягоды красной смородины измельчали на лабораторной мельнице и просеивали через сито № 43. С целью оценки влияния добавки на пищевую ценность бисквитного полуфабриката провели сравнительный анализ химического состава порошка из ягод красной смородины (ПКС) и муки пшеничной. Результаты анализа представлены в таблице.

Из данных табл. видно, что ПКС по содержанию большинства эссенциальных нутриентов превосходит муку пшеничную. Так, содержание белков в ПКС в 1,95 раз больше, содержание моно-и дисахаридов – в 3,9 раза, пищевых волокон – в 34 раза, содержание кальция в 70 раз, фосфора – в 13,5 раз, железа – в 26 раз, витамина РР – в 5,8 раз, витаминов группы В – в 6,6 раз больше чем в муке пшеничной. Также в ПКС присутствуют биологически активные компоненты, которых нет в муке пшеничной – витамин С, β-каротин, селен. Таким образом, использование порошка из ягод красной смородины в технологии бисквитных полуфабрикатов позволит создавать продукты с улучшенными потребительскими свойствами, обогащенные физиологически необходимыми нутриентами.

Таблица

Сравнительный анализ химического состава порошка из красной смородины и муки пшеничной (г/100 г СВ)

Показатель	Мука пшеничная	Порошок из ягод красной смородины
Белки, г	12,56	24,5
Жиры, г	1,51	8,16
НЖК, г	0,23	4,11
Углеводы, г	81,28	314,82
МДС, г	1,16	314,82
Пищевые волокна, г	4,06	139,04
Зола, г	0,58	24,5
Минеральные вещества:		
Na, мг	3,49	858,67
K, мг	14186	11244,4
Ca, мг	20,93	1472
Mg, мг	18,6	695,1
P, мг	100	1349,33
Fe, мкг	1,39	36,8
Витамины:		
РЭ, мг	–	1349,33
ТЭ, мг	1,74	20,42
B_1, мг	0,2	0,43
B_2, мг	0,05	1,23
РР, мг	1,39	8,16
НЭ, мг	3,49	12,7
С, мг	–	1022,24

Для исследования влияния ПКС на потребительские свойства бисквитного полуфабриката провели пробные лабораторные выпечки с добавлением ПКС в количестве 5–15 % к массе пшеничной муки. Технологический процесс не изменяли. ПКС вносили вместе с мукой на этапе замеса теста. Контрольным образцом является бисквит основной приготовленный по рецептуре № 1 [6].

После выпечки опытных образцов бисквита провели органолептическую оценку полуфабрикатов. Результаты представлены на рисунке 2.

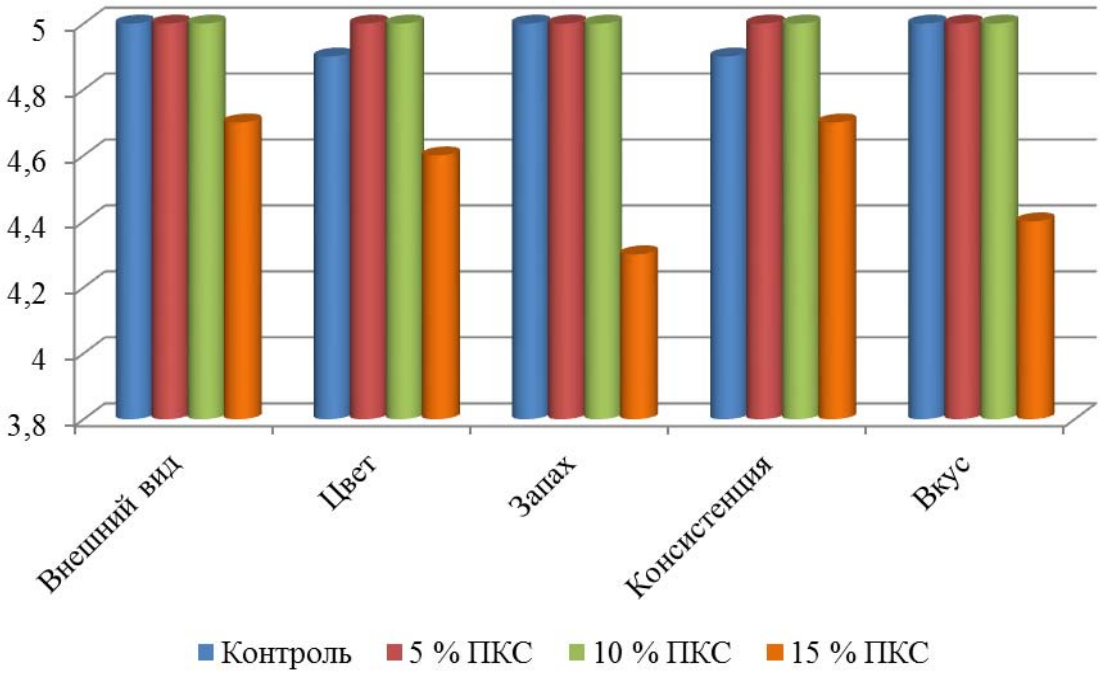


Рис. 2. Органолептические показатели бисквитных полуфабрикатов

Из данных представленных на диаграмме видно, что образцы бисквитов с добавление 5 и 10 % ПКС не уступают контрольному образцу по органолептическим показателям, а по некоторым даже превосходят его. При добавлении ПКС в рецептуру бисквита окраска корочки становится более яркой, равномерной, мякиш приобретает кремовый оттенок. Изделия приобретают приятный аромат и легкий привкус смородины. При добавлении 15 % ПКС в рецептуру бисквита основного окраска выпеченного полуфабриката более темная, появляется ощутимый запах смородины и кисловатый привкус. Полученные данные органолептической оценки бисквитных полуфабрикатов с ПКС свидетельствуют о том, что наиболее высокие баллы получил опытный образец с 10 % добавкой порошка. Это изделие имело равномерную румяную корочку на поверхности, сладкий вкус, с привкусом и ароматом красной смородины, мягкую, однородную, пропеченную консистенцию, а также внешний вид, соответствующий данному виду продуктов.

Таким образом, на основании проведенных исследований обоснована возможность использования порошка из ягод красной смородины в производстве бисквитного полуфабриката. На основании органолептического анализа определено оптимальное количество добавки. Проведенный анализ химического состава порошка красной смородины позволяет предположить повышение пищевой ценности разработанной продукции и улучшение ее потребительских свойств.

Библиографический список

1. Денисов, Б.П. Оценка состояния здоровья населения России / Б.П. Денисов // Международный журнал медицинской практики. – 2005. – № 3. – С. 31–36.

2. Доценко, В.Ф. Возможности использования плодовых порошков в технологии бисквитных полуфабрикатов / В.Ф. Доценко, Ю.А, Мирошник, Е.Б. Шидловская, И.М. Медвидь // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 3. – Вып. № 10(69). – С. 64–69.

3. Ильин, В.С. Смородина красная / В.С. Ильин // Смородина: сб. трудов. – Челябинск, 2007. – С. 280–342.

4. Макаркина, М.А. Селекция смородины красной на улучшенный химический состав / М.А. Макаркина, О.Д. Голяева // Сельскохозяйственная биология. – 2013. – № 3. – С. 18–27.

5. Об основах государственной политики в области здорового питания // Распоряжение правительства РФ от 25 октября 2010 г. № 1873-р г. Москва. – URL: http://www.rg.ru/2010/11/03/pravila-dok.html.

6. Павлов, А.В. Сборник рецептур мучных кондитерских и булочных изделий / А.В. Павлов. – М.: Гидрометеоиздат, 1998. – 294 с.

К содержанию

УДК 664.786.01–492.2

О ПРИМЕНЕНИИ В-ГЛЮКАНА В ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

А.С. Саломатов

Статья посвящена анализу литературных источников по применению β-глюкана в технологии продуктов питания. Дана характеристика β-глюкану, его химическому составу и строению. Описана способность β-глюкана оказывать влияние на реологические характеристики продуктов питания, обеспечивая придание продуктом новых свойств. Проанализированы основные источники β-глюкана, а также проведена оценка экономической эффективность выделения β-глюкана из ячменя. Представлена информация о локализации β-глюкана в ячмене. Систематизация литературных источников по влиянию β-глюкана на здоровье позволила установить, что регулярное потребление β-глюкана способствует снижению холестерина в плазме крови; замедляет всасывание сахаров; оказывает положительное влияние на процесс пищеварения, а также снижает гликемический индекс продуктов. Представлен анализ работ зарубежных ученых, посвященных влиянию β-глюкана на здоровье человека. Дана информация о рекомендуемых нормах потребления. Представлена информация о продуктах питания с β-глюканом, которые уже сегодня можно встретить на полках магазинов.

Ключевые слова: β-глюкан, пищевые волокна, функциональный ингредиент, пищевая добавка, гликемический индекс.

В последние годы в мире увеличилось количество исследований в области применения β-глюкана, а также сырья с высоким его содержанием (ячмень, овес, дрожжи), в пищевой промышленности [1-3]. Повышенный интерес к β-глюкану совпал с широким распространением ряда заболеваний, обусловленных неправильным питанием. По природе β-глюкан представляет собой полисахарид, структурными элементами которого являются единицы глюкозы (гексозы), образующие линейную структуру за счет 1–3 гликозидной связи. Ветвление макромолекулы β-глюкана объясняется наличием 1–6 гликозидной связи, в связи с чем в литературе β-глюкан зачастую обозначают как β-1,3/1,6 глюкан [4, 5].

Потенциал использования β-глюкана, выделенного из различных источников, в качестве функционального пищевого ингредиента представляет большой интерес. К примеру, анализ литературных источников показал, что β-глюкан способен оказывать влияние на реологические характеристики, обеспечивая придание продуктам новых свойств (повышение вязкости йогуртов, соков, фруктовых и овощных пюре). Из основных источников

β-глюкана наибольший интерес представляет ячмень. Стоимость одной тонны ячменя составляет около 10 000 руб. при этом содержание в нем β-глюкана, по разным источникам, находится в пределах от 5 до 11 %. Таким образом, стоимость β-глюкана, выделенного из тонны ячменя, может в десятки раз перекрывать стоимость самого ячменя [6–9].

β-глюкан располагается не равномерно по объему зерна. Так, в клеточных стенках эндосперма содержание β-глюкана достигает 75 % от общего количества веществ и лишь 25 % приходится на целлюлозу, белки и другие соединения [10].

Экспериментально подтверждено положительное влияние β-глюкана на здоровье человека. Установлено, что регулярное потребление β-глюкана способствует значительному снижению холестерина в плазме крови людей, имеющих заболевания сердечно-сосудистой системы, в частности атеросклероз [11]. Способность β-глюкана к образованию вязких гелей замедляет всасывание сахаров и холестерина, оказывая положительное влияние на процесс пищеварения [11, 12]. Также следует отметить, что при введении β-глюкана в кондитерские изделия, содержащие большое количество легкоусвояемых углеводов, снижается гликемических индекс продукта [12].

Среди зарубежных авторов, посвятивших свои исследования вопросу снижения гликемического индекса продуктов питания, следует отметить работу Ostman и коллег [12]. Ученые исследовали влияние пшеничного хлеба с добавлением ячменной муки на здоровье людей. Авторы выяснили, что хлеб, содержащий 50 % и 75 % ячменной муки, богатой β-глюканом, в сравнении с хлебом из пшеничной муки, имел гликемический индекс (GI) ниже на 40 % и 48 % соответственно. В инсулиновом индексе (II) также обнаружено снижение на 37 % и 34 % соответственно. Авторы измерили вязкость (1/3; 1/6)-β-глюканов, и пришли к выводу, что включение фракций ячменя, богатых β-глюканом способствует снижению GI и II хлеба.

Brennan и Cleary [6] изучали использование глюкогеля (изолированный β-глюкан) в обогащении хлеба. Авторы выяснили, что при введение в хлеб β-глюкана в количестве 2,5 % и 5 %, происходит значительное снижение сахара, высвобождаемого в течение 300 мин переваривания. Авторы пришли к выводу, что употребление β-глюкана способствует снижению гипергликемии и гиперинсулинемии, а так же может контролировать диабет и развитие подобных дегенеративных заболеваний. С другой стороны, авторы отметили негативное влияние β-глюкана на органолептические показатели хлеба, что требует дополнительных исследований, направленных на поиск оптимальной формы и стадии введения β-глюкана.

Mitsou и коллеги [7] исследовали влияние регулярного потребления продуктов питания, обогащенных β-глюканом, на качественный состав кишечной микрофлоры. В группу испытуемых входили люди, возраст которых на момент исследования был не менее 50 лет. Авторами установ-

лено, что β-глюкан стимулирует рост полезной кишечной микрофлоры, в частности, лактобацил и бифидобактерий.

Marklinder и Johansson [4] изучили устойчивость β-глюкана. Авторы заметили, что при добавлении ячменной муки в опару при производстве сдобного теста наблюдалось снижение количества β-глюкана в процессе брожения. Авторы пришли к выводу, что закваска не может быть полезной в производстве хлеба, в котором должно быть высокое содержание β-глюкана. Следовательно, для сохранения β-глюкана необходимо подбирать щадящие режимы обработки продуктов.

В нашей стране содержание β-глюкана в продуктах питания на сегодняшний день не нормируется, тогда как в рекомендациях Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (США) четко прописано, что содержание β-глюкана должно составлять не менее 0,75 г на порцию, а его суммарное потребление не должно быть меньше 3 г/день. По мнению специалистов, данного количества β-глюкана вполне достаточно для снижения концентрации общего холестерина и липопротеинов низкой плотности, которые накапливаясь на стенках сосудов вызывают атеросклероз [3, 11].

Повышение популярности здорового образа жизни и правильного питания способствовало проявлению большого интереса к β-глюкану со стороны крупнейших корпораций по производству продуктов питания. Уже сегодня на полках магазина можно встретить продукты с β-глюканом [13–15]. К примеру, в 2013 году французская компания «Компани Жерве Данон» получила патент на ферментированный молочный продукты, с содержанием β-глюкана от 3 до 4 г на порцию массой 125–250 г [13]. Авторы изобретения утверждают, что разработанный ими продукт обеспечивает профилактику диабета, ожирения, сердечно-сосудистых заболеваний, избыточного веса, снижение постпрандиальной инсулинемии, замедление всасывания глюкозы, снижение содержания холестерина в крови. Другая всемирно известная компания «Тропикана продактс» в 2012 году получила патент на сок с β-глюканом [14]. Авторы изобретения, Ривера и Эстерлинг, утверждают, что введение β-глюкана позволяет получить низкокалорийный напиток, близкий по вкусу к 100 %-ному соку. Данный напиток имеет повышенную вязкость и обладает способностью снижать уровень холестерина в крови.

Тем не менее, на сегодняшний день β-глюкан, не получил широкого распространения в пищевой промышленности. Негативное влияние β-глюкана на внешние показатели качества продуктов питания (внешний вид, структура и т.д.) способствует отказу производителей от его использования в производстве широкого круга продуктов питания, несмотря на значительную пользу для здоровья. Сегодня значительная часть исследований сосредоточена на поиске оптимальной формы и способа введения пищевых волокон в продукты питания массового потребления [1, 2, 8].

Библиографический список

1. Саломатов, А.С. Новый вид сырья из перловой крупы для применения в технологии кондитерских изделий / А.С. Саломатов, А.Д. Тошев, В.А. Васькина, Г.Н. Горячева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2015. – Т. 3. – № 1. – С. 24–35.

2. Sullivan, P. The increasing use of barley and barley by-products in the production of healthier baked goods / P. Sullivan, E. Arendt, E. Gallagher // Trends in Food Science & Technology, V. 29, Is. 2, 2013, Pp. 124–134.

3. Tiwari, U. Dietary exposure assessment of β-glucan in a barley and oat based bread / U. Tiwari, E. Cummins // LWT - Food Science and Technology, V. 47, Is. 2, 2012, Pp. 413–420.

4. Marklinder, I. Sour dough fermentation of barley flours with varied content of mixed-linked (1/3),(1/4) b-D-glucans / I. Marklinder, L. Johansson // Food Microbiology, 1995, V. 12, Pp. 363–371.

5. Ahmad, A. Extraction and characterization of β-d-glucan from oat for industrial utilization / A. Ahmad, F. Muhammad Anjum, T. Zahoor, H. Nawaz, Z. Ahmed // International Journal of Biological Macromolecules, V. 46, Is. 3, 2010, Pp. 304–309.

6. Brennan, C.S. Utilisation glucagel in the beglucan enrichment of breads: a physiochemical and nutritional evaluation / C.S. Brenna, L.J. Cleary // Food Research International, 2007, V. 40, Pp. 291–296.

7. Mitsou, E.K. Prebiotic potential of barley derived b-glucan at low intake levels: a randomised, double-blinded, placebocontrolled clinical study / M.K. Mitsou, N. Panopoulou, K. Turunen, V. Spiliotis, A. Kyriacou // Food Research International, 2010, V. 43(4), Pp. 10861092.

8. Васькина, В.А. Проектирование оптимальных рецептур мучных кондитерских изделий на примере пряников / В.А. Васькина, Ш.А. Мухамедиев // Хлебопекарное производство. – 2011. – № 9. – С. 27–28.

9. Иунихина, В.С. Продукты на зерновой основе: возможности расширения ассортимента на современном этапе / В.С. Иунихина // Хлебопродукты. – 2012. – № 10. – С. 10–11.

10. Mikkelsen, M.S. New insights from a β-glucan human intervention study using NMR metabolomics / M.S. Mikkelsen, F. Savorani, M. A. Rasmussen, B.M. Jespersen, M. Kristensen, S.B. Engelsen // Food Research International, V. 63, Part B, 2014, Pp. 210–217.

11. Tong, Li-Tao. Effects of dietary hull-less barley β-glucan on the cholesterol metabolism of hypercholesterolemic hamsters / Li-Tao Tong, K. Zhong, L. Liu, X. Zhou, J. Qiu, S. Zhou // Food Chemistry, V. 169, 2014, Pp. 344–349.

12. Ostman, E. Glucose and insulin responses in healthy men to barley bread with different levels of (1 / 3;1 / 4)-b-glucans; predictions using fluidity measurements of in vitro enzyme digests / E. Ostman, E. Rossi, H. Larsson, F. Brighenri, I. Bjorck // Journal of Cereal Science, 2006, V. 43, Pp. 230–235.

13. Пат. 2490919 Российская Федерация, МПК A23C9/137, A23L1/308. Полужидкий пищевой продукт, содержащий волокна бета-глюканов и гуаровую смолу, и его применение в качестве функционального пищевого продукта. Винуа С., Стелер Т., Рондо П.; заявитель и патентообладатель Компани Жерве Данон. – 2009134727/10; заявл. 19.02.2008; опубл. 24.08.2013.

14. Пат. 2469608 Российская Федерация, МПК A23L2/02. Натурально подслащенные соковые продукты с бета-глюканом. Ривера Т., Эстерлинг Д.; заявитель и патентообладатель Тропикана Продактс, ИНК. – 2011111726/13; заявл. 28.07.2009; опубл. 20.12.2012.

15. Пат. 2372786 Российская Федерация, МПК A23G3/52. Способ производства зефира. Васькина В.А., Горячева Г.Н., Мухамедиев Ш.А., Сидоренко М.Ю., Сидоренко Ю.И., Соловьева С.Ю., Туманова А.Е., Шеховцова Т.Г.; заявитель и патентообладатель Васькина Валентина Андреевна. – № 2008122362/13; заявл. 04.06.2008; опубл. 20.11.2009.

К содержанию

УДК 640.4(470.55)

АНАЛИЗ РЫНКА СЕТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ г. ЧЕЛЯБИНСКА

Е.И. Щербакова

Статья посвящена проблеме развития рынка общественного питания в городе Челябинске, в частности – в развивающемся микрорайоне Чурилово. Проанализировано состояние сети общественного питания в г. Челябинске за 2010–2014 гг. проанализированы экономические показатели деятельности предприятий питания. Обоснованы: необходимость строительства, тип предприятия общественного питания, предполагаемое место строительства в районе Чурилово г. Челябинска.

Ключевые слова: рынок общественного питания, типы предприятий, столовая, кафе, посадочные места.

Рынок общественного питания, сохраняет за собой статус одного из наиболее перспективных рынков в городе Челябинске. Общественное питание в Челябинске насыщено предложениями в среднем ценовом сегменте. Однако растущая потребность в дешевом питании и быстром обслуживании приводит к развитию такого формата как, например, столовая. В среднем ценовом сегменте рестораторы стараются удержать клиентов национальной кухней. Развитие рынка общественного питания в Челябинске было однобоким. Как отмечают эксперты, рост наблюдался в основном в среднем ценовом сегменте, который сейчас занимает 90 % рынка. Такое развитие привело к высокому уровню конкуренции среди подобных ресторанов и кафе на фоне дефицита предложений недорогого и качественного питания. Предложений недорогого питания в Челябинске мало, и именно этот формат получит развитие в будущем.

В Челябинске предприятия общественного питания открывают в основном в центре города или в местах скопления людей, что в принципе ра-

зумно. Но в связи с этим наблюдается неравномерное распределение количества предприятий питания в центре, при практически полном отсутствии данных предприятий питания в спальных районах. Одним из таких развивающихся спальных микрорайонов является Чурилово.

За прошедший 2014 год в городе открыто 81 предприятие, ввод новых предприятий дополнительно обеспечил создание 524 рабочих места.

Показатели экономического и социального развития за 2014 год свидетельствуют о сокращении оборота общественного питания, фактически он составил по предварительным расчетам 2263,5 млн руб., что соответствует 98,2 % (в сопоставимых ценах) к соответствующему периоду 2013 года. В условиях рыночных преобразований отрасль общественного питания постоянно изменяется.

По состоянию на 01.01.2015 в городе функционировало 1170 предприятий общественного питания с общим количеством посадочных мест 80864, в том числе – предприятия открытой сети – 807 (69,0 %), на 41213 посадочных мест, из них (количество предприятий / количество посадочных мест):

– рестораны – 108 / 11196;
– бары – 132 / 5963;
– кафе – 266 / 15130;
– закусочные – 154 /5543;
– столовые – 48 / 2419;
– другие типы (буфеты, кафетерии, кофейни, кулинарии) – 99 / 962.

Развитие сети характеризуется следующими данными [2]:

Таблица

Данные, характеризующие развитие сети

Наименование объекта	2010 год		2011 год		2012 год		2013 год		2014 год	
	кол-во	посадочные места	кол-во	посадочные места	кол-во	посадочные места	кол-во	посадочные места	кол-во	посадочные места
Рестораны	76	7422	81	8121	94	8810	98	9798	108	11196
Кафе	184	10176	203	11232	219	11818	241	14243	266	15130
Закусочные	187	7567	188	7698	170	5949	155	5592	154	5543
Др. типы (бары, буфеты, кафетерии, кофейни, кулинарии)	190	5725	195	5834	211	6072	210	6612	231	6925
Столовые	39	2255	39	2100	40	2147	46	2335	48	2419
Итого по открытой сети	676	33145	706	34985	736	34861	750	38580	807	41213
Всего	1075	76537	1108	78167	1129	75512	1113	79302	1170	80864

Челябинские рестораторы продолжают активно осваивать сегмент национальной кухни. В городе широко представлены итальянская, кавказская, украинская, грузинская кухни и другие, но этот сектор в городе еще не насыщен в достаточной мере и востребован для развития. В соответствии с утвержденной отраслевой целевой программой «Социальная поддержка населения города Челябинска на 2014–2016 годы» в городе сохранена и успешно функционирует сеть предприятий общественного питания обеспечивающих бесплатным питанием малообеспеченных граждан. Ежедневно шесть столовых города посещают 1100 человек. За последнее время в сегменте рынка общественного питания наблюдалась стабильная динамика, но к концу 2014 года на сферу общественного питания непосредственно повлияли изменения в экономике России, в связи с введением санкций, ограничением импортных продуктов. Рост цен, снижение потребительской активности населения, а также повышение тарифов и штрафов, которые увеличивают затраты предпринимателей, изменения в налоговой политике в области малого и среднего бизнеса внесут изменения в развитие общественного питания в Челябинском городском округе.

Основными направлениями в развитии общественного питания являются [2]:

– сохранение предприятий социальной направленности, занимающихся организацией и предоставлением услуг общественного питания малообеспеченных категорий населения;

– сохранение закрытой сети предприятий питания в учреждениях образования и на промышленных объектах;

– развитие фаст-фуда при крупных торгово-развлекательных комплексах;

– развитие общественного питания в среднем ценовом сегменте;

– открытие новых предприятий общественного питания в строящихся микрорайонах города.

Общественное питание является составной частью потребительского рынка и представляет собой социально-значимый сектор экономики. Сфера предоставления услуг общественного питания формируется в большей степени на основе предпринимательской инициативы, ориентированной на покупательскую способность.

Наиболее перспективным форматом заведений является общедоступная столовая, так как горожане привыкли к данному виду услуг, и сейчас ощущается резкая нехватка данных предприятий общественного питания.

В ближайшие годы основной рост оборота будет приходиться на сегмент быстрого питания, наиболее доступный по ценам. Эксперты прогнозируют дальнейший рост демократичных заведений, рассчитанных на самые широкие слои населения, в том числе молодежь.

Сегодня проблема качественного питания стоит в Челябинске особенно остро. Многие кафе в обеденный перерыв предлагают устоявшееся меню из стандартных блюд, набор которых принято называть бизнес-ланчем.

Однако ценовая политика таких заведений позволяет хорошо питаться далеко не всем. А раньше в городе были традиционные общественные столовые, доступные почти каждому жителю.

Микрорайон Чурилово – развивающийся спальный микрорайон, самая восточная часть Челябинска, находится в Тракторозаводском районе.

На территории района находятся около 60 предприятий общественного питания, например, ресторан «Победа», «Милан», «Ширваншах», кафе «Людмила», «Ной», «Восток», закусочная «Визит», «Колхида», кафе-кулинария «Браво», бар «Нептун», спорт-бар «Тракторист», суши-бар «Лана» и другие предприятия общественного питания. Также многофункциональный комплекс «Видгоф», развлекательный комплекс «Баклажан», «Голливуд», «Панта Рэй», досуговый комплекс «Пиццбург», гостиничный комплекс «Славянка», торгово-развлекательный комплекс «Горки», которые включают в себя предприятия общественного питания.

Предполагаемое количество жителей при полной застройке микрорайона Чурилово составит 50 тысяч человек, территория микрорайона составляет около 20 тысяч квадратных метров. Городскими властями в плане развития микрорайона предусмотрено строительство предприятий общественного питания низкого и среднего ценового сегмента, то есть столовые, кафе.

Столовая – это общедоступное или обслуживающее определенный контингент потребителей предприятие общественного питания, производящее и реализующее блюда в соответствии с разнообразным по дням меню [1].

Столовую можно разместить в микрорайоне Чурилово, на улице вторая Эльтонская, так как там отсутствуют предприятия общественного питания. Ближайшим и единственным конкурентом в данном случае будет столовая ИП Плотников К.Е., находящаяся по улице Линейная, 59, в трех километрах от предполагаемого места размещения столовой.

Рациональное размещение предприятия общественного питания – это создание наибольших удобств населению при организации общественного питания и обеспечение высокой эффективности работы самого предприятия.

В Чурилово складывается благоприятная ситуация для строительства и развития общедоступной столовой в связи с увеличением потребительского спроса населения на кулинарную продукцию и услуги общественного питания.

В предполагаемом месте размещения общедоступной столовой находятся: жилые комплексы, офисные здания, торговые точки, медицинские учреждения, банки, почтовые отделения. Выгодным является близкое расположение остановки общественного транспорта.

Предприятие общественного питания будет иметь собственную площадь для временной парковки автотранспорта для посетителей столовой.

Предполагаемое место для размещения столовой удобно для потребителей, поскольку находится на пересечении транспортных потоков и в пешеходной доступности.

Все вышеперечисленное дает основание считать, что столовая в микрорайоне Чурилово будет востребована и рентабельна.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 50762-2007. Услуги общественного питания. Классификация предприятий общественного питания. – М., 2008.

2. Развитие потребительского рынка города Челябинска в 2014 году. – URL: http://cheladmin.ru/zhizn-goroda/torgovlya-i-sfera-uslug/.

К содержанию

УДК 664.64

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЭМУЛЬСИОННЫХ СОУСОВ ДЛЯ ЗДОРОВОГО ПИТАНИЯ С ЗАДАННЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Н.Д. Журавлева

Статья посвящена применению растительных добавок для обогащения витаминами и полезными веществами соуса. Это способ улучшения продукта с точки зрения здорового образа жизни. Автором были рассмотрены состав рецептур и разработка способа получения низкокалорийных эмульсионных соусов на основе натурального сырья, что обосновывает выбор растительных добавок, насколько они полезны и чем они помогают нашему организму. Также, что входит в состав рассматриваемых растительных добавок. В статье были рассмотрены кукурузное масло и горчичное. В статье автор показал возможность применения растительных добавок в ежедневном рационе, получая пищевую и биологическую ценность, витамины и микроэлементы, баланс аминокислотного состава.

Ключевые слова: эмульсионные соусы; пищевые добавки; жирнокислотный состав.

При производстве практически всех современных продуктов питания производители используют различные пищевые добавки в основном с целью экономии сырья, улучшения технологических и потребительских свойств продуктов.

Пищевые добавки – природные, идентичные природным или искусственные (синтетические) вещества, преднамеренно вводимые в пищевое сырье, полуфабрикаты или готовые продукты с целью придания им заданных свойств.

Для классификации пищевых добавок в странах Евросоюза разработана система нумерации (действует с 1953 года). Каждая добавка имеет уникальный номер, начинающийся с буквы «Е». Система нумерации была доработана и принята для международной классификации. К основным группам пищевых добавок относятся:

– Е100–Е182 – красители (применяются для окраски пищевых продуктов);

– Е200–Е299 – консерванты (удлиняют срок годности продукта);

– Е300–Е399 – антиокислители (замедляют окисление, предохраняя продукты от порчи);

– Е400–Е499 – стабилизаторы (сохраняют заданную консистенцию продукции);

– Е500–Е599 –эмульгаторы (поддерживают определенную структуру продуктов питания);

– Е600–Е699 – усилители вкуса и аромата;

– Е700–Е899 – зарезервированные номера;

– Е900–Е999 – глазирующие агенты, улучшители хлеба.

Красители – это группа веществ, определяющих внешний вид продуктов питания и способствующих сохранению окраски. Цвет пищевых продуктов, их внешняя привлекательность играют большую роль в торговле продуктами питания, оценке их стоимости, в конкуренции на рынке.

К консервантам относят пищевые добавки, замедляющие микробную и окислительную порчу пищевого сырья и готовых продуктов. Порча пищевого сырья и готовых продуктов – результат сложных физико-химических и микробиологических процессов, которые тесно связаны между собой [2].

Одним из важнейших факторов, определяющих здоровье населения – это правильное питание, которое обеспечивает нормальный рост и развитие человека, способствует профилактике заболеваний, продлению жизни, повышению работоспособности и создает условия для адекватной адаптации людей к окружающей среде.

Кулинарные соусы являются неотъемлемой частью большинства блюд, приготавливаемых из разнообразных продуктов: мяса, рыбы, морепродуктов, овощей. Соусы придают блюдам сочность, вносят разнообразие в эстетический вид блюда и дополняют его вкус, повышают их калорийность и питательную ценность.

Самыми распространенными соусами можно назвать кулинарные соусы эмульсионного типа, в частности майонезы и их производные. Сегодня масложировая промышленность производит целую «линейку» майонезных продуктов с различными вкусоароматическими добавками: укропом, петрушкой, кардамоном, орехом, чесноком. Но предприятия общественного

питания в большинстве случаев не используют промышленные производные соуса майонез, так как это невыгодно держать сразу несколько открытых емкостей с майонезными продуктами на складах. Поскольку существует неравномерный спрос, а значит и предприятиям питания не возможно точно спрогнозировать, какое количество этих продуктов следует иметь у себя в наличии. Так как майонезы в открытой таре быстро подвергаются порче, а если еще и слабый поток посетителей, то они не используются, и их приходится выбрасывать. К тому же тара занимает много места на складских стеллажах [4].

Многие кулинарные соусы эмульсионного типа не содержат в рецептурах такие компоненты, как перец, горчица или уксус, поэтому использование классического майонеза в качестве основы для их приготовления становится невозможным.

На применении стандартного майонеза в технологии кулинарных соусов отрицательно сказывается и то, что для майонеза характерна определенная вязкость. Добавление в майонез таких жидких продуктов, как молоко, простокваша, фруктовые соки, могут привести к дальнейшему разжижению продукта, что может сказаться на его реологических и органолептических показателях неблагоприятно [5].

Тенденцией развития пищевой науки и объектом инновационных разработок, является производство функциональных продуктов. Продукты разрабатываются для рационального питания определенных групп населения, они способствуют сохранения здоровья и профилактике заболеваний. Для масложировой промышленности по разработке новых технологий производства жировых продуктов питания, относится создание масел с улучшенным составом жирных кислот и получения на их основе эмульсионных продуктов. Поэтому, с научной точки зрения состав рецептур и разработка способа получения низкокалорийных эмульсионных соусов на основе натурального сырья обосновывает выбор [1].

Зная физико-химические показатели, жирнокислотный состав, содержания биологически активных веществ (токоферолов, каротиноидов, стеролов) можно предположить, что для разработки смесей масел, которые обладают улучшенным жирнокислотным составом и высокой биологической ценностью. Например – кукурузное масло и масло, которое обладает специфическим вкусом, насыщенным ароматом и цветом – горчичное. На основе данных исследований, можно сделать вывод, что отличительными особенностями горчичного масла являются:

– цветность, в 4 раза превышающая цветность кукурузного, и наличие фосфолипидов (0,6 %), в фракционный состав которых входят лецитин и кефалин;

– в составе токоферолов содержится свыше 70 % от общей суммы δ- и γ-токоферолы, что определяет высокие антиокислительные способности масла, а содержащееся эфирное аллилгорчичное масло (0,8 %) придает ему и антисептические свойства;

– в составе неомыляемых веществ содержится уникальный комплекс стеролов, свыше 50 % из которых приходится на β-ситостерол, максимальной степени взаимодействующий с холестерином и способствующий понижению его уровня в крови;

– в его составе идентифицировано 16 жирных кислот, а в кукурузном – 6, что характеризует особые функциональные и пищевые свойства горчичного масла.

В таблицах 1 и 2 приведены физико-химические показатели и жирнокислотный состав смесей горчичного и кукурузного масел [2].

Таблица 1

Физико-химические показатели смесей горчичного и кукурузного масел

Наименование показателей	Содержание		
	смесь горчичного и кукурузного 50 : 50	смесь горчичного и кукурузного 60 : 40	смесь горчичного и кукурузного 70 : 30
Кислотное число, мг КОН (Кч)	0,3	0,3	0,3
Анизидиновое число, ед. (Ач)	1,9	1,6	1,1
Перекисное число ммоль/кг ½ О (Пч)	3,5	3,2	2,9
Показатель «totox», ед. (2 Пч + Ач)	8,9	8,0	6,9
Цветное число, мг йода	50	60	60
Эфирное горчичное масло, %	0,4	0,5	0,5
Неомыляемые вещества, %, среди них:	2,1	2,3	2,5
– токоферолы (мг %)	125	110	100
– каротиноиды (мг)	0,1	0,1	0,2
– стеролы, %	0,7	0,8	0,9
– фосфолипиды, %	0,3	0,4	0,4

На основании показателей смесей горчичного и кукурузного масел можно сделать выводы:

– три варианта смесей масел могут быть использованы в рецептурах эмульсионных продуктов для здорового питания. Соотношение ω – 6 : ω – 3 ПНЖК находится в интервале от 10 : 1 до 1 : 1, что соответствует рекомендациям института питания РАМН для жиров, которые могут обладать функциональными свойствами;

– по соотношению ПНЖК : МНЖК : НЖК можно сделать вывод об их использование в рецептурах эмульсионных продуктов для диетического питания и выкладывать на рынок сбыта в качестве инновации;

– смеси содержат биологически активные вещества: токоферолы (витамин Е), β-каротин (провитамин А), сбалансированный комплекс ПНЖК (витамин F), лецитин, стеролы (витамин D), бактерицидное эфирное масло кефалин;

– устойчивые свойства смесей масел, на которые значительное влияние оказывает эфирное горчичное масло, обладающее антисептическими и бактерицидными свойствами. Наличие высокого уровеня токоферола и каротиноидов, которые являются естественными антиоксидантами и отражены в показателях перекисного, анизидинового чисел, показателе степени окисленности «totox», не превысившим 9 ед. при норме 15 ед.;

– смеси масел обладают приятным специфическим, пикантным вкусом [3].

Таблица 2

Жирнокислотный состав образцов смесей горчичного и кукурузного масел

Наименование показателей	Содержание в %		
	смесь № 1 50 : 50	смесь № 2 60 : 40	смесь № 3 70 : 30
Насыщенные жирные кислоты			
Каприловая С8:0	0,10	0,12	0,14
Каприновая С10:0	0,05	0,06	0,07
Лауриновая С12:0	0,05	0,06	0,07
Миристиновач С14:0	0,25	0,30	0,35
Пальмитиновая С16:0	7,3	6,7	4,9
Стеариновая С18:0	1,85	1,82	1,8
Арахиновая С20:0	1,15	1,34	1,6
Бегеновая С22:0	0,2	0,24	0,28
Лигноцериновая С24:0	0,10	0,12	0,14
НЖК (всего)	11,1	10,7	9,4
Мононенасыщенные жирные кислоты			
Пальмитолеиновая С16:1	0,15	0,18	0,21
Олеиновая С18:1	39,5	42,4	45,3
МНЖК (всего)	40,0	42,6	45,5
Полиненасыщенные жирные кислоты			
Линолевая С18:2	41,3	38,2	35,1
Линоленовая С18:3	5,1	6,1	7,1
Эйкозадиеновая С20:2	1,9	2,2	2,6
Докозадиеновая С22:2	0,3	0,4	0,2
ПНЖК (всего)	48,6	46,9	45,0
Соотношение ω – 6 : ω – 3	7:1	4:1	3:1
Соотношение ПНЖК: МНЖК: НЖК	4:3:1	4:4:1	5:5:1

Компонентный состав эмульсионных продуктов для здорового питания – это соусы, которые обладают функциональными свойствами, состав должен быть рассчитан так, чтобы совместное использование ингредиентов в рецептуре способствовало получению высококачественного продукта с заданными свойствами.

Разработка способа получения эмульсионных соусов для здорового питания осуществлялась с помощью прогнозирования качественных свойств продукта в соответствии с требованиями науки о питании, исследования физико-химических, витаминно-минеральных, реологических, органолептических свойств ингредиентов и оптимизации их процентного содержания в рецептурах по содержанию нутриентов в соответствии с заданным комплексом показателей пищевой ценности и функциональных свойств.

В лабораторных условиях, согласно принятой структурной схемы исследования проведен выпуск опытной партии эмульсионных соусов по разработанным рецептурам. Для жировой фазы использована смесь горчичного и кукурузного масел (№ 3) в процентном соотношении 70 : 30. В сгущенное молоко с сахаром (или без сахара) тонкой струей при постоянном перемешивании вливали смесь горчичного и кукурузного масел и перемешивали 5 минут со скоростью оборот мешалки 1500 об/мин. Предварительно подготовленные яблочно-пектиновую и горчичную массы перемешивали в течение 15 минут и добавляли смесь сгущенного молока с маслом при температуре 45 °С. Полученную эмульсионную смесь гомогенизировали под давлением 15 МПа в течение 10 минут со скоростью оборота мешалки 2500 об/мин для получения тонкодисперсной эмульсии. Качество полученных модельных образцов эмульсионных соусов оценивали по физико-химическим показателям, приведенным в таблице 4, органолептическим показателям, приведенным в таблице 5, жирнокислотному составу, приведенному в таблице 6. Кроме того, исследован аминокислотный состав белка и определено, что процент адекватности идеальному белку (ФАО / ВОЗ) соуса № 1 составляет 12, а соуса № 2 – 15. Витаминно-минеральный состав образцов характеризуется высоким содержанием, соответственно, витамина Е (мг %), , 60,5 и 45,0; холина – 3,0 и 6,0 (мг / 100 г); витамина С – 1,8 и 1,7 (мг / 100 г); стеринов – 0,7 и 0,75%; цинка – 171 и 18016 (мкг / 100 г); железа – 260 и 270 (мкг / 100 г); калия – 91 и 98 (мг / 100). Попищевой и энергетической ценности (табл. 7) эмульсионные соусы относятся к низкокалорийным продуктам, поэтому могут быть рекомендованы для диетического питания различных групп населения.

Таблица 4

Физико-химические показатели модельных образцов эмульсионных соусов

Наименование показателей	Содержание в соусе	
	№ 1	№ 2
Массовая доля жира, % не менее	31,0	21,0
Массовая доля влаги, % не более	39,5	29,5
Стойкость эмульсии, % неразрушенной	98,6	98,9
Кислотность в пересчете на уксусную	0,8	0,8
Водородный показатель pH при 20°С	3,9	3,8

Таблица 5

Органолептические показатели модельных образцов эмульсионных соусов

Наименование показателей	Характеристика образца соуса	
	№ 1	№ 2
Срок хранения при температуре 5 °С в течение 10 суток		
Цвет	Однородный по всей массе, топленого молока	Однородный по всей массе, карамельный
Вкус	Сбалансированный приятный	Сладковатый, приятный
Запах	Гармоничный, яблочно-молочный	Гармоничный, яблочно-молочный
Консистенция	Однородный продукт, умеренно густой и текучий	
При хранении соусов в течение 20 суток изменений в органолептических показателях не происходит		

Таблица 6

Жирнокислотный состав модельных образцов эмульсионных соусов

Наименование жирных кислот	Содержание в соусах, %	
	№ 1	№ 2
Насыщенные жирные кислоты		
Миристиновая С14:0	0,2	0,3
Пальмитиновая С16:0	1,7	1,5
Стеариновая С18:0	0,6	0,3
Арахиновая С20:0	0,5	0,3
Бегеновая С22:0	0,9	0,5
НИЖ всего	3,9	3,0
Мононенасыщенные жирные кислоты		
Пальмиолеиновая С16:1	0,7	0,5
Олеиновая С18:1	15,3	10,0
МНЖК всего	16,0	10,5
Полиненасыщенные жирные кислоты		
Линолевая (ω – 6) С18:2	12,1	7,0
Линоленовая (ω – 3) С18:3	2,4	1,4
Эйкозадиеновая (ω – 3) С20:2	0,2	0,5
ПНЖК всего	14,7	8,9
Соотношение ω – 6 : ω – 3	5:1	3,5:1
Соотношение ПНЖК : МНЖК : НЖК	4:4:1	5:3:1

Необходимо отметить, что соус, полученный по рецептуре № 1, рекомендуется для применения с овощными блюдами из картофеля, свеклы, моркови, капусты, огурцов, сельдерея и т.п. Для повышения и разнообразия вкусовых качеств в этот соус можно добавлять натуральные эфирные масла из лавра, укропа, мяты и т.п. или пряно-ароматическую зелень, ук-

роп, петрушку, базилик и т.п. Соус, полученный по рецептуре № 2, рекомендуется для применения с фруктовыми блюдами из яблок, груш, слив, винограда, персиков, абрикосов и др. и молочными блюдами из творога, творожными запеканками, суфле и т.п. Для разнообразия вкусов и придания пикантности в этот соус можно добавить ваниль, корицу, имбирь, т.е. ароматы, вызывающие положительные и приятные вкусовые ощущения.

Таблица 7

Пищевая и энергетическая ценность
модельных образцов эмульсионных соусов

Содержание в 100 г продукта (г)	Соус № 1	Соус № 2
Жира	3,1	2,2
Белка	0,1	0,2
Углеводов	1,5	2,5
Энергетическая ценность	35 ккал (или 147 кДж)	31 ккал (или 130 кДж)

Придумывая соусы, важно понимать, что все входящие в состав ингредиенты должны сочетаться. Если в соус был добавлен анис обыкновенный – это однолетнее травянистое растение с характерным приятным запахом, относящееся к тому же семейству, что и укроп и тмин, кумин и фенхель, то такой соус будет подаваться к рыбным блюдам. В качестве пряности, используются его семена. В соус анис добавляют в небольшом количестве. Рыбным блюдам соусы с анисом придают ярко выраженный пряный аромат и улучшают их вкус. Аромат этой пряности также гармонично ложится на запах яблок, поэтому анис добавляют в остро-сладкие соусы на растительной основе или соусов, которые готовят с использованием сидра – яблочного вина.

Иными словами, полезность соуса существует. Совсем недавно биологи Университета Западного Онтарио (Канада) выяснили, что в соусах содержатся антиоксиданты – вещества, которые не дают клеткам нашего организма окисляться, что задерживает процессы старения и еще более интересный факт был обнаружен что служат профилактикой воспалений, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, болезней Альцгеймера и Паркинсона, которыми часто страдают пожилые люди. Во всех соусах был обнаружен достаточно высокий уровень антиоксидантов. Но существует нюанс – если мясо мариновали, показатели падали на 45–70 процентов. Хотя при этом полезные вещества все равно частично сохранялись.

Библиографический список

1. Воробьева, А.В. Современные тенденции создания эмульсионных продуктов для здорового питания / А.В. Воробьева, Н.Н. Волкова // Пищевая промышленность. – 2008. – № 11. – С. 72.

2. Волкова, Н.Н. Ингредиентный состав – основа получения высококачественных пищевых продуктов / Н.Н. Волкова // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. – 2008. – № 11. – С. 30.

3. Арутюнян, Н.С. Фосфолипиды растительных масел / Н.С. Арутюнян, Е.П. Корнена. – М.: Агропромиздат, 1986. – 156 с.

4. ГОСТ Р 30004.2-93. Майонезы. Правила приемки и методы испытаний. – М., 2006.

5. Восканян, О.С. Разработка и исследование жировых эмульсий типа майонез с эффективными добавками / О.С. Восканян. – М., 1989. – 207 с.

К содержанию

УДК 657.631.6

ТИПЫ АУДИТОВ, ПРАКТИКУЕМЫЕ ДЛЯ КОМПАНИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ, ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛУГ

Г.Д. Апалькова, И.Ю. Потороко, В.Г. Зеленкин

Выполнен анализ современных видов и методов аудита систем менеджмента. Показана роль обеспечения функционирования и постоянного совершенствование систем менеджмента качества путем развития современных стандартов и моделей менеджмента в достижении стабильной позиции на рынке научно-технических услуг.

Ключевые слова: аудит систем менеджмента, виды и методы аудита систем менеджмента, рынок научно-технических услуг.

В соответствии с требованиями международных стандартов на системы менеджмента обязательным элементов этих систем является аудит – инструмент, который дает возможность путем реализации принципов «слышать, слушать, задавать вопросы, анализировать» обеспечивать реализацию принципа менеджмента «принятие решений, основанных на фактах», поскольку позволяет получить документированные объективные свидетельства и заключения.

Аудиторская деятельность является постоянно развивающейся системой, позволяющей на основании выполненных анализов разрабатывать корректирующие действия по устранению выявленных несоответствий. При этом хозяйственная практика показывает, что выгоды от предупреждения несоответствий существенно превышают затраты на их предупреждение (инвестиции).

Результатом совершенствования производственного процесса путем предупреждения несоответствий (ошибок) является снижение издержек производства и повышение конкурентоспособности в своей области деятельности.

Нормативной базой по проведению аудитов является ГОСТ Р ИСО 19011 «Руководящее указание по аудиту систем менеджмента», идентичный ISO 19011 «Guidelines for auditing management systems». Со времени выхода в 2002 году первого издания этого стандарта появились разработки новых стандартов по системам менеджмента, что обусловило необходимость расширения диапазона аудитов [1].

Новая версия ISO 19011:2011 учитывает интеграцию нескольких систем менеджмента, что характерно для средних и крупных российских компаний.

В новой версии прописано взаимодействие ISO 19011 с ИСО 17021, регламентирующим требования к органам, проводящим аудит [2].

В современных условиях хозяйствования практика и направления аудита постоянно расширяются.

К числу актуальных типов аудита, практикуемых для компаний и организаций, специалисты относят:

– финансовый аудит;
– системный аудит;
– аудит информационных технологий;
– аудит менеджмента;
– аудит хозяйственной деятельности;
– аудит промышленной безопасности и охраны труда;
– экологический аудит;
– аудит деятельности (результатов);
– аудит соответствия;
– аудит информационной безопасности;
– аудит системы менеджмента оборонных предприятий;
– аудиты других систем менеджмента (HACCP, IFS, BRC, GMP, GDP, GSP, API, риски, непрерывность бизнеса);
– аудит интегрированной системы менеджмента;
– аудит поставщиков [3–4].

Методы аудита по данным [3] приведены в таблице.

Расширение практики и направлений аудита диктует соответствующие требования к квалификации аудиторов, в том числе в части расширения диапазона профессиональных компетенций.

Выбор наиболее подходящего метода аудита зависит от типа и целей аудита, доступных ресурсов (компетентность аудиторов и т.п.), а также преимуществ и недостатков отдельных методов в конкретных ситуациях.

Процессно-ориентированный метод аудита предполагает обзор и анализ всей цепочки создания продукта, включая входные и выходные данные, начиная с первого до последнего в процессе. Вместе с тем, если проблема определена в потоке процесса, причина проблемы чаще всего пропускается во время аудита.

Таблица

Методы аудита

Метод аудита	Вид аудита			Проверяемый объект		
	Системный аудит	Аудит процесса	Аудит продукции	Процесс в целом	Подпроцессы	Функции
Процессно-ориентированный	x	x		x	(x)1	
Обратный (ретроградный) аудит		x	x	x	x	
Функционально-ориентированный	x					x
Ориентированный на взаимосвязь	x	x		(x)2	(x)2	(x)3
Ориентированный на взаимодействие	x			(x)2	(x)2	

Обратный (ретроградный) метод аудита предполагает обзор и анализ всей цепочки создания продукта в обратном направлении с целью проведения оценки результативности и эффективности процесса, относящегося к конкретной продукции (аппаратное, программное обеспечение, услуги и т.д.). Этот подход эффективен для производств, где присутствуют экологически безопасные и опасные (загрязненные) зоны. Аудит в этом случае начинается с экологически безопасных стадий производства. Если проблема определена в ходе ретроградного аудита, причина может быть установлена позже в ходе аудита.

Выявление результативности и эффективности взаимосвязи и взаимодействия по всей цепочке создания продукта также обеспечивают достижение положительного результата.

В практике аудита может возникнуть риск того, что увеличение объема системной документации может привести к проблеме бюрократизации системы менеджмента. При проведении аудита такие вопросы, как «Какие документы вы бы больше не стали внедрять в связи с существующим на сегодня уровнем знаний» или «Какие документы не использовались более одного года» могут быть полезными для поддержания эффекта уменьшения.

Большую популярность среди высшего менеджмента корпораций приобрели аудиты БПЧ, где проверяются аспекты Безопасности, Порядка и Чистоты.

Как правило, такие аудиты проводятся руководством предприятия через короткие промежутки времени с использованием отдельных контрольных перечней, обеспечивающих отслеживаемость, и связаны с определенным проблемным участком на производстве.

Здесь целесообразно отметить определенную сложность использования переводов международных стандартов в части дословного перевода с английского на русский язык, не всегда позволяющего учитывать национальные особенности собственных стандартов [5]. Проблема достаточно сложная для всей системы стандартизации и требует своего решения. По-видимому, целесообразно переходить на общепринятые международные стандарты.

Как было отмечено выше, международный стандарт ИСО 19011 «Руководящее указание по аудиту систем менеджмента» применим для всех типов аудита и для всех организаций-промышленных компаний, организаций малого и среднего бизнеса, которые проводят внутренние и внешние аудиты.

В число организаций, активно развивающих системы менеджмента качества, входят и высшие учебные заведения, и научно-исследовательские институты и центры.

Сегодня научно-техническая деятельность рассматривается как бизнес, результатом которого является новая техника и технология.

Анализ деятельности научных центров на примере Российского научно-исследовательского института трубной промышленности (РосНИТИ), одного из успешных научно-исследовательского институтов, входящего в состав Трубной Металлургической Компании (ТМК), показал, что в институте большое внимание уделяется повышению эффективности СМК, что подтверждено компанией Lloyd’s Register Quality Assurance Limited в составе корпоративной СМК ОАО «ТМК».

С целью улучшения закупочной стратегии компании институтом ведутся работы *по квалификации поставщиков ТМК (аудиты второй стороны), предусматривающие* оценку соответствия поставщиков требованиям ISO 9001 с ведением Реестра одобренных поставщиков.

В качестве основной цели в области качества является постоянное совершенствование. Институт постоянно стремится повышать результативность СМК путем использования результатов аудита.

РосНИТИ активно развивает международную деятельность, сотрудничает с зарубежными научно-техническими центрами, участвует в программах долгосрочного сотрудничества ТМК с ведущими компаниями нефтегазового комплекса.

Подход с позиций СМК обеспечивает институту соответствующее развитие и достаточно стабильную позицию на рынке научно-технических услуг [6].

В условиях роста разработки и производства сложной, наукоемкой продукции специального назначения, постановки на серийный выпуск новых изделий военной техники, потенциальными исполнителями по-

ставленных задач являются высшие учебные заведения, укомплектованные высококвалифицированными техническими специалистами.

Представляют интерес работы по интеграции в оборонные фундаментальные и поисковые исследования. Так, к числу основных достижениий СМК УрФУ считает проведенную в конце 2013 года сертификацию СМК, распространяющуюся на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию военной продукции на соответствие требованиям ГОСТ РВ 0015-002-2012. Область сертификации: проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по 44 кодам «Единого кодификатора предметов снабжения и порядка разработки и ведения разделов федерального каталога продукции для федеральных государственных нужд». Получена лицензия на проведение НИОКР по разработке вооружений и военной техники, что позволило заключить контракты и договоры в 2013 г. на сумму свыше 170 млн рублей и обеспечить стабильную позицию на рынке научно-технических услуг [7].

Таким образом, одним из направлений развития систем менеджмента является расширение практики и направлений аудита, что диктует соответствующие требования к квалификации аудиторов.

Активная позиция в области совершенствования систем менеджмента качества путем развития современных стандартов и моделей менеджмента является предпосылкой востребованности и конкурентоспособности на рынке научно-технических услуг в современных условиях хозяйствования.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 19011-2012 «Руководящее указание по аудиту систем менеджмента». – М., 2013.

2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17021- 2008 «Оценка соответствия. Требования к органам, проводящим аудит и сертификацию систем менеджмента». – М., 2013.

3. Бауэр, Э. Опыт и практика проведения аудита и преимущества аудита Quality Austria / Э. Бауэр // Системы менеджмента. Все грани соответствия. Материалы международной конф. – Екатеринбург: Ростехсерт, 2014. – С. 64–78.

4. URL: http://www.usq.com.ua/edu_iso_19011_2011.htm.

5. Динмухаметова, Д.Ф.Проблемы внедрения международных стандартов аудита в России / Д.Ф. Динмухаметова, Г.И. Махмутова // Экономика и бизнес. Взгляд молодых: сборник материалов международной научно-практической конференции молодых ученых. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2012. – С. 112–113.

6. URL: http://www.rosniti.ru/structure/194/.

7. Шаврин, В.С. О функционировании и перспективах развития СМК УрФУ / В.С. Шаврин //Системы менеджмента. Все грани соответствия. Материалы международной конф. – Екатеринбург: Ростехсерт, 2014. – С. 119–129.

К содержанию

УДК 664.944

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ НА КАЧЕСТВО ВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ЗАМОРАЖИВАНИЯ

П.Н. Баранов

В статье рассмотрены вопросы влияния геометрии образцов на характер проведения и выбора процессов замораживания.

Ключевые слова: замораживание, мясные продукты, параметры.

В большинстве случаев выбор способа и условий для замораживания мясного продукта обусловлен технологичностью, санитарно-гигиеническими нормативами и экономическими аспектами непосредственно способа замораживания. Помимо этого, на характер замораживания влияют условия окружающей теплоотводящей среды и состояние продукта в период замораживания, в частности, его геометрические параметры.

Широкое распространение в промышленных масштабах получила заморозка мясной продукции в виде блоков, размер, которых по длине не превышает 800 мм, но граничное значение имеет высота (толщина) мясного блока. Толщина таких блоков колеблется согласно различным литературным данным от 60 до 150 мм [1].

Уравнение [1] позволяет оценить скорость замораживания:

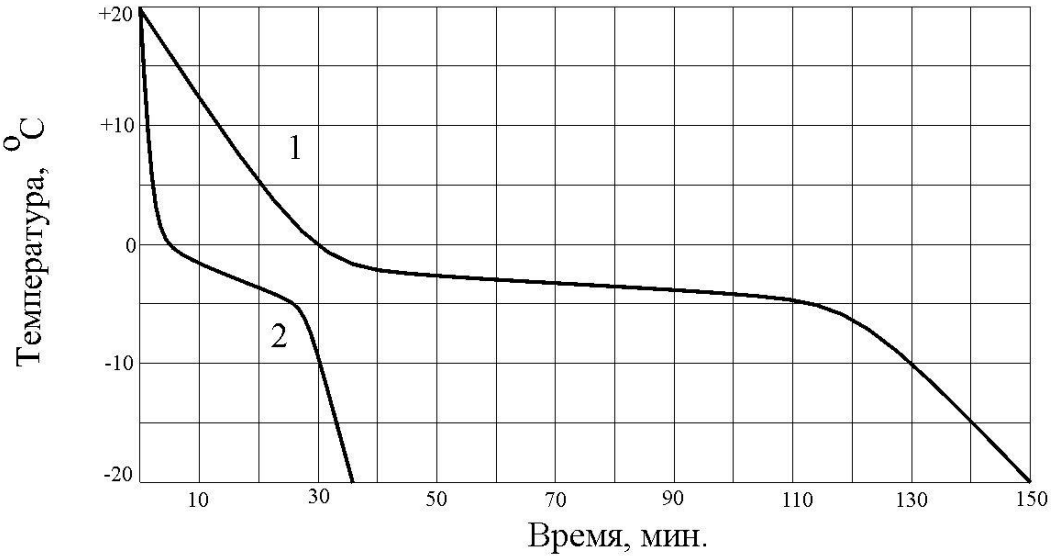
$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{t_{кр} - t_c}{(\frac{x}{\lambda} + \frac{1}{\alpha})Wr\gamma},$$

где x – толщина промерзающего слоя, м; λ – коэффициент теплопроводности, Дж (м·ч· °С); $t_{кр}$ – криоскопическая точка, °С; t_c – температура среды, °С; W – количество вымерзающей воды, кг; r – скрытая теплота кристаллизации; γ – плотность мяса, кг/м^3; τ – время замораживания, ч; α – коэффициент теплоотдачи, кДж/(м^2·ч·град).

При этом можно сопоставить величины геометрических параметров (толщин) блоков мясной продукции и времени замораживания при прочих равных условиях, в частности, условий обеспечения технологии замораживания. Как видно из формулы скорость замораживания непосредственно зависит от толщины мясного блока, при этом процесс замораживания длится несколько десятков часов, так как скорость замораживания составляет доли сантиметра в час.

Для сокращения времени замораживания мясного продукта можно использовать форсирование режимов охлаждения, подмораживания и домораживания мясных продуктов, то есть процедуру шоковой заморозки. Как видно из рис., продолжительность замораживания одинаковых образцов

мясной продукции при шоковой заморозке значительно сокращается в отличие от обычного замораживания. Данное ускорение может быть обеспечено двумя способами: снижением температуры окружающей среды и повышением скорости циркуляции хладоносителя.



Зависимость процесса замораживания от времени
1 – стандартный способ; 2 –шоковая заморозка

При этом следует учитывать не только скорость замораживания мясных продуктов, но и качественную составляющую замороженных продуктов. Главные параметры, из которых: сохранение структуры тканей замороженных продуктов, снижение потери массы продукта (в сравнении с обычным замораживанием) и сохранение пищевых и вкусовых качеств продукта [2].

Поэтому при использовании шоковой заморозки имеет значение геометрические параметры мясных продуктов. То есть при использовании технологии шоковой заморозки габаритные размеры, например, мясных блоков по толщине не должны превышать 25 мм [1], а два других размера (длина и ширина) не более 100 мм. В таком случае качество продукта при шоковой заморозке может быть обеспечено существующими скороморозильными аппаратами (в частности, флюидизационные плиточные аппараты [3]). Следовательно, использование процедуры шоковой заморозки может быть использовано для заморозки относительно малых блоков мясных продуктов (в том числе и мясных полуфабрикатов), что может найти применение в большей степени мелкого или среднего производства.

Основная причина использования для шоковой заморозки мелких объектов связана с тем, что при использовании более габаритного объекта мясной продукции может возникнуть нежелательный процесс, связанный с сублимацией, что приведет к заведомо худшим качественным параметрам замораживаемого продукта. Так как в процессе шоковой заморозки проис-

ходит относительно быстрый переход в твердое состояние жидкой составляющей мясного продукта. При этом образуется поверхностный ледяной слой, и при дальнейшей обработке в холодном воздухе величина этого слоя увеличивается, занимая весь объем продукта [4]. Продолжительность данного процесса измеряется десятками минут, что обеспечивает замораживание продукта полностью (рис.), но при условии, что геометрические размеры, в частности, по толщине, не превышают 25 мм. А в случае, когда названный размер будет превышен, то время необходимое для замораживания продукта будет возрастать. А при этом будет наблюдаться эффект сублимации («испарение» замерзшей жидкости), что приведет, как следствие, к ухудшению указанных качественных показателей мясного продукта. Потому как у процессов сублимации и заморозки стоят общие (как сохранение продукта и его полезных веществ), так и различные (сохранение органолептических и вкусовых показателей) цели. В силу причин, что в процессе сублимации происходит «сушка» объекта, а это не желательно при заморозке и для параметров качества мясного продукта, а как следствие, и для потребителя в целом.

Для проведения экспериментальных исследований для выбора геометрических параметров образцов мясной продукции следует учитывать, исходя из вышесказанного, выбранный способ заморозки таких образцов. Поэтому для проведения экспериментов с процессами обычной заморозки могут быть использованы и крупногабаритные объекты, а для проведения процедуры шоковой заморозки следует использовать объекты, размеры которых не превышают 25 мм.

Наиболее приемлемые в качестве образцов для эксперимента по заморозке мясных продуктов являются объекты в шаровидной и кубической форме, первая легко применима для цельного мясного продукта, а вторая для мелкорубленного мясного продукта или фарша. В качестве геометрической формы мясной продукции как объекта заморозки обычным способом могут быть рассмотрены формы параллелепипеда, размеры которого указаны ранее. Для шоковой заморозки кубическая форма или шарообразная, но размером не более 25 мм.

Библиографический список

1. Рогов, И.А. Общая технология мяса и мясопродуктов / И.А. Рогов, А.Г. Забашта, Г.П. Казюлин. – М.: Колос, 2000. – 367 с.

2. Баранов, П.Н. К вопросу о факторах, влияющих на низкотемпературную обработку пищевых продуктов / П.Н. Баранов // Наука ЮУрГУ. Материалы 65-й научной конференции секции «Экономики, управления и права». – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 307–310 с. – Электронное издание. – URL: http://lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_KONF&key=000526924&dtype=F&etype=.pdf.

3. Холодильные установки. – URL: http://www.holodilnye-ustanovki.ru/catalog/pticepererabatyvajushhij-kompleks.

4. Онищенко, В.П. Состояние воды в мясе говядины при его замораживании и размораживании / В.П. Онищенко, Ю.А. Желиба, В.Д. Зинченко // Вестник Международной академии холода. – 2011. – № 2. – С. 39–42.

К содержанию

УДК 664.644.41/.42

ПРИМЕНИМОСТЬ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

И.В. Калинина, В.В. Ботвинникова

В статье описаны процессы производства кисломолочных продуктов, раскрыты основные факторы формирования их потребительских свойств. Предложены подходы интенсификации производства кисломолочных продуктов на основе эффектов ультразвукового воздействия.

Ключевые слова: кисломолочные продукты, электрофизическое воздействие.

В современных условиях глобализации проблемы продовольственной безопасности России, необходимо создание перспективных технологий разработки продовольственных товаров как системы действий, направленных на удовлетворение потребностей населения региона в качественных и доступных продуктах питания. Основным фактором увеличения объемов производства молока является техническая модернизация. Доля продукции, производимой по инновационным технологиям за последние годы (рис. 1) в России повысилась с 0,7 до 2,9 %.

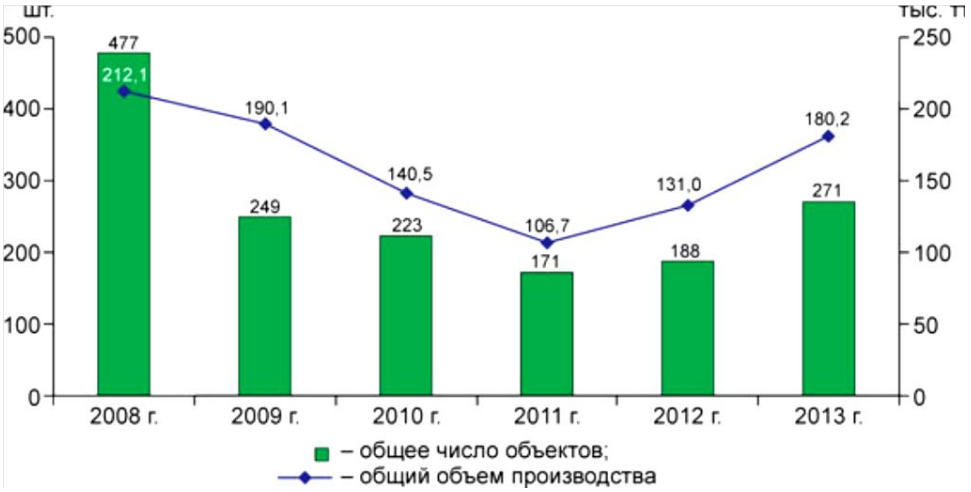


Рис. 1. Динамика количества новых, модернизированных и реконструированных объектов и объема производства молока, тыс. т

Для молочной отрасли основной проблемой, не позволяющей стабилизировать качество молочной продукции, является неудовлетворительное состояние сырьевого комплекса. Значительное снижение объемов заготовляемого молока и заметное ухудшение его качества обусловлено рядом объективных причин, обостряющихся для экологически неблагополучных зон (к числу которых относится Челябинская область) [2, 3, 4].

Исследование качества сырого коровьего молока показало, что наиболее характерно изменение состава, которое может быть следствием нарушения обменных процессов в организме животных, т.к. функция молокообразования связана с биосинтезом белков, витаминов, гормонов, ферментов, углеводным, жировым, минеральными обменами [1, 2].

Применительно к продуктам переработки молока, ключевым критерием, обусловливающим их потребительские свойства (пищевая полноценность, органолептические свойства, безопасность) является пригодность молочного сырья к переработке, которая оценивается по комплексу показателей – химический состав, технологическая пригодность, микробиологическая чистота. Данные параметры будут определять закономерности течения большинства технологических процессов [1, 2, 3, 5].

В целях выявления несоответствий качества молочных продуктов и обоснования применения воздействующих факторов электрофизической природы для их корректировки было проведено исследование образцов кисломолочных напитков, реализуемых на потребительском рынке. Полученные данные свидетельствуют о том, что разнородность качества молочного сырья, поступающего на переработку, определяет некоторые помехи для технологий производства и порождает значительный диапазон значений качества полученной продукции. Так, например, показатель титруемой кислотности для всех контролируемых образцов продукции имеет диапазон колебаний значений – от 6,4 до 11,2 ед. измерения на территории Челябинской области; от 5 до 10, 9 ед. измерения на территории Курганской области от 3, 4 до 8 ед. измерения на территории Свердловской области.

Результаты органолептической оценки исследуемых объектов свидетельствовали о годности молочных продуктов, так, например, усредненные значения балловой оценки по показателю «вкус и запах» лежат в зоне приемлемости (рис. 2).

Органолептическая оценка кисломолочных напитков показала, что продукты, изготовленные из молочного сырья на территории Челябинской области, имеют более низкие значения оценок: так для кефира – 2,6…3,0 балла против 3,2…3,4 балов для образцов Курганской области. Для ряженки соответственно: 3,8…4,0 и 4,0…4,1. Вероятно, исходные технологические свойства молока влияют на развитие заквасочной микрофло-

ры продукта, которая выполняет значительную роль в создании запаха, вкуса и аромата продукции и определяет их потребительские свойства.

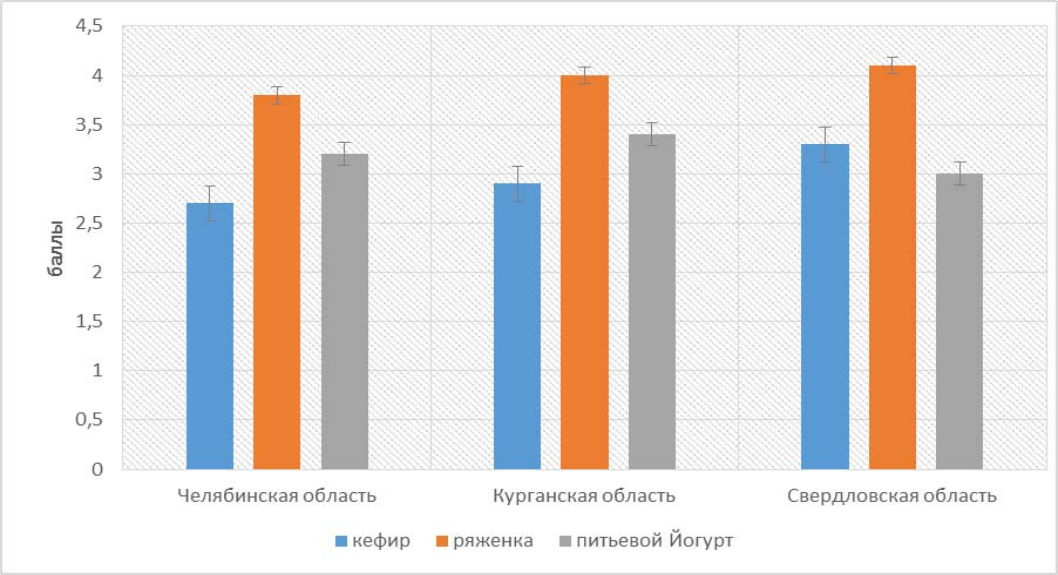


Рис. 2. Результаты органолептической оценки кефира, ряженки и питьевого йогурта, произведенных в Уральском регионе, баллы

Одним из альтернативных путей решения обозначенной проблемы в технологии кисломолочных продуктов может стать применение эффектов кавитации для их получения.

Большой научный и практический интерес представляет использование нетрадиционных методов интенсификации процессов, к их числу можно отнести ультразвуковое воздействие. В последние годы ультразвук начинает играть все большую роль в промышленности и научных исследованиях.

Рассматривая применение ультразвуковых воздействий в области жидких пищевых сред (рис. 3), в том числе в переработке молока можно выделить наиболее перспективные направления:

Особенности протекания эффектов ультразвукового воздействия, в частности кавитационных процессов в различных средах и их результаты активно изучаются О.Н. Красулей, С.Д. Шестаковым, Н.В. Дежкуновым, П.В. Игнатенко, А.Г. Галстяном, M. Ashokkumar, D. Knorr, K.S. Suslick и другими авторами.

Ультразвуковое воздействие характеризуется наличием упругих колебаний и волн частотой выше 15–20 кГц, которые и определяют его специфические особенности в различных средах. Важнейшим нелинейным эффектом в ультразвуковом поле является кавитация – возникновение в жидкости массы пульсирующих пузырьков, заполненных паром, газом или их смесью [6, 7].

Рис. 3. Направления использования ультразвука
в производстве молочных продуктов

Ультразвук низкой интенсивности является фактором повышения ферментации продукта за счет улучшения массопереноса реагентов и продуктов через границы слоев и клеточные мембраны. В работах Sinisterra J. (1992 г.), Pitt & Rodd (2003 г.), Matsuura (1994 г.) доказывается ускорение процессов ферментации в производстве пищевых продуктов препятствующего брожению.

Оценка качества кисломолочных напитков, полученных на основе применения ультразвукового воздействия, показала, что наблюдается активизация заквасочной микрофлоры. Наиболее активно развиваются мезофильные гомо- и гетероферментативные лактококки.

Отмечено, что предварительно вымешанные сгустки имели значения показателей вязкости характерные для неразрушенных сгустков. Вероятно, при формировании сгустка в молоке, обработанном ультразвуковой кавитацией, количество тиксотропно-обратимых связей, по сравнению с необратимо разрушающимися, значительно выше, чем в сгустке из необработанного молока.

Таким образом, установлено, что эффекты кавитации, инициируемые ультразвуковым воздействием, существенно определяют жизнедеятельность микрофлоры и как следствие интенсивность процессов сквашивания. Под воздействием ультразвука наблюдается качественное изменение компонентов молока, что впоследствии определяет их доступность к преобразованию ферментами бактериальных заквасок.

Библиографический список

1. Горбатова, К.К. Физико-химические и биохимические основы производства молочных продуктов / К.К. Горбатова. – СПб.: Гиорд, 2003. – 346 с.

2. Потороко, И.Ю. Управление процессами формирования потребительских достоинств молочных продуктов / И.Ю. Потороко – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 159 с.

3. Семенихина, В.Ф. Кисломолочные продукты / В.Ф. Семенихина // Молочная промышленность. – 1987. – № 8. – С. 31–33.

4. Фильчакова, С.А. Национальный кисломолочный напиток – кефир / С.А. Фильчакова // Переработка молока. – 2010. – Т. № 3. – С. 34–35.

5. Степаненко, П.П. Микробиология молока и молочных продуктов / П.П. Степаненко. – М.-Сергиев Посад: ООО «Все для вас – Подмосковье», 1999. – 415 с.

6. Schulz M. 100 Jahre Kefir in Nordeuropa und die Heutige Bedeutung der Kefirsauermilch // Lte. Molkerei und Kaserei Zeitung, 1968. – V. 89, № 13. – Pp. 489–891.

7. Ashokkumar M. Cavitation. ANovel Ennergy-Efficient Technique for the Generation of Nanomaterials / M. Ashokkumar, M. Sivakumar, 2014. – 433 p.

К содержанию

УДК 664.657

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СКОРОСТЬ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЧЕРСТВЕНИЯ ХЛЕБА

Н.В. Науменко

Рассмотрены факторы, влияющие на процессы, происходящие в хлебе в процессе его получения и хранения. Также представлен способ замедления процесса черствения хлеба. Отмечается возможность использования ультразвукового воздействия как способа интенсификации процесса брожения и улучшения качества готовых изделий, и, как следствие, снижения скорости протекания процессов черствения.

Ключевые слова: хлеб и хлебобулочные изделия, хранение хлеба, черствение хлеба, ультразвуковое воздействие.

В последние годы остро стоит проблема качества и сохраняемости выпускаемого хлеба и хлебобулочных изделий. В первую очередь это связано с понижением товарного качества зерна пшеницы.

В результате переработки зерна с низкими хлебопекарными свойствами увеличиваются затраты на корректировку качества продукции, что обусловливает необходимость использования улучшителей и других дорогостоящих технологических и технических приемов, а также способствует снижению выхода хлебобулочных изделий – основы рентабельного производства.

Совершенствованию процесса приготовления хлебобулочных изделий и повышению их качества может способствовать воздействие ряда факторов физической природы на отдельные компоненты, входящие в состав рецептурных ингредиентов. Одной из главных составляющих пшеничного теста является вода. От ее свойств зависит активность процессов брожения, а также степень проникновения в структурные элементы теста и, в конечном счете, реологические характеристики, а также качество готовых изделий.

Актуальной проблемой остается поиск инновационных технологий, направленных не только на формирование заданного качества хлеба и хлебобулочных изделий, но и нацеленных на ресурсосберегающую переработку сырья и максимальное сохранение его физиологически ценных компонентов. Среди таких технологий можно выделить использование методов воздействия физической природы, а именно ультразвука.

Ультразвук широко применяется в пищевой промышленности, оказывая положительное влияние на такие процессы как: диспергирование, растворение, экстрагирование, эмульгирование. Так же ультразвук применяется при производстве напитков [1] и молочной промышленности [2], в хлебопекарной промышленности с помощью ультразвука активируют дрожжи, воду перед замесом теста [3].

Относительно влияния УЗ обработки на состав и свойства воды существует достаточно много противоречивых данных, объясняемых различными теориями. Однако, неоспоримым остается тот факт, что воздействие УЗ на воду приводит к изменениям ее структуры, что, в свою очередь, в различной степени отражается на свойствах и показателях качества воды.

Эффективность применения ультразвука может быть обусловлена воздействием специфических эффектов, присущих ультразвуковым колебаниям, а именно кавитацией.

Изменение структуры и свойств воды определяются рядом эффектов, вызываемых ультразвуковой обработкой. Согласно данных [4], одним из наиболее мощных эффектов является кавитационная дезинтеграция, вызывающая диссоциацию молекулы воды и разрушение субстанций присутствующих в ней.

Известно, что кавитация является весьма эффективным процессом деструкции воды. Кавитационная дезинтеграция, как результат воздействия первичного и вторичного звуков акустического поля кавитации вызывает разрушение водородных связей внутри ассоциатов молекул воды, что повышает ее гидратационную активность.

Использование воды, обработанной ультразвуковым воздействием, положительно сказывается на скорости процесса брожения теста. Об этом свидетельствуют данные увеличения скорости накопления дрожжевых клеток, а также улучшение технологической эффективности брожения.

Активированная вода положительно сказывается на развитии белковой матрицы и увеличении размера крахмальных зерен в процессе созревания теста. В сравнении с контрольными образцами можно отметить увеличение размеров крахмальных зерен и интенсивное развитие белковой матрицы, что также положительно сказывается на качестве и сохраняемости хлеба.

При проведении органолептической оценки качества было отмечено, что в экспериментальных образцах, пористость более развита, поры равномерные и тонкостенные. Установление физико-химических показателей подтвердило результаты органолептической оценки и показало, что уже на начальном этапе хранения значение пористости и влажности было выше контрольных образцов.

В процессе хранения выделенная тенденция сохранялась, у экспериментальных образцов

В процессе хранения готовых изделий отмеченная тенденция сохраняется. У экспериментальных образцов менее выражено происходит повышение крошковатости и снижение набухаемости мякиша в процессе хранения, что свидетельствует о замедлении процессов черствения.

На основании экспериментальных данных можно сказать, что использование воды, обработанной ультразвуковым воздействием, приводит к интенсификации процессов брожения, более полному набуханию белковой матрицы и зерен крахмала в тесте. В дальнейшем отмечается улучшенные органолептические показатели экспериментальных образцов и значительное замедление процессов чествения хлеба.

Библиографический список

1. Калинина, И.В. Перспективы использования ультразвуковой экстракции в технологии производства морсов / И.В. Калинина, Р.И. Фаткуллин // Проблемы экономики и управления в торговле и промышленности. – 2013. – № 3 (3). – С. 55–59.

2. Попова, Н.В. Инновационные технологии формирования качества восстановленных продуктов переработки молока / Н.В. Попова, И.Ю. Потороко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2014. – Т. 2. – № 2. – С. 16–26.

3. Хмелѐв, В.Н. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве: научная монография / В.Н. Хмелѐв, О.В. Попова. – Барнаул: изд. АлтГТУ, 1997. – 160 с.

4. Шестаков, С.Д. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции / С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, В.И. Богуш, И.Ю. Потороко. – М.: Изд-во «ГИОРД», 2013. – 152 с.

К содержанию

УДК 664.644.41/.42

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ПРОБИОТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

И.В. Фекличева

Кисломолочные продукты являются природным источником пре- и пробиотических веществ, способными регулировать многие физиологические функции организма. Автором рассмотрены такие способы повышения функциональности продуктов, как обогащение их пищевыми волокнами и олигосахаридами, сокультивирование бифидобактерий и пропионовокислых бактерий с различными штаммами лактобактерий и молочнокислых стрептококков, обработка сырья ультразвуком, что позволяет получать продукты с более высокими, по сравнению с традиционными пре- и пробиотическими свойствами.

Ключевые слова: кисломолочные продукты, пищевые волокна, бифидобактерии, пропионовокислые бактерии.

Современные условия жизни в мегаполисах, характеризующиеся высокими психоэмоциональными нагрузками и действием множества неблагоприятных экологических факторов особую актуальность приобретает создание продуктов функционального питания, как средства повышения адаптивных возможностей организма человека.

Под термином «функциональное питание» подразумевается использование продуктов естественного происхождения, основные ингредиенты которых при употреблении оказывают регулирующее действие на органы и системы человека.

Продукты функционального питания содержат в своем составе один или несколько из нижеперечисленных компонентов:

1) пробиотические микроорганизмы;
2) олигосахариды;
3) полиненасыщенные жирные кислоты;
4) витамины;
5) пищевые волокна;
6) антиоксиданты;
7) органические кислоты;
8) минеральные вещества.

Одной из основных категорий продуктов функционального питания являются кисломолочные продукты. Молочнокислые микроорганизмы и их метаболиты, нормализуя состав микрофлоры кишечника, способствуют повышению резистентности организма к инфекционным агентам и другим неблагоприятным факторам среды.

Доминирующее положение в полости толстого кишечника занимают бифидобактерии [8]. Их положительное влияние на организм человека обусловлено комплексом факторов:

1) преобладание бифидобактерий на стенках толстого кишечника лишает нежелательные микроорганизмы нутриентов и жизненного пространства и, как следствие, ведет к подавлению последних [1, 4];

2) уксусная, молочная и муравьиная кислоты, выделяемые бактериями, подавляют рост гнилостной микрофлоры [5];

3) стимулирующим влиянием бифидобактерий на общий и местный иммунитет [9];

4) способностью преобразовывать желчные соли в свободные формы, обладающие большей бактерицидной активностью в отношении болезнетворных микроорганизмов [4, 9];

5) летучие жирные кислоты, синтезируемые бифидобактериями, стимулируют перистальтику толстого кишечника, ускоряя эвакуацию его содержимого [5];

6) органические кислоты, продуцируемые бифидобактериями, улучшают всасывание кальция и железа, а также витамина D[5];

7) бифидобактерии способны расщеплять нитрозамины – канцерогены, образующиеся в кишечнике, усиливая противоопухолевую защиту организма [3, 9];

Перечисленные выше свойства бифидобактерий обусловливают создание большого разнообразия кисломолочных продуктов с их использованием. Однако медленный рост бифидобактерий в чистом молоке создает сложности для производства бифидосодержащих продуктов. Обогащение продуктов бифидобактериями чаще всего проводится путем добавления бактериального концентрата бифидобактерий в кисломолочный продукт, произведенный на основе заквасок, содержащих другие молочнокислые микроорганизмы. Такие продукты содержат незначительное количество метаболитов бифидобактерий, что снижает их полезные свойства.

Ускорить рост бифидобактерий в молоке позволяет совместное культивирование их с протеолитическими штаммами лактобактерий, расщепляющими казеин с образованием бифидогенных пептидов и аминокислот [6]. Кроме того, бифидобактерии за счет продукции большого количества уксусной кислоты придают продукту резкий вкус и запах. Совместное же культивирование лакто- и бифидобактерий стимулирует накопление летучих жирных кислот и диацетила, что улучшает органолептические свойства продукта. Чаще всего для получения кисломолочных продуктов бифидобактерии культивируют совместно с L.lactis, L.cremoris, L. diacetylactis, S.thermophilus, Leuconostocspp., L.acidophilus, L.plantarum, L.casei, L. fermenti. Для улучшения органолептических свойств продуктов, ферментированных бифидобактериями, используют совместное их культивирование с L.acidophilus, про-

дукты жизненедеятельности которых, за счет высокой кислотности маскируют привкус уксусной кислоты, или Leuc. dextranicum, маскирующими этот привкус за счет образования значительных количеств диацетила [7].

Повышению приживаемости пробиотических микроорганизмов полости толстого кишечника способствует обогащение кисломолочных продуктов лактулозой, которая представляет собой дисахарид, состоящий из остатков галактозы и фруктозы. В отличие от своего стереоизомера лактозы, лактулоза не расщепляется ферментами пищеварительного тракта человека и достигает в неизмененном виде толстого кишечника, где используется как нутриент пробиотическими микроорганизмами [3].

Перспективным способом увеличения пробиотического потенциала кисломолочных продуктов позволяет обогащение их пропионовокислыми бактериями. Вызывая сходные с бифидобактериями эффекты в отношении организма человека, пропионовокислые бактерии обладают высокой антимутагенной активностью, снижают геннотоксическое действие некоторых химических веществ и ультрафиолетовых лучей, способны синтезировать большое количество витамина В12[2].

Использование заквасок на основе бифидобактерий и пропионовокислых бактерий позволяет получить пищевые продукты нового поколения, способствующие повышению устойчивости организма к вредным условиям окружающей среды и различным инфекционным заболеваниям.

Библиографический список

1. Карпушина, С.Г. Выделение, идентификация и некоторые биологические свойства бифидобактерий из кишечника человека / С.Г. Карпушина, М.В. Тюрин, А.А. Иванов, С.Д. Митрохин, В.А. Лившиц // Биотехнология. – 1998. – №2. – С. 28–36.

2. Хамагаева, И.С. Кисломолочный напиток «Целебный» / И.С. Хамагаева, Л.М. Качанина // Молочная промышленность. – 2005. – № 5. – С. 66–68.

3. Лактулоза: назначение и использование / В.Д. Харитонов, Ю.И. Филатов, Д.С. Мищенко и др. // Молочная промышленность. – 2000. – № 7. – С. 16–19.

4. Шевелева, С.А. Пробиотики, пребиотики и пробиотические продукты. Современное состояние вопроса / С.А. Шевелева // Вопросы питания. – 1999. – № 2. – С. 32–39.

5. Шендеров, Б.А. Медицинская микробная экология и функциональное питание. Т. I. Микрофлора человека и животных и ее функции / Б.А. Шендеров. – М.: Грантъ, 1998. – 288 с.

6. Buttriss Judith. Nutritional properties of fermented milk products // Int. J. Dairy Technol. – 1997. – Vol.50. – № 1. – Pp. 21–27.

7. Klaver F.A., Kingma F. Groeirelatiestussenbifidobacterien en lactobacillen in melk // Voedingmiddelentechnologie. – 1990. – Vol. 23. – № 9. – Pp. 13–16.

8. Nord C.E., Kager L. The normal flora of the gastrointestinal tract // Neth. J. Med. – 1984. – Vol. 27. – Pp. 249–252.

9. Rasic Y.L., Kurmann I.A. Bifidobacteria and their role. Microbiological, nutritional-physiologal, medical and technological aspects and bibliography. BorknauseurVerlag, Rasel. Boston. Stuttgart, 1983. – 295 p.

10. Tamime A.Y., Marshall V.M.E., Robinson R.K. Microbiological and technological aspects of milks fermented by bifidobacteria // Journal of Dairy Research. – 1995. – Vol. 62. – Pp. 151–187.

К содержанию

УДК 664.38

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРАТАЦИИ БЕЛКОВ НА ОСНОВЕ СОНОХИМИИ

Л.А. Цирульниченко

Автором рассмотрены вопросы применения альтернативных способов регулирования качества и технологических свойств мяса птицы. В статье рассмотрены проблемы, которые стоят перед мясоперерабатывающими предприятиями. В качестве перспективного способа автором предложено применение ультразвукового воздействия. В статье приведены основные эффекты, которые могут быть применены в технологическом процессе переработки мяса птицы.

Ключевые слова: ультразвук, сонохимия, мясо птицы, гидратация.

В настоящее время воздействие акустических колебаний используется в качестве стимулирующего, интенсифицирующего и оптимизирующего фактора практически во всех классах технологических процессов [3]. Так, например, при акустическом диспергировании или акустической очистке проявляется их стимулирующий характер. Интенсификацию наблюдают при увеличении скорости процессов, примером могут служить, акустическое растворение, акустическая кристаллизация и сушка. В тех случаях, когда за счет акустических колебаний наблюдается упорядочивание течения процесса (акустическая грануляция и акустическое центрифугирование), проявляется оптимизирующий характер их воздействия.

Известно, что воздействие ультразвука (УЗ) на химико-технологические процессы осуществляется через эффекты первого и второго порядка. К эффектам первого порядка относят частоту, интенсивность и скорость акустических колебаний. К эффектам второго порядка относят нелинейные эффекты, развивающиеся в жидкости при распространении мощных акустических колебаний – кавитация (разрыв сплошности жидкости), акустические течения (звуковой ветер), пульсация газовых пузырьков и т.п.

Явление кавитации – главный инструмент сонохимии, которая изучает химические реакции, проявляющаяся в жидкости при воздействии ультразвука.

Протекающие под воздействием кавитации процессы в жидких пищевых с средах представляют немалый интерес с точки зрения их влияния на физико-химические и другие свойства сырья и готовой продукции в пищевой и перерабатывающей промышленности. В частности, на гидратационные свойства белков мясного сырья [1, 6, 7, 8].

Водосвязывающая способность мяса определяет его качество при технологической и кулинарной обработке. Состояние миофибриллярных белков мяса в процессе посола определяет нежность, сочность и выход готовых продуктов. Так, при продолжительной механической обработке мясного сырья вначале происходит разрыхление структуры белков соленого мяса, что улучшает технологические показатели, затем наблюдается разрушение сетки мембран и филаментов, что влечет за собой уплотнение структуры мясного сырья и снижение технологических показателей [2, 4, 5].

Таким образом, исследование состояния воды в мясе позволяет определять его технологические свойства и тем самым научно подходить к использованию методов воздействия на водную фракцию продукта и регулированию качественных и количественных соотношений форм связи.

Установление возможности интеграции УЗ обработки воды в технологию производства продуктов переработки мяса птицы на этапе подготовки пищевых жидких сред (рассолов), в рамках работы проводилось путем постановки серии рекогносцировочных экспериментов.

Для исследований применялся аппарат ультразвуковой технологический «Волна» модель УЗТА-0,4/22-ОМ (технические характеристики представлены в таблице 1). Принцип действия основан на использовании свойств ультразвуковых колебаний высокой интенсивности в жидких и жидкодисперсных средах.

Паспортный режим ультразвуковой кавитационной обработки следующий: 2 кВт с частотой 22±1,65 кГц.

Таблица 1

Технические характеристики УЗТА-0,4/22-ОМ

Наименование показателя	**Значение**
Частота механических колебаний, кГц	22±1,65
Максимальная потребляемая мощность, Вт	400
Диапазон регулирования мощности, %	30–100
Избыточное давление обрабатываемой среды, атм., не более	4

При кавитации в воде генерируются гигантские импульсы давления, вызывающие соответствующие ее деформации, которые распространяются в ней со скоростью звука. Трансформация потенциальной энергии этих деформаций реализует надтепловой механизм разрушения молекулярных ас-

социатов при этом лишь вода переходит в термодинамически неравновесное состояние, а растворенная в ней поваренная соль полностью диссоциирует на ионы, которые будут иммобилизированы полярными мономолекулами воды либо прочно связаны в образующихся сольватных оболочках белка [3].

Если до начала процесса релаксации неравновесного состояния воду смешать с измельченной биомассой, содержащей животный или растительный белок, то произойдет интенсивная реакция гидратации, превращающая воду в составную часть структуры белка и увеличивающая тем самым его массу.

Оценить изменение уровня гидратации белковых структур мяса птицы под действием эффекта кавитации также можно по методике, предложенной проф. А Фишером (Университет Хоэнхайм, Германия.

Данная методика представляет собой контроль потерь массы фаршем при термообработке при температурах, близких к температуре кипения. Суть метода состоит в том, что воду, имеющую различные формы связи с биомассой исследуемого образца, приводят в термодинамическое равновесие с ее насыщенным паром при атмосферном давлении. При этом считают, что вода, объемная концентрация которой в образце стала равной концентрации ее в окружающем насыщенном паре – это свободная вода, соответственно, остальная – связанная. Термические потери i-тым образцом в процентах массы в каждой партии определяли по формуле (1):

$$L_i = \frac{M_i - m_i}{M_i - \mu_i} \times 100 \quad , \qquad (1)$$

где Mi, mi – массы образцов пробы в пробирках до термообработки и после, соответственно; μi – массы пробирок.

Нами были рассчитаны значения показателя Δ, который отражает содержание (%) гидратационно и капиллярно связанной влаги в образцах фаршей, полученных с использованием активированных жидких сред, относительно контрольных.

Изменение уровня гидратации белков опытных образцов МЦБ по отношению к контрольным представлено на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что использование кавитационного воздействия для приготовления посолочных смесей позволяет сократить термопотери массы в среднем на 4–5 % (при мощности от 120 до 240 Вт и продолжительности воздействия от 1 до 3 мин) для мясного сырья различного термического состояния. Положительная динамика для фаршей на основе МЦБ, изготовленных из размороженного сырья, обладающего наиболее низкими функционально-технологическими свойствами, что, вероятно, связано с механическим повреждением клеток кристаллами льда, представляет особый интерес для наших исследований.

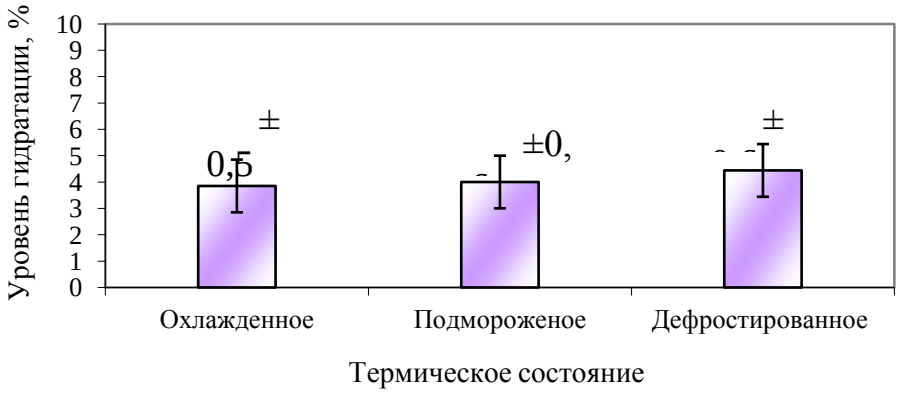


Рис. 1. Изменение уровня гидратации белков опытных образцов МЦБ по отношению к контрольным

Для определения оптимального режима обработки с учетом термического состояния мяса птицы был проведен двухфакторный анализ. В качестве переменных факторов были выбраны мощность и продолжительность ультразвукового воздействия. Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 2.

Таблица 2

План проведения эксперимента

Уровни	Входные параметры		Выходные параметры		
	мощность, Вт	экспозиция, мин	Охлажденное мясо ЦБ	Подмороженное мясо ЦБ	Дефростированное мясо ЦБ
Основной 0	180	2			
Верхний +	240	3			
Нижний –	120	1			
Интервал варьирования	60	1			
Сочетание факторов					
1	–	–			
2	+	–			
3	0	–			
4	–	+			
5	+	+			
6	0	+			
7	–	0			
8	+	0			
9	0	0			

Реализация плана двухфакторного эксперимента и статистическая обработка данных позволили получить адекватные изучаемому процессу поверхности отклика (рис. 2).

Для образцов фаршей из охлажденного мяса показатель уровня гидратации изменяется от 2,3 % при 120 Вт, 1 мин до 7,4 % при 180 Вт, 2 мин. Для фаршей из подмороженного мяса – от 2 % при 120 Вт, 1 мин до 6,8 % при 180 Вт, 3 мин. Для фаршей из дефростированного мяса – от 1,7 % при 120 Вт, 1 мин до 7 % при 180 Вт, 2 мин.

Таким образом, наибольшее значение уровня гидратации в зависимости от термического состояния сырья отмечены при следующих экспозициях:

– охлажденное сырье – 186 Вт, 1,8 мин;
– подмороженное сырье – 180 Вт, 2,1 мин;
– дефростированное сырье – 173 Вт, 2,3 мин.

Наивысшие значения уровня гидратации указывают на предпочтительность практического использования исследуемых параметров с учетом возможностей УЗ реактора «Волна» УЗТА-0,4/22-ОМ в диапазоне:

– охлажденное сырье – 180 Вт, 1,8 мин;
– подмороженное сырье – 180 Вт, 2,1 мин;
– дефростированное сырье – 180 Вт, 2,3 мин.

Установленные режимы УЗ воздействия могут быть использованы для получения жидких пищевых сред (рассолов) в технологии производства различных видов ППМЦБ, в том числе патрульных и рубленых полуфабрикатов с учетом термического состояния сырья.

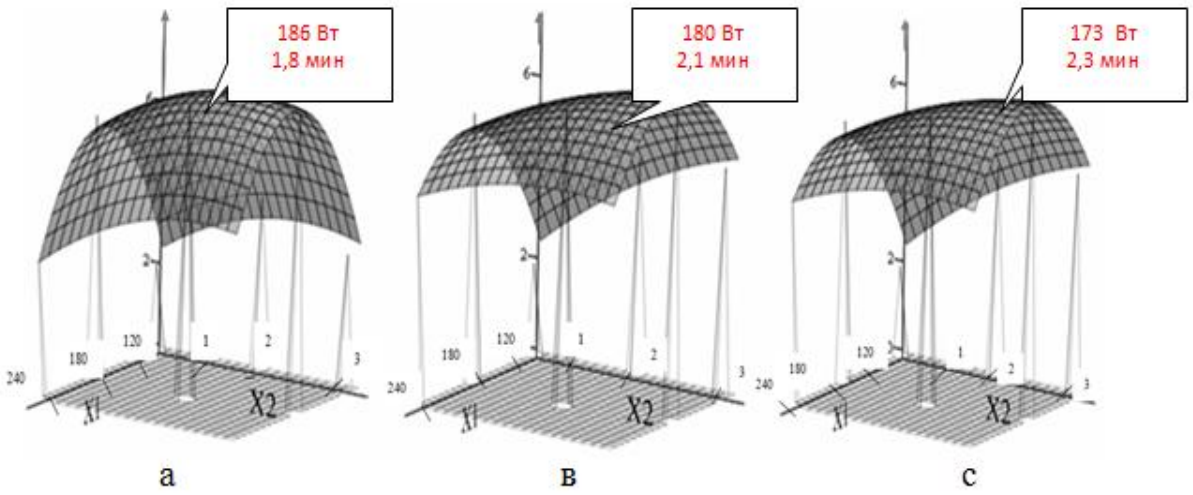


Рис. 2. Зависимость показателей уровня гидратации белков мяса от мощности и длительности УЗ воздействия для фаршей из охлажденного (а), подмороженного (в) и дефростированного (с) сырья (X_1 – мощность, Вт, X_2 – время, мин)

Учитывая, что уровень гидратации белков мяса тесно взаимосвязан с его функционально-технологическими свойствами, исследование влияния эффектов кавитации на их изменение составляет определенный интерес с точки зрения возможности улучшения потребительских свойств готовых продуктов.

Библиографический список

1. Возможности применения кавитационного воздействия в технологиях пищевых производств описаны в трудах отечественных и зарубежных ученых Юдаева В.Ф., Промтовой М.А, Рогова И.А., Красули О.Н, Шестакова С.Д., Тихомировой Н.А., Хмелева В.Н., M.Ashokkumar, T.Maisona, J.Suslika и др.

2. Месхи, А.И. Биохимия мяса, мясопродуктов и птицепродуктов / А.И. Месхи. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984. – 280 с.

3. Шестаков, С.Д. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции / С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, В.И. Богуш, И.Ю. Потороко. – М.: Изд-во «Гиорд», 2013.

4. Жаринов, А.И. Роль макроэлементарного состава воды и хлорида натрия в формировании свойств мясных систем и качества готовой продукции / А.И. Жаринов, Т.А. Сергиенкова, О.В. Веселова, В.А. Малков // Все о мясе. – 2001. – № 3. – С. 911.

5. Заяс, Ю.Ф. Качество мяса и мясопродуктов / Ю.Ф. Заяс. – М.: Легкая и пищ. пр-ть, 1981. – 480 с.

6. M. Ashokkumar The characterization of acoustic cavitation bubbles – an overview Ultrasonics Sonochemistry, 18 (2011), Pp. 864–872.

7. Shestakov, O.Krasulya, V.Bogush, I. Potoroko Technology and equipment for food processing environments using cavitation disintegration, M Publishing house «Giord», 2013. – 152 p

8. Suslick K.S. The chemical effects of ultrasound // Scientific American. 1989. February. – Pp. 80–86.

К содержанию

УДК 664-4 + 001.895

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ В ФОРМИРОВАНИИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

И.Ю. Потороко

В статье описана возможность регулирования качества продуктов питания на основе применения инновационных подходов технологии их производства с ориентацией на требования конечного потребителя. Показано благоприятное влияние эффектов ультразвукового воздействия на потребительские свойства пищевых продуктов.

Ключевые слова: пищевые продукты, качество, потребительские свойства, эффекты ультразвука, инновации.

Сегодня производство продуктов питания сопряжено с рядом проблем, среди которых качество сырья, а также его недостаточность для большинства предприятий определяет огромный комплекс задач.

Одной из целей, деятельности предприятия является удовлетворенность потребителя. Выделяют четыре стратегии удовлетворенности потребителей:

− базирующаяся на низкой ценности (качестве) и низкой стоимости продукции, характерная для «устаревшего производства»;

− основанная на низкой ценности (качестве) и высокой стоимости продукции, характерная для «плохого бизнеса»;

− основанная на высокой ценности (качества) и высокой стоимости продукции, характерная для «нишевого бизнеса»;

− базирующаяся на высокой ценности (качества) и низкой стоимости продукции, характерная для «вызова конкурентам».

Изменения соотношения ценности и стоимости продукции возможно не только при условии изменения новейших технологий и совершенствования материалов, но и установления оптимальной системы обеспечения, требуемого потребителем качества продукции, одновременно гарантирующей высокую ценность изделия и относительно низкую его стоимость.

В современных промышленных технологиях значительная роль отводится нетрадиционным способам обработки, которые выполняют разнообразные функции – способствуют интенсификации производства, улучшают функциональные свойства продовольственного сырья и полученных на его основе пищевых продуктов, повышают их хранимоспособность, позволяют внедрять ресурсо- и энергосберегающие технологии.

Современное состояние деятельности российских производителей продуктов питания ориентированное на поиск и внедрение новых подходов и к сырьевой базе, и к технологиям производства и способам доведения про-

дукта до потребителя должно учитывать необходимость обеспечения безопасности потребителя. Это обусловливает необходимость формирования системы управления производством инновационной продукции.

Приказ Министерства промышленности и торговли от 01.11.2012 г. № 1618 « Об утверждении критериев отнесения товаров, работ и услуг к инновационной продукции и (или) высокотехнологичной продукции по отраслям, относящимся к установленной сферы деятельности министерства промышленности и торговли Российской Федерации» определяет:

К инновационной продукции (относятся товары, работы и услуги, основу которых составляют результаты интеллектуальной деятельности, права на использование которых принадлежат производителю, и удовлетворяющих одному из следующих критериев:

− использование в продукции в течение последних трех лет научно-технических и (или) технологических решений, **значительно улучшающих или создающих новые потребительские свойства;**

− более высокая (в сравнении с существующими аналогами) экономическая и (или) экологическая эффективность на стадиях жизненного цикла продукции.

К высокотехнологичной продукции относится инновационная продукция, при производстве которой используются результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, соответствующих приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники Российской Федерации и (или) перечню критических технологий Российской Федерации.

Наибольшее применение в практике пищевой отрасли находят инновации технологического характера. Продуктовые инновации охватывают внедрение технологически новых или усовершенствованных продуктов:

– технологически новый продукт (радикальная продуктовая инновация) – это продукт, технологические характеристики которого (функциональные признаки, конструктивное выполнение, дополнительные операции, а также состав используемых материалов и компонентов) или предполагаемое использование принципиально новые либо существенно отличаются от аналогичных характеристик и использования ранее производимых продуктов. Такие инновации могут быть основаны на принципиально новых технологиях или на сочетании существующих технологий в новом их применении (в том числе, на использовании результатов исследований и разработок);

– технологически усовершенствованный продукт – это существующий продукт, качественные или стоимостные характеристики которого были заметно улучшены за счет использования более эффективных компонентов и материалов, частичного изменения одной или ряда технических подсистем (для комплексной продукции).

По характеру удовлетворяемых потребностей инновации подразделяются на создающие новые потребности; удовлетворяющие имеющиеся потребности иным способом; более эффективно удовлетворяющие имеющиеся потребности.

Важно учитывать место инновационного подхода (рис.), используемого предприятием пищевой отрасли в реализации программы продовольственной безопасности России.

Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности на период до 2020 года определяет необходимость внедрения новых технологий в отрасли пищевой и перерабатывающей промышленности, в том числе био- и нанотехнологии, позволяющие значительно расширить выработку продуктов нового поколения с заданными качественными характеристиками, лечебно-профилактических, геронтологических и других специализированных продуктов. В настоящее время остается ниже рекомендуемых медицинских норм потребление населением таких важнейших продуктов, как мясо и мясопродукты, молоко и молокопродукты, овощи, фрукты и ягоды.

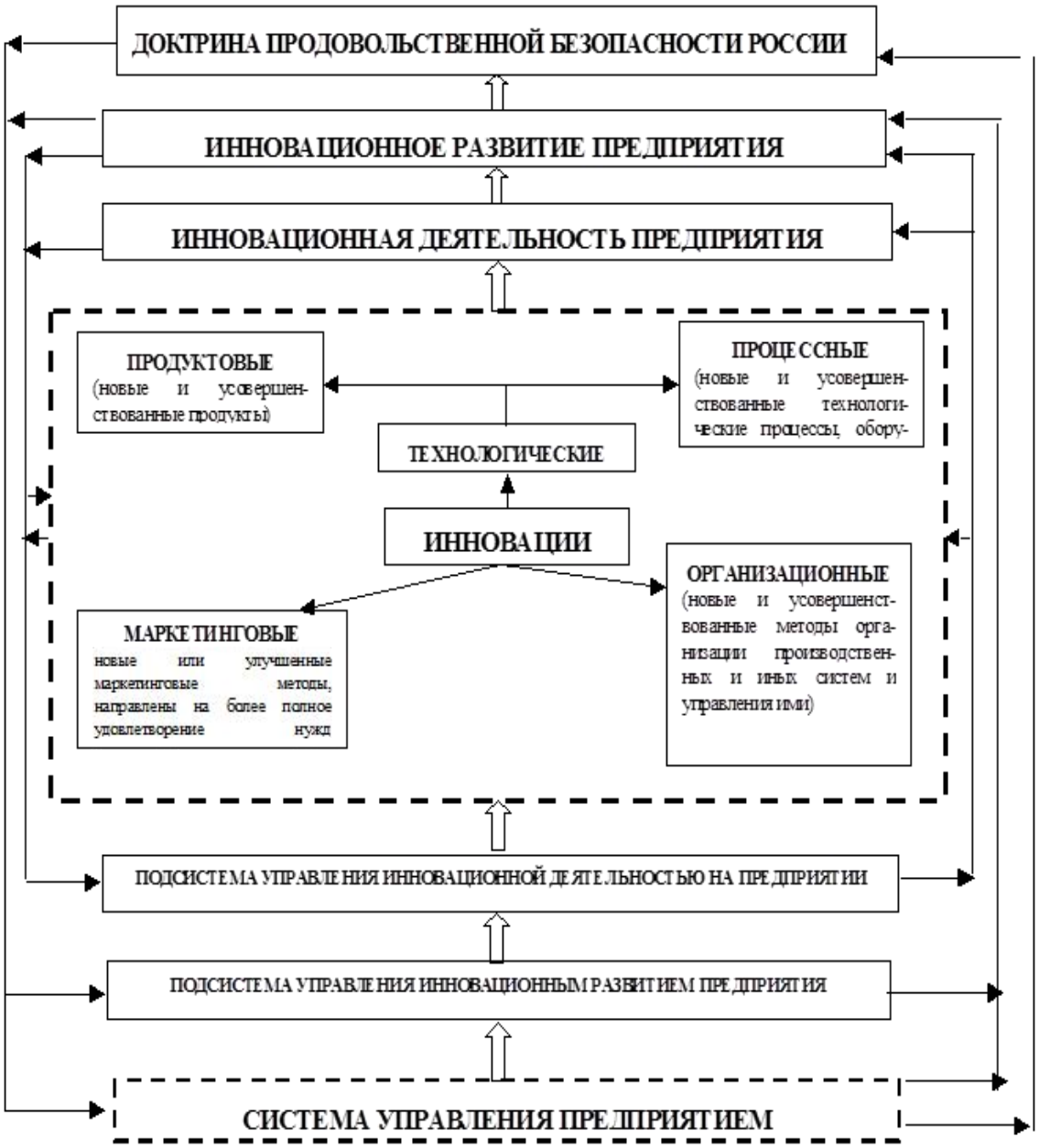
В настоящее время пищевая и перерабатывающая промышленность включает в себя более 30 отраслей, объединяющих более 43 тысячи действующих организаций, однако численность предприятий реализующих инновационные технологии еще недостаточно велика.

Вопросам разработки инновационной политики предприятий пищевой промышленности освещены ведущими российскими учеными в области экономики и пищевого производства – Аксеновой Л.М., Большаковым О.В., Войткевичем Н.Ю., Голубевым В.Н., Тутельян В.А., Дунченко Н.И., Злобина Л.А., Кантере В.М, Яновским А.М. и другими.

Для усиления вектора инновационного развития в отраслях пищевой и перерабатывающей промышленности предполагается задействовать новый механизм с использованием технологической платформы. Технологическая платформа, объединяющая усилия бизнеса, государства и науки, будет способствовать решению проблем продовольственной безопасности, здорового питания населения за счет внедрения новых технологий и биотехнологий, оборудования для производства нового поколения продуктов питания, в том числе обогащенных минералами и нутриентами, продуктов функционального назначения, специализированных лечебных и профилактических продуктов.

Сегодня методы ультразвукового воздействия (УЗВ) определены мировым научным сообществом как особенно перспективная технология для пищевой промышленности в целом и молочной отрасли в частности. Особый интерес при этом составляют эффекты второго порядка, в частности, эффекты кавитационного воздействия. В книге M. Ashokkumar и M. SivaKumar Cavitation. A Novel Energy-Efficient Technique for the Genera-

tion of Nanomaterials описаны инновационные подходы в промышленных технологиях на основе кавитации. Авторами доказано возможность оказывать влияние на комплекс свойств от размеров частиц до новых свойств.



Место в системе реализации доктрины продовольственной безопасности России предприятий пищевой промышленности

Многие инициируемые ультразвуком полезные реакции в растворах пищевых систем, по мнению одного из ведущих специалистов в области пищевой сонохимии Ashokkumar M., базируются на механизмах воздействия кавитации при денатурации биополимеров в их коллоидных растворах, реструктурировании гидратных оболочек ионов в истинных растворах и

даже диспергировании фаз золей, то есть при любых процессах, где объектом воздействия являются связи, образованные диполь-дипольными и ион-дипольными взаимодействиями.

Доказано, что механические и химические эффекты, генерируемые низкочастотным ультразвуком высокой интенсивности, могут быть полезны для инактивации патогенных микроорганизмов в пищевых продуктах и находят применение в процессах пастеризации и стерилизации жидких пищевых продуктов.

Ультразвуковая технология ускоряет процесс экстрагирования биологически активных веществ из сырья, а в сочетании с сорбционными процессами способствует снижению уровня техногенных загрязнений в молоке.

Основная идея реализации эффектов, наблюдаемых при ультразвуковом воздействии в пищевой промышленности, состоит в том, что эффекты кавитации вызывают изменения функционально-технологических свойств жидких пищевых систем (химических, технологических, физических, органолептических и т.д.), что способствует достижению определенного технологического эффекта. Технология сонохимической водоподготовки может быть реализована в технологии молочных продуктов из восстановленного и рекомбинированного молочного сырья, а также в производстве молочных, составных и молокосодержащих продуктов.

В целях установления влияния ультразвуковой кавитации на качество продуктов переработки растительного и животного сырья коллективом ученых кафедры «Экспертиза и управления качеством пищевых производств» ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) осуществляются исследования, доказывающие эффективность предложенного подхода.

В ходе исследований доказана:

− применимость кавитационных эффектов в совершенствовании технологии восстановленных продуктов переработки молока, интенсификации процесса восстановления, повышения качества восстановленных продуктов переработки молока и обеспечения их сохраняемости;

− возможность оптимизации потребительских характеристик продуктов переработки мяса цыплят-бройлеров на основе эффектов кавитации для корректировки функционально-технологических свойств мясного сырья и процессов производства продуктов его переработки;

− применимость ультразвукового воздействия для обеспечения качества и потребительских свойств морсов, полученных на основе ягодного сырья, как фактора интенсификации процесса их производства.

Проведенная работа дает основания рекомендовать сонохимическую обработку с использованием кавитационного ультразвукового реактора в технологиях пищевых производств как инновационный подход, позволявший обеспечить энерго- и ресурсоэффективность, а также принципы импортзамещения.

Библиографический список

1. Инновационная экономика. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Наука, 2004. – 352 с.

2. Пименов, С.В. Механизмы управления инновациями на предприятиях по производству продуктов питания: Монография / С.В. Пименов. – СПб., 2010. – 452 с.

3. Попова, Н.В. Обеспечение качества восстановленных продуктов переработки молока и интенсификация их производства на основе ультразвукового воздействия: дис. … канд. техн. наук / Н.В. Попова. – Кемерово, 2014. – 157 с.

4. Стратегия развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 года. – Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 апреля 2012 г. № 559-р // СПС «Гарант».

5. Шестаков, С.Д. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции // С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, В.И. Богуш, И.Ю. Потороко. – СПб.: Изд-во «ГИОРД», 2013. – 152 с.

6. Фаткуллин, Р.И. Формирование качества и обеспечение потребительских свойств морсов на основе интенсификации процессов их производства: дис. … канд. техн. наук / Р.И. Фаткуллин. – Орел, 2013. – 148 с.

7. Ashokkumar M. Cavitation. A Novel Energy-Efficient Technique for the Generation of Nanomaterials // M. Ashokkumar, M. Sivakumar, 2014. – 433 p.

8. Ashokkumar M., Rink R., Shestakov S. Hydrodynamic cavitation – an alternative to ultrasonic food processing. Electronic Journal “Technical Acoustics”, URL: http://www.ejta.org, 2011, 9.

9. Maison R., Knoerzer K. A brief history of the application of ultrasonics in food processing // 19-th ICA Congress, Madrid: 2007.

К содержанию

УДК 664.843

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОВОЩЕЙ

А.А. Руськина

Питание является одним из важнейших факторов, определяющих здоровье населения. Правильное питание обеспечивает нормальный рост и развитие детей, способствует профилактике заболеваний, продлению жизни, повышению работоспособности и создает условия для адекватной адаптации к окружающей среде. Вместе с тем, в последнее десятилетие состояние здоровья населения Российской Федерации характеризуется негативными тенденциями. В значительной степени нарушения питания среди населения России обусловлены кризисным состоянием в производстве и переработке продовольственного сырья и пищевых продуктов, ухудшением экономического положения большей части населения страны, ее низкой покупательной способностью. Структура питания населения Российской Федерации в последние годы характеризуется продолжающимся снижением потребления наиболее биологически ценных продуктов, таких как молоко и молочные продукты, фрукты, овощи, яйца, рыба, мясо, растительное масло. При этом увеличивается потребление хлеба и картофеля. В фактическом питании отмечаются несбалансированность по белкам, жирам и углеводам.

Ключевые слова: продовольственная безопасность, пищевая ценность, сбалансированное питание, микроэлементы, консервированные овощи.

Согласно Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденной Указом Президента РФ (Приказ № 120 от 30 января 2010 г.), основными задачами, стоящими перед агропромышленным комплексом и пищевой промышленностью, являются достижение продовольственной независимости страны за счет повышения удельного веса отечественной сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, а также обеспечение безопасности и качества потребляемых пищевых продуктов, в том числе и увеличения содержания в них дефицитных микроэлементов [3].

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), основным фактором, определяющим здоровье нации на 50–55 %, являются социально-экономические условия и образ жизни, в первую очередь – качество питания (20–25 %), генетическая предрасположенность (15–20 %), уровень развития системы здравоохранения (10–12 %). Доказано, что 80 % заболеваний связано с нарушениями питания. Неудивительно, что зависящие от

фактора питания хронические заболевания имеют все более широкое распространение. К данным заболеваниям относятся в первую очередь ожирение, сахарный диабет и другие метаболические заболевания, иммунодефициты, остеопороз, многие доброкачественные и злокачественные опухоли, заболевания сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта, включая дисбактериозы, в значительной степени патология беременности. Высокий уровень заболеваемости влечет за собой повышение смертности и снижение рождаемости. Нарушения питания в большинстве стран мира в настоящее время связаны не с дефицитом основных компонентов пищи – белков, жиров, углеводов. На первый план вышла проблема неполноценности питания – недостатка микронутриентов (витамины, макро- и микроэлементы) – это незаменимые компоненты питания человека, поскольку необходимы для протекания многочисленных биохимических реакций в организме. Данная проблема в полной мере касается и России.

По данным НИИ питания РАМН, у 60–80 % населения выявляется круглогодичный дефицит витамина С, у 50–60 % – витаминов Е и группы В, у 30 % – витамина А, у 70 % – фолиевой кислоты. Полигиповитаминоз сочетается с дефицитом селена, йода, железа, кальция, цинка, фтора и других макро- и микроэлементов. В целом недостаток какого-либо микроэлемента отмечаются практически у 100 % населения России.

Известно, что овощи являются незаменимым источником легкоусвояемых углеводов, физиологически активных веществ (витаминов, полифенолов, минеральных соединений, природных антиоксидантов и пищевых волокон). Проблемы обеспечения населения полноценными продуктами питания независимо от сезонности созревания, могут быть решены за счет их переработки или консервации. Задача консервирования – перевод нестойкого при хранении сырья в продукцию длительного хранения. Производство консервированных продуктов позволяет значительно сократить потери сельскохозяйственного сырья, обеспечить круглогодичное снабжение населения плодоовощной продукцией в широком ассортименте. В зависимости от воздействия на сырье и происходящих в нем процессов, способы переработки овощей и плодов разделяют на следующие группы:

– физические – термостериализация (при производстве консервов в герметически укупоренной таре), сушка, замораживание;

– биохимические (микробиологические) – квашение и соление овощей, мочение плодов и ягод;

– химические – консервирование веществами антисептического действия, кислотами и другими консервантами и маринование.

Данные процессы позволяют максимально сохранить пищевую ценность исходного сырья, что имеет определенную актуальность применения консервированных овощей.

Однако даже правильно выстроенная технология переработки не позволяет сохранить в конечном продукте все полезные вещества исходного сырья.

Пищевая ценность характеризует всю полноту полезных свойств продукта и его вкусовые достоинства, обусловленные содержащимися в нем разнообразными питательными веществами. Пищевая ценность тем выше, чем в большей степени продукт удовлетворяет физиологические потребности организма в этих веществах и обеспечивает его нормальное функционирование.

Из таблицы видно, что консервирование может оказывать на пищевую ценность продуктов как позитивное, так и негативное воздействие. В переработанных овощах снижается количество белков и углеводов. По микроэлементам, таким как калий и фосфор наблюдается также незначительное их снижение в исходном продукте по сравнению с сырьем. Вместе с тем, за счет использования соли как консерванта, увеличивается количество натрия.

Таблица

Содержание основных питательных веществ, мг/100 гр

Основные элементы	Свежие овощи				Переработанные овощи			
	Зеленый горошек	Капуста белокочан.	Томаты	Огурцы	Зел. гор. консервир.	Капуста квашенная	Томаты консервир.	Огурцы соленые
Белки	5,0	1,8	1,0	0,6	3,1	1,5	0,9	1,0
Жиры	0,2	0	0	0	0,2	0,3	0	0
Углеводы	13,3	5,4	4,2	3,0	13,3	2,9	3,1	1,5
Натрий	2,0	13	6,0	9,0	12,0	45	298	960
Калий	285	185	295	140	135	187	260	197
Фосфор	122	31	25	25	53	51	35	30
Каротин (А)	0,4	0,02	1,2	0,02	0,01	0,02	0,05	0,02
Витамин С	25	45	25	7,0	12,5	90	15	8,5
Витамины группы В	0,2	0,35	0,5	0,25	0,2	0,35	0,35	0,2
Энергетическая ценность	75	28,8	20,8	14,4	40	20,3	16,0	10,0

В овощах содержится больше всего витамина С, который очень нестоек, он легко разрушается под воздействием кислорода воздуха, особенно при нагревании. Кроме того, он хорошо растворим в воде, и поэтому его можно потерять при мойке овощей. В процессе консервирования главные потери витамина С имеют место при бланшировании плодов и овощей и при их стерилизации. Эти потери могут быть очень большими, но при нормальном ведении технологического процесса и выполнении ряда мероприятий можно существенно сократить эти потери. Сравнительное изучение показало, что сохраняемость витамина С при консервировании, например, зеленого горошка достигает 50–75 % от исходного сырья. Исклю-

чением является квашенная капуста, в ней количество витамина С увеличивается в разы по сравнению со свежей капустой. Это происходит за счет брожения капусты, при котором образуются молочная и уксусная кислоты, этиловый спирт, углекислый газ и аскорбиновая кислота.

Чтобы повысить пищевую ценность различных консервированных овощей, их при производстве комбинируют с корнеплодами (сельдерей, морковь, столовая свекла), ягодами (клюква, брусника, смородина), а также репчатым луком, чесноком, салатом, шпинатом, тыквой, фасолью, горохом, перцем, дыней и т.п., так как они содержат очень мало белков и жиров (это не относится к гороху и фасоли), но достаточно витаминов, минералов, органических кислот, клетчатки, пектина. Дополнительно, для повышения пищевой ценности консервированные овощи в процессе производства обогащают некоторыми витаминами (аскорбиновой кислотой, каротином).

Одной из основных причин дефицита микроэлементов в пище является постоянное снижение их уровня в продуктах сельского хозяйства, предназначенных как для потребления человеком в натуральном виде, так и после переработки. Уровень таких микроэлементов, как кальций, железо, магний, цинк, йод и др. в ряде овощных культур снизился к настоящему времени, по сравнению с прошлым веком более чем в 10 раз. Только за последние 30 лет содержание железа, магния, фосфора, витамина С уменьшилось в таких популярных овощах, как капуста, зеленый горошек на 40–60 %. В значительной степени данная тенденция связана с массовым внедрением интенсивных технологий производства сельскохозяйственной продукции с применением химических удобрений, пестицидов, различных стимуляторов роста, гормонов. Использование подобных технологий, несмотря на повышение производительности (урожайности), ведет не только к снижению уровня микронутриентов в получаемых продуктах питания, но и к накоплению в них токсических соединений. Известно, что основную часть таких экзотоксинов человек получает именно с пищей – порядка 80 % солей тяжелых металлов и нитратов, 95 % ядохимикатов и радионуклидов. Даже в России, где применение подобных средств существенно ниже, чем за рубежом, в среднем около половины основных овощей и фруктов (томаты, огурцы, картофель, капуста, яблоки, и др.), бракуется по показателям безопасности. В качестве еще одной причины снижения пищевой ценности продуктов следует назвать бурное развитие новых агрессивных технологий переработки сырья и производства готовой продукции, массовое производство рафинированных продуктов.

Для повышения пищевой ценности в настоящее время внедряются следующие подходы:

1. Обогащение готовых продуктов витаминно-минеральными комплексами (премиксами) и фитохимическими соединениями, либо использова-

ние данных компонентов в форме концентратов – биологически активных добавок (БАД) к пище. Например, в США подобные продукты потребляют около 70 % населения, в то время как в России – не более 10–15 %.

2. Применение агротехнологий, обеспечивающих включение в питание растений дополнительных микроэлементов.

Разработка и внедрение агротехнологий, направленных на изменение метаболизма растений с целью регуляции потребления растениями содержащихся в почве макро- и микроэлементов и трансформацию их к определенным органам и тканям. Это направление получило название биообогащение. Основными технологиями биообогащения являются создание генетически модифицированных либо выведенных путем селекции новых сортов растений, отличающихся повышенным содержанием определенных минералов, витаминов и других микронутриентов, а также изыскание методов регуляции синтеза. Биообогащение рассматривается в настоящее время как наиболее перспективное, передовое и экономически оправданное направление повышения качественных показателей сельскохозяйственной продукции в первую очередь за счет ликвидации дефицита таких микронутриентов, как каротиноиды, железо, магний, йод и цинк в рационе питания более половины населения земного шара, проживающего преимущественно в развивающихся странах. Биообогащение растений железом рассматривается как реальный путь ликвидации железодефицитных состояний, в том числе анемий, выявляемых, согласно данным WHO (World Health Organization), у 41 % женщин и 27 % детей. Кроме того, имеются данные, что провитамины и витамины, образующиеся в растениях, подвергнутых различным методам биообогащения, имеют большую биодоступность для организма человека.

Сказанное выше позволяет сделать вывод, что овощные консервы, изготовленные различными способами, являются высококачественными полноценными продуктами и их следует широко рекомендовать для массового питания населения.

Консервирование – это хорошая альтернатива соответствующим по качеству свежим пищевым продуктам. Консервирование имеет большое значение как в питании каждого, человека, так и для всего народного хозяйства в целом. В районах, где плоды и овощи не могут произрастать, плодоовощные консервы играют большую роль. Они становятся необходимыми в питании населения этих районов.

Но если даже не говорить об отдаленных районах, значение консервов весьма велико и для всех без исключения жителей нашей страны. Общеизвестно, что плоды, овощи бывают в изобилии только летом и осенью, а зимой и ранней весной их достать очень трудно. Консервирование же, по существу, ликвидирует сезонность в потреблении овощей, фруктов и других продуктов.

В этом заключается большое экономическое значение консервирования, благодаря которому можно распределять высококачественные продукты равномерно как в пределах различных географических зон, так и в различные периоды года.

При этом нужно учесть то, что в настоящее время разработаны и успешно применяются технологии повышения пищевой ценности продуктов питания и использование таких технологий позволяет обогатить растения, предназначенные для потребления человеком органоминеральными комплексами, витаминами, фитохимическими соединениями, обладающими широким спектром биологических эффектов, обеспечивающих физическую и умственную работоспособность, здоровье, продолжительность жизни.

Библиографический список

1. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации МР 2.3.1.2432 – 08. – М., 2008. – 10 с.

2. Позняковский, В.М. Обогащение пищевых продуктов витаминами и минеральными веществами. Наука и технология / В.М. Позняковский, Л.Н. Шатнюк, В.Б. Спиричев. – Новосибирск: Сиб. универ. изд-во, 2005. – 548 с.

3. Стратегия инновационного развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года.

4. Удинцев, С.Н. Современные методы повышения пищевой ценности сельскохозяйственной продукции / С.Н. Удинцев, Т.П. Жилякова // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2012. – № 2 (18). – С. 81–91.

5. Указ Президента РФ от 30 января 2010 г. № 120 «Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации» // СПС «Гарант».

К содержанию

УДК 637.03 + 637.072 + 637.134

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОИЗВОДСТВА МОЛОЧНЫХ НАПИТКОВ НА ОСНОВЕ СУХОГО МОЛОКА

Н.В. Попова

Молочные продукты являются социально значимыми и занимают важное место в рационе питания человека. В связи с большой зависимостью молочного производства от сырьевого фактора, объемы использования сухого молочного сырья в производстве молочных напитков достаточно велики. Модернизация технологий производства молочных напитков внедрением ультразвуковой обработки позволяет интенсифицировать производство, повысить пищевую ценность и потребительские свойства молочной продукции, снизить расход сырья.

Ключевые слова: сухое молоко, восстановление, молочные напитки, ультразвуковая кавитация, интенсификация производства.

Молочные продукты обеспечивают организм человека незаменимыми факторами питания. Занимая в рационах человека важное место, они пользуются высоким спросом, что определяет необходимость повышения объемов производства молочных продуктов и расширения их ассортимента.

Вследствие высокой зависимости молочного производства от сырьевого фактора, в частности времени лактации, региона производства, встает вопрос о необходимости бесперебойного обеспечения производства молочным сырьем в требуемых объемах. Поэтому предприятия повсеместно используют в производстве молочных продуктов сухое молочное сырье.

Технологии производства молочных продуктов с использованием сухого молока дополняются этапом восстановления, условия осуществления которого обуславливают степень перехода сухих компонентов в растворенное состояние и определяют полноценность вырабатываемого продукта. Процесс восстановления представляет собой гетерогенную химическую реакцию, протекающую между твердым веществом и жидкостью и сопровождающуюся переходом вещества в раствор. Относительно чистых химических веществ физика процесса переноса исследована довольно глубоко, однако в многокомпонентных системах, к которым и относится молоко, процесс может протекать совершенно по-разному [2, 3].

Трудности производства молочной продукции на основе сухого молока заключаются в невозможности заранее спрогнозировать свойства и качество сухого молока, поступающего на переработку. Качество сухого молока характеризуется большим спектром свойств:

- органолептическими;

- физико-механическими (плотность частиц, гранулометрический состав, масса, сыпучесть, текучесть), характеризующими поверхностные явления (удельную поверхность, адгезию, когезию);
- теплофизическими.

Определяют протекание поверхностных и капиллярных явлений, и как следствие растворимость продукта, свойства сухого молока – смачиваемость, пенетрабельность, диспергируемость и погружаемость (оседаемость) порошка.

Основными процессами, определяющими качество восстановления, являются растворение лактозы и минеральных веществ, сопровождаемое переходом жира и белка в эмульсионно-коллоидное состояние. В результате образуется дисперсионная среда, при этом дисперсность белков и жира должна соответствовать дисперсности их в натуральном молоке. В течение всего процесса восстановления из частиц продукта выделяется избыточный воздух, и скорость выделения газов влияет на интенсивность протекания других стадий восстановления [1, 7, 8].

Частицы в сухом молоке могут находиться не только по отдельности, но и в виде агломератов, которые длительное время не растворяются. При контакте агломератов с водой на их поверхности образуется жидкостный слой, имеющий высокую концентрацию и вязкость. Этот слой образует оболочку, препятствующую проникновению воды внутрь агломерата [4, 5, 6]. Повышают проникающую способность воды механическим и гидродинамическим способами, поддержанием высокой вязкости дисперсионной среды, повышением интенсивности процесса перемешивания. Нами же предложено использование в технологии производства молочной продукции ультразвуковой обработки.

Ультразвуковое воздействие характеризуется наличием упругих колебаний и волн частотой выше 15–20 кГц. Важнейшим нелинейным эффектом в ультразвуковом поле является кавитация – возникновение в жидкости массы пульсирующих пузырьков, заполненных паром, газом или их смесью. Движение пузырьков в различных направлениях порождают внутренние импульсы и микропотоки, которые вызывают нагревание среды, ионизацию. В результате указанных эффектов инициируются или ускоряются внутренние физические и химические процессы [9]. Эффект ультразвуковой кавитации может способствовать и углублению процессов восстановления сухого молока.

Качество и полноту восстановления сухого молока регламентирует показатель – индекс растворимости. Под индексом растворимости понимается количество сырого осадка, остающегося после восстановления сухих молочных продуктов, с практической точки зрения, чем ниже значение данного показателя, тем более полноценно прошел процесс растворения.

Результаты внедрения ультразвуковой обработки на различных этапах восстановления (до внесения сухого молока, совместно сухого молока и воды и двухэтапная УЗ-обработка) показали снижение индекса растворимости относительно традиционной технологии восстановления в большей или меньшей степени (рис. 1).

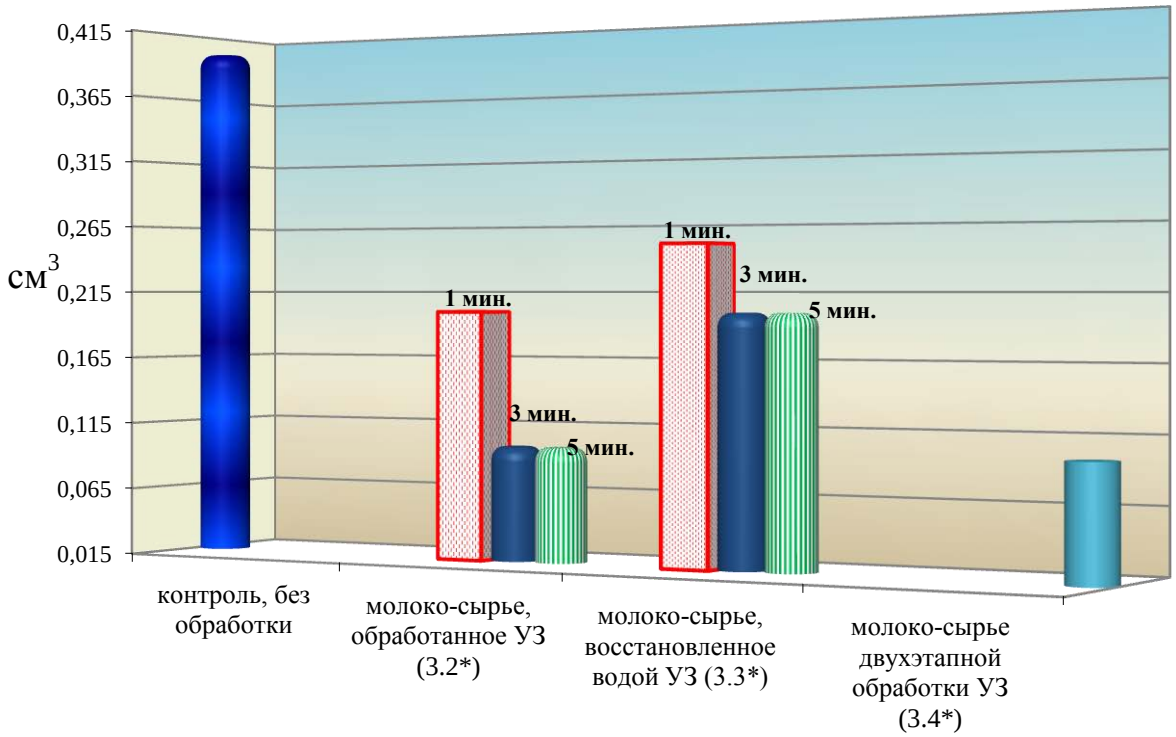


Рис. 1. Усредненные индексы растворимости сухого молока в исследуемых образцах, $см^3$

Усредненные результаты оценки индекса растворимости (отклонения по пробам ±0,03 $см^3$) свидетельствуют, что ультразвуковая обработка способствует интенсификации процесса восстановления и углублению его, это отражается на снижении индекса растворимости в среднем на 37,5…75 % (с учетом времени обработки). Причем положительное воздействие отмечается при внедрение ультразвука как на этапе обработки воды-растворителя, так и на этапе механической смеси сухого молока и воды, двухэтапная обработка также дает положительные результаты по восстановлению сухого молока.

Интенсификация восстановительных процессов при ультразвуковой обработке подтверждается также результатами оценки относительной скорости растворения, увеличение которой составило от 17,6 до 39,8 %.

Модернизация технологий производства внедрением УЗ-обработки на разных этапах восстановления сухого молока отражается на увеличении массовых долей белка (на 3,3…4,8 %) и лактозы (на 0,9…6,5 %),

СОМО, повышении пищевой ценности молочных напитков (рис. 3) и улучшение их потребительских характеристик.

Расчет пищевой ценности с учетом коэффициентов усвояемости показал, что по сравнению с контрольным образцом пищевая ценность молочного напитка, полученного на основе молока-сырья 3.2* (обработка ультразвуком механической смеси сухого молока и воды), увеличивается на 3 %, образцов на основе молока-сырья 3.4* (двухэтапная УЗ-обработка) и 3.1* (обработка воды до внесения в нее сухого молока) – на 2,3 % и 1 % соответственно (рис. 2).

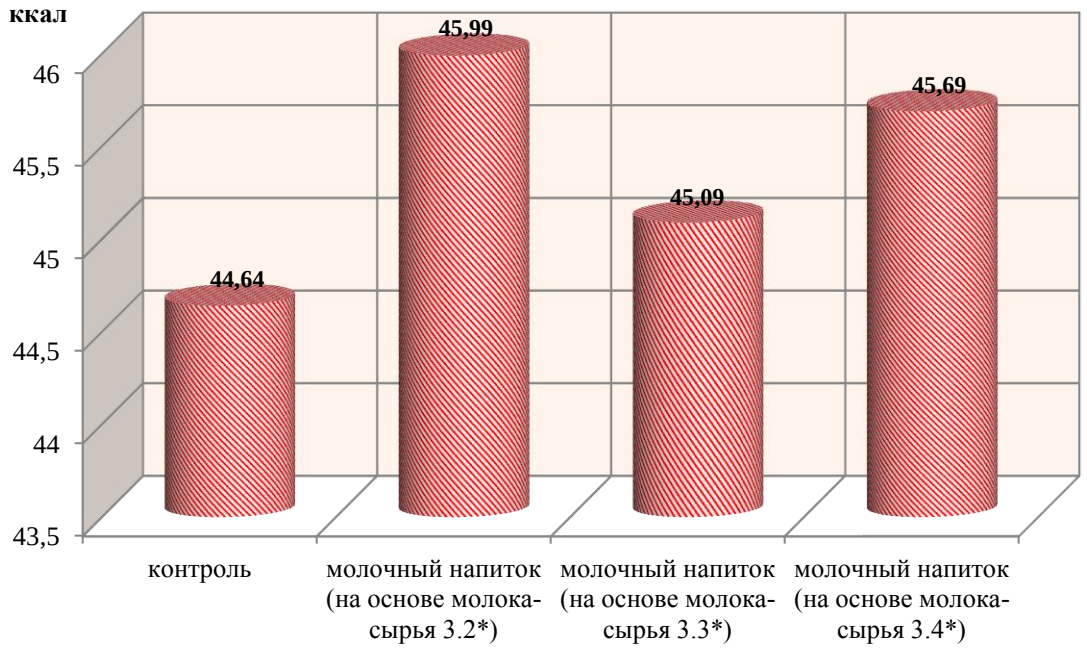


Рис. 2. Расчетная пищевая ценность молочных напитков, ккал

Обобщение результатов органолептической оценки молочных напитков, полученных по традиционной и модернизированным технологиям, указывает на выраженное влияние ультразвукового воздействия на органолептические показатели, и в большей степени на вкус и запах. Самые высокие значения показателей качества были у молочного напитка, полученного на основе УЗ обработки механической смеси (СОМ и воды). В совокупности образец получил 24,9±0,2 балла, что соответствует высшей градации качества (25–22 балла), приближенной была оценка молочного напитка, полученного на основе обработанной ультразвуком воде (22,5±0,2 балла), что указывает на повышение растворяющей способности кавитационно обработанных жидких сред. Фактически ультразвуковое воздействие выступает катализатором процесса экстракции вкусоароматических веществ и при правильном выборе режима обработки позволяет регулировать органолептические характеристики молочного продукта.

Таким образом, модернизация технологических схем производства молочных напитков позволяет:

- интенсифицировать процессы восстановления сухого молока, снизить долю нерастворившегося осадка сухого молока;
- сократить время выдержки для растворения сухого молока в воде (до 1…1,5 часов), так как набухание белков и достижение требуемой плотности восстановленного питьевого молока достигается за более короткий срок;
- отказаться от этапа гомогенизации и сократить длительность пастеризации восстановленного продукта переработки молока в два…три раза, так как ультразвуковая обработка положительно влияет на дисперсный состав молочной среды и ее микробиологическую чистоту.

Библиографический список

1. Галстян, А.Г. Передовые технологии водоподготовки в производстве восстановленных молочных продуктов [Электронный ресурс] / А.Г. Галстян, А.Н. Петров, ГНУ ВНИМИ РАСХН. – URL: http://www.water.ru/bz/param/moloko.shtml.

2. Галстян, А.Г. Нетрадиционные способы подготовки воды для растворения сухих продуктов / А.Г. Галстян, А.Н. Петров // Молочная промышленность. – 2006. – № 10. – С. 66–67.

3. Голубева, Л.В. Справочник технолога молочного производства / Л.В. Голубева. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 272 с.

4. Кардашев, Г.А. Физические методы интенсификации процессов химической технологии / Г.А. Кардашев. – М.: Химия, 1990. – 208 с.

5. Кузнецов, В.В. Использование сухих молочных компонентов в пищевой промышленности: Справочник / В.В. Кузнецов, Г.Г. Шилер. – СПб: ГИОРД, 2006. – 480 с.

6. Кунижев, С.М. Новые технологии в производстве молочных продуктов / С.М. Кунижев, В.А. Шуваев. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 203 с.

7. Липатов, Н.Н. (ст.). Восстановленное молоко (теория и практика производства восстановленных молочных продуктов) / Н.Н. Липатов (ст.). – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.

8. Тепел, А. Химия и физика молока / А. Тепел; пер. с нем. под ред. канд. техн. наук, доц. С.А. Фильчаковой. – СПб.: Профессия, 2012. – 832 с.

9. Эльпинер, И.Е. Биофизика ультразвука / И.Е. Эльпинер. – М.: Наука, 1973. – 384 с.

К содержанию

УДК 664.9 + 637.5

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ И ТЕХНИКИ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Л.С. Прохасько

Проанализированы основные проблемы науки и техники в пищевой промышленности в современных условиях. Обозначен круг первоочередных для решения задач, стоящих перед отраслью. Приведена информация о научных работах по данному направлению, проводимых на кафедре прикладной биотехнологии ЮУрГУ.

Ключевые слова: пищевая промышленность, проблемы, актуальность, реформы, импортозамещение.

Пищевая промышленность играет доминантную роль в социально-экономической стабильности страны, так как именно она определяет продовольственную обеспеченность и продовольственную безопасность государства, стимулирует подъем смежных отраслей и повышение занятости населения. От уровня ее развития зависит здоровье населения, так как продукты питания являются важнейшим фактором внешней среды, снабжающим организм человека энергией и «строительным» материалом, влияющим на физиологическую и умственную работоспособность, определяющим здоровье человека. И от того, насколько здорова нация, зависит будущее любой страны. Поэтому сохранение и укрепление здоровья нации является приоритетным направлением деятельности правительства РФ, а задачи надежного обеспечения продуктами питания и сельскохозяйственным сырьем, устойчивого роста сельскохозяйственного производства актуальны.

Обеспечение доминантной роли пищевой промышленности невозможно без развития и поддержания на должном уровне научной основы техники и технологий основных отраслей пищевой промышленности.

Наука как сфера человеческой деятельности, функцией которой является выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности, неизбежно взаимодействует с другими сферами общественной жизни, в том числе и с производством материальных благ в виде развития области техники и производственных технологий.

Техника является средством реализации задач и достижения целей науки; техника используется в огромном разнообразии процессов, включая технологические процессы и процессы промышленного и сельскохозяйственного производства, измерения, контроля и управления и др., в основе функционирования которых лежат фундаментальные законы науки.

Поэтому возникающие проблемы и задачи в пищевой промышленности необходимо рассматривать как итог развития науки о питании и технике в их взаимной связи. И, чтобы правильно решить, какие проблемы стоят перед пищевой промышленностью, необходимо определить круг научных задач в этой области научного знания, их практическую роль в развитии техники и технологий, а также взаимосвязь между различными отраслями пищевой промышленности и научными прикладными приложениями в виде новой техники и технологий.

Круг проблем и задач пищевой промышленности весьма широк, поэтому в данной статье обозначим основные проблемы, характерные для всех отраслей промышленности, более подробно рассмотрим проблемы, характерные для промышленного производства продуктов питания животного происхождения, а также пути их решения.

Итак, основные проблемы пищевой промышленности:

– экономические: из-за отсутствия эффективного механизма банковской системы кредитования существует большое количество финансово неблагополучных предприятий, что является, несомненно, сдерживающим фактором развития пищевой промышленности в целом. В настоящее время вследствие происходящих в мире геополитических событий обозначились неблагоприятные тенденции – рост цен на энергоносители и сырье, увеличение транспортных тарифов и пр. приводят к повышению себестоимости продовольственных товаров, что в условиях снижения покупательной способности населения – к замедлению темпов роста отраслей пищевой промышленности. Уровень экономической несвободы является также сдерживающим фактором, он определяется не столько наличием, сколько неправомерно большим количеством административных барьеров, непродуманной налоговой нагрузкой и пр. факторами;

– несовершенство законодательной политики, нестабильность правового регулирования: отсутствие устойчивой законодательной базы, единой системы норм, правил и процедур, постоянно меняющееся законодательные акты тормозят развитие пищевой промышленности. Существующее налоговое законодательство, его противоречивость создают условия правовой неопределенности, что сказывается, например, в отставании формирования и изменения законодательной базы динамично развивающейся экономики;

– недостаточно эффективная инвестиционная политика отраслей пищевой промышленности. Эта проблема комплексная, она связана не только с ограниченными объемами инвестиций в пищевую промышленность, но и политической и социальной стабильностью государства. Геополитические изменения, происшедшие к 2015 году, еще более обозначили эту проблему: сдержанность российских инвесторов и значительное сокращение иностранных привели не только к снижению возможности обновления основных фондов АПК, но и к непосредственному свертыванию многих инвестиционных программ.

Выше обозначенные проблемы характерны также для предприятий пищевых производств продуктов животного происхождения, для которых эти проблемы можно дополнить следующим образом:

– *в сырьевой базе* производства продуктов питания животного происхождения нет достаточных объемов кормовой базы для развития производства мясного сырья; нет системной селекционной работы высокопродуктивных пород скота мясного и молочного направлений. Повышение экономической эффективности использования сырья в мясной промышленности можно осуществить за счет:

а) рационального использования сырьевых ресурсов животного происхождения с использованием методов биотехнологии. Данное научное направление активно разрабатывается на кафедре прикладной биотехнологи ЮУрГУ [1–9], в рамках которого изучаются биотехнологические приемы повышения производительности сырьевого производства [10–13], а также разрабатываются перспективные технологии обработки жидких пищевых сред, которые широко применяют в производстве продуктов питания [14–19];

б) улучшения качественных характеристик сырьевого потенциала мясной промышленности при внедрении прогрессивных технологий содержания и выращивания животных высоких весовых кондиций с содержанием жира в мясе не более 14–15 %;

в) проведения интегрированной в рамках всего агропромышленного комплекса селекционной работы по выведению промышленно пригодных, стрессоустойчивых животных высокой мясной продуктивности и качества;

г) совершенствования базы регламентов и нормативно-технической документации;

д) расширения ассортимента мясных изделий как основного стимула для развития сырьевой базы мясной отрасли;

– *сохранение полученного сырья и готовой продукции.* Для решения данной проблемы необходимо обеспечить условия транспортировки и хранения сырья и готовой продукции, позволяющие снизить потери до минимума;

– *выработка максимального количества пищевой продукции из единицы сырья.* Решение данной проблемы возможно за счет сокращения производственных потерь, разработки инновационных технологий переработки сырья, отходов с целью их максимального использования для производства готовой продукции (пищевой или технической);

– *недостаточная техническая оснащенность предприятий пищевой промышленности.* Решить эту проблемы возможно за счет модернизации и технического перевооружения существующих производств, значительных капитальных вложений в развитие АПК, в строительство современных комплексных пищевых предприятий, внедрения инновационных ресурсосберегающих и безотходных технологий переработки сырьевых ресурсов.

Все это в совокупности позволит увеличить производительность труда, повысить качество готовой продукции, экономить дорогостоящие сырьевые ресурсы [20].

Стремительные демографические и социальные изменения в обществе диктуют необходимость разработки новых подходов при производстве пищи, развитие науки и техники открывает новые технологические возможности. Продукты, отвечающие требованиям сегодняшнего дня, это продукты со сбалансированным составом, с низкой калорийностью, содержащие функциональные ингредиенты. На кафедре прикладной биотехнологии Южно-Уральского государственного университета ведется активная научная работа в развитие этой тематики [21–29].

Библиографический список:

1. Губер, Н.Б. Перспективные способы разработки мясных биопродуктов / Н.Б. Губер, М.Б. Ребезов, Б.К. Асенова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2014. – Т. 2. – № 1. – С. 72–79.

2. Зинина, О.В. Значение микроструктурного анализа при разработке способов биомодмификации мясного сырья / О.В. Зинина, М.Б. Ребезов, А.А. Соловьева // Молодой ученый. – 2013. – № 11. – С. 103–105.

3. Ребезов, М.Б. Сравнительная оценка воздействия ферментных препаратов различного происхождения на коллагенсодержащее сырье / М.Б. Ребезов, А.А. Лукин, М.Ф. Хайруллин, М.Л. Лакеева // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2011. – № 5 (10). – С. 28–36.

4. Зинина, О.В. Влияние биотехнологической обработки на микроструктуру коллагенсодержащего сырья / О.В. Зинина, И.В. Тарасова, М.Б. Ребезов // Все о мясе. – 2013. – № 3. – С. 41–43.

5. Зинина, О.В. Значение микроструктурного анализа при разработке способов биомодификации мясного сырья / О.В. Зинина, М.Б. Ребезов, А.А. Соловьева // Молодой ученый. – 2013. – № 11. – С. 103–105.

6. Тарасова, И.В. Использование коллагенсодержащего сырья животного происхождения при производстве мясного продукта / И.В. Тарасова, М.Б. Ребезов, О.В. Зинина, Я.М. Ребезов // Сборник научных трудов Sworld. – 2013. – Т. 4. – № 1. – С. 46–50.

7. Соловьева, А.А. Изучение влияния стартовых культур на функционально-технологические свойства и микробиологическую безопасность модельных фаршей / А.А. Соловьева, М.Б. Ребезов, О.В. Зинина // Актуальная биотехнология. – 2013. – № 2 (5). – С. 18–22.

8. Соловьева, А.А. Современное состояние и перспективы использования стартовых культур в мясной промышленности / А.А. Соловьева, О.В. Зинина, М.Б. Ребезов, М.Л. Лакеева // Сборник научных трудов Sworld. – 2013. – Т. 10. – № 1. – С. 84–88.

9. Тарасова, И.В. Влияние стартовых культур на вторичное сырье животного происхождения / И.В. Тарасова, М.Б. Ребезов, О.В. Зинина, Я.М. Ребезов // Молодой ученый. – 2013. – № 10. – С. 209–212.

10. Губер, Н.Б. Биотехнологические приемы повышения производства говядины в сельском хозяйстве / Н.Б. Губер, Г.М. Топурия // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2013. – Т. 1. – № 2. – С. 4–9.

11. Лукиных, С.В. Исследование рынка производства продуктов из мяса птицы / С.В. Лукиных, М.Б. Ребезов, А.С. Косолапова, Р.А. Ахмедьярова, Е.А. Паульс // Молодой ученый. – 2014. – № 9 (68). – С. 175–178.

12. Соловьева, А.А. Актуальные биотехнологические решения в мясной промышленности / А.А. Соловьева, О.В. Зинина, М.Б. Ребезов, М.Л. Лакеева, Е.В. Гаврилова // Молодой ученый. – 2013. – № 5. – С. 105–107.

13. Губер, Н.Б. Научное и практическое обоснование новых биотехнологических приемов повышения производства говядины и ее пищевой ценности / Н.Б. Губер, А.М. Монастырев, М.Б. Ребезов. – Великий Новгород, 2013.

14. Ярмакин, Д.А. Сонохимическая кавитация в мясном производстве / Д.А. Ярмакин, Л.С. Прохасько, А.Н. Мазаев, Б.К. Асенова, Р.В. Залилов // Молодой ученый. – 2014. – № 10 (69). – С. 220–223.

15. Ярмакин, Д.А. Перспективные направления кавитационной дезинтеграции / Д.А. Ярмакин, Л.С. Прохасько, А.Н. Мазаев, Е.А. Переходова, Б.К. Асенова, Р.В. Залилов // Молодой ученый. – 2014. – № 9 (68). – С. 241–244.

16. Прохасько, Л.С. Использование гидродинамической кавитации в пищевой промышленности / Л.С. Прохасько, Д.А. Ярмакин // Сборник научных трудов Sworld. – 2014. – Т. 7. – № 3. – С. 27–31.

17. Прохасько, Л.С. Применение гидродинамических кавитационных устройств для дезинтеграции пищевых сред / Л.С. Прохасько, М.Б. Ребезов, Б.К. Асенова, О.В. Зинина, Р.В. Залилов, Д.А. Ярмакин // Сборник научных трудов SWorld. – 2013. – Т. 7. – № 2. – С. 62–67.

18. Прохасько, Л.С. Технология кавитационной дезинтеграции пищевых сред / Л.С. Прохасько // Наука ЮУрГУ. Материалы 65-ой научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2013. – С. 32–35.

19. Ярмаркин, Д.А. Кавитационные технологии в пищевой промышленности / Д.А. Ярмакин, Л.С. Прохасько, А.Н. Мазаев, Б.К. Асенова, О.В. Зинина, Р.В. Залилов // Молодой ученый. – 2014. – № 8. – С. 312–315.

20. Прохасько, Л.С. Современные проблемы науки и техники в пищевой промышленности: учебное пособие / Л.С. Прохасько, М.Б. Ребезов, Г.Н. Нурымхан. – Алматы: МАП, 2015. – 112 с.

21. Альхамова, Г.К. Перспективы развития рынка творожных продуктов с функциональными свойствами / Г.К. Альхамова // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 5. – С. 60.

22. Попова, М.А. Использование пищевых волокон при производстве йогуртов / М.А. Попова, Л.С. Прохасько, А.О. Гаязова, С.В. Лукиных, И.А. Шель // Сборник научных трудов SWorld. – 2014. – Т. 8. – № 3. – С. 28–32.

23. Шель, И.А. Органолептичесая оценка рассольного сыра с растительными компонентами / И.А. Шель, Л.С. Прохасько, Б.К. Асенова // Молодой ученый. – 2014. – № 15. – С. 114–116.

24. Альхамова, Г.К. Продукты функционального назначения / Г.К. Альхамова, А.Н. Мазаев, М.Б. Ребезов, И.А. Шель, О.В. Зинина // Молодой ученый. – 2014. – № 12 (71). – С. 62–65.

25. Альхамова, Г.К. Функциональные ингредиенты в молочных продуктах / Г.К. Альхамова, А.Н. Мазаев, И.А. Шель, Л.С. Прохасько, М.А. Попова, В.М. Уварова // Молодой ученый. – 2014. – № 12 (71). – С. 65–67.

26. Кондратьева, А.В. Новые технологии обработки молочной продукции на примере молока коровьего питьевого / А.В. Кондратьева, Л.С. Прохасько, А.Н. Мазаев // Молодой ученый. – 2013. – № 10. – С. 112.

27. Попова, М.А. Кисломолочные продукты функционального назначения (патентный поиск) / М.А. Попова, М.Б. Ребезов, О.В. Несмеянова // Экономика и бизнес. Взгляд молодых. – 2013. – № 1. – С. 491.

28. Попова, М.А. Оценка качества и безопасности разработанного йогурта / М.А. Попова, М.Б. Ребезов, А.О. Гаязова, С.В. Лукиных // Молодой ученый. – 2014. – № 10 (69). – С. 199–202.

29. Гаязова, А.О. Использование вторичного и растительного сырья в продуктах функционального назначения / А.О. Гаязова, Л.С. Прохасько, М.А. Попова, С.В. Лукиных, Б.К Асенова // Молодой ученый. – 2014. – № 19. – С. 189–191.

К содержанию

УДК 579.0 + 616-097

НОВЫЕ ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ ШКОЛЫ ПО ПРОТОЧНОЙ ЦИТОМЕТРИИ

А.В. Зурочка, В.А. Зурочка

Приведена информация о международной конференции и школе по проточной цитометрии, проводимой на базе кафедры прикладной биотехнологии ЮУрГУ. Обозначен формат: структура конференции и школы состоит из лекционного курса и практической части. В рамках конференции проводится выставка современного лабораторного оборудования и методических материалов ведущих фармацевтических компаний.

Ключевые слова: цитометрия, цитометры, конференция, школа, цитофлюориметрия.

На базе кафедры прикладной биотехнологии ЮУрГУ на протяжении многих лет проводится международная школа по проточной цитометрии.

В 2015 году будет проводиться уже X Всероссийская конференция с международным участием «Иммунологические чтения в г. Челябинске» и Международная школа «Проточная цитометрия в клинической лабораторной диагностике». Участие в конференции принимают специалисты в области клинической лабораторной диагностики, аллергологи и клинические иммунологи, а также врачи других специальностей, научные сотрудники, аспиранты, ординаторы и студенты.

Структура конференции и школы состоит из проведения лекционного курса и практической части. Практика проходит с использованием современного оборудования. Тематика занятий посвящена вопросам проточной цитометрии, иммунодиагностике и иммунотерапии. Лекции читают ведущие специалисты России, а также иностранные специалисты из США, Швейцарии и Франции. В рамках конференции проводится выставка современного лабораторного оборудования, представлены методические материалы иммунологических фармацевтических компаний и предприятий по производству лабораторной реагентики.

В программе школы предусмотрены 4 направления обучения:

– лекции ведущих специалистов по фундаментальной и клинической иммунологии;

– практические занятия/семинары по работе на проточных цитометрах компании Beckman Coulter Navios и FC-500;

– клинические разборы типичных и спорных случаев;

– электронный класс по обучению различным вариантам работы с программным обеспечением современных проточных цитометров.

В организации проведения данного мероприятия участвуют различные зарубежные и российские партнеры ООО «Бекмен Культер» – представительство компании Beckman Coulter (США) в России и СНГ, Москва, ООО «ЛабТэк Лтд», Санкт-Петербург, компания БИО-РАД (США), ООО Хеликон (Москва), ООО ОМБ (Москва), «Ферон» (Москва) и другие. Данные компании обеспечивают материально-техническую базу данного мероприятия и качество преподносимого материала. Благодаря этому участники школы и конференции получают доступ к самой современной и актуальной информации в области клеточных технологий, при этом получают практические навыки работы на самом современном и высоком технологическом уровне.

На базе нашей школы прошли обучение более 600 специалистов из 80 городов России и ближнего зарубежья – Украины, Казахстана, Узбекистана, Белоруссии, Киргизии. Все это позволило не только расширить представление о современных технологиях, но создать основу для стандартизации исследований в различных регионах. Цель проведения данного мероприятия – это стандартизация технологии оценки иммунных статусов, что позволит в ближайшем будущем унифицировать методы исследований, а значит, объективно их сопоставлять, не зависимо от регионов, где выполнены данные исследования.

Основой для проточной цитометрии явилось применение моноклональных антител (МА) для анализа поверхностных структур клеток. Использование МА революционизировало подходы к типированию клеток. В настоящее время большинство клинических исследований с применением методов проточной цитофлюориметрии выполняется именно с их помощью. Меченые флуорохромами МА позволяют проводить как качествен-

ный, так и количественный анализ поверхностных и внутриклеточных антигенов. Эти МА используются для типирования лейкемий и опухолей, определения аутоиммунных и иммунодефицитных заболеваний, исследования активации Т-, В-клеток, натуральных киллеров и моноцитов/макрофагов и др.

Кроме этого, последние достижения в области флуоресцентных красителей (например, появление тандемных красителей) позволяют значительно повысить информативность получаемых результатов. Так, использование несколько МА, меченных различными флуоресцентными красителями, позволяет в одном эксперименте получать информацию сразу о нескольких антигенах на поверхности клеток и, как следствие этого, дает возможность исследователю судить о субпопуляционном составе клеток и наличии различных аномалий, а также об активности клеток внутри одной субпопуляции.

Кроме всего этого в настоящее время существуют методики, позволяющие при помощи проточной цитофлюориметрии измерять и такой физиологический параметр как фагоцитоз, экспрессию цитокинов, внутриклеточных ферментов и др. Все это создает предпосылки для современных исследований всего комплекса внутриклеточных процессов на уровне отдельных клеток.

Таким образом, высокий уровень автоматизации, простота в эксплуатации и небольшие размеры современных приборов позволяют рассматривать их не только как исследовательские, но и как клинико-диагностические.

Перечисленные возможности метода проточной цитофлюориметрии определяют такие области его применения:

– клинические – иммунология, онкология, онкогематология (включая диагностику, оценку эффективности лечения, мониторинг пациентов, входящих в группу риска), трансплантология, общая гематология, диагностическое типирование клеток и др.;

– общебиологические – клеточная кинетика, клеточная энзимология, изучение механизмов действия различных иммуномодуляторов и других биологически активных веществ, клеточная физиология, генетика, ДНК-цитометрия и др.

На школе предусмотрено распространение методической литературы по самым последним достижениям проточной цитометрии. Список методической литературы для обучения специалистов прилагается. Данная школа является одним из новых учебных подходов к формированию специалистов на необходимо высокотехнологическом и инновационном уровне.

Библиографический список

1. Зурочка, А.В. Латентная сенсибилизация / А.В. Зурочка, В.А. Черешнев, Ю.А. Усова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2012. – 136 с.

2. Зурочка, А.В. Проточная цитометрия в медицине и биологии / А.В. Зурочка, С.В. Хайдуков, И.В. Кудрявцев, В.А. Черешнев. – Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. – 552 с.

3. Зурочка, А.В. Проточная цитометрия в медицине и биологии / А.В. Зурочка, С.В. Хайдуков, И.В. Кудрявцев, В.А. Черешнев. – 2-е изд, доп. и расш. – Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. – 576 с.

4. Кудрявцев, И.В. Проточная цитометрия в экспериментальной биологии / И.В. Кудрявцев, С.В. Хайдуков, А.В. Зурочка, В.А. Черешнев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2012. – 192 с.

5. Хайдуков, С.В. Стандартизованная технология «Исследование субпопуляционного состава лимфоцитов периферической крови с применением проточных цитофлюориметров-анализаторов» / С.В. Хайдуков, Л.А. Байдун, А.В. Зурочка, А.А. Тотолян // Российский иммунологический журнал. – 2014. – Т. 8 (17). – № 4. – С. 974–992.

6. Хайдуков, С.В. Цитометрический анализ в клинической иммунологии / С.В. Хайдуков, А.В. Зурочка, В.А. Черешнев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 220 с.

К содержанию

УДК 642.5 + 373:642

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТИКА В ОБЛАСТИ ШКОЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Г.К. Альхамова, Е.К. Зубарева

Проанализирована государственная политика в области школьного питания. Приведены основные моменты экспериментальных проектов качественного и сбалансированного школьного питания, техническая и технологическая модернизация пищеблоков школ.

Ключевые слова: школа, питание, экспериментальные проекты, государство.

Под государственной политикой Российской Федерации в области здорового питания населения понимается комплекс мероприятий, направленных на создание условий, обеспечивающих удовлетворение в соответствии с требованиями медицинской науки потребностей различных групп населения в здоровом питании с учетом их традиций, привычек и экономического положения.

Питание населения, особенно детей школьного возраста, характеризуется недостаточным потреблением наиболее ценных в биологическом отношении пищевых продуктов, таких как мясо и мясопродукты, молоко и молочные продукты, рыба и рыбные продукты, яйца, растительное масло, фрукты и овощи.

Качественное и доступное горячее питание в столовых общеобразовательных учреждений на сегодняшний день является одной из наиболее острых проблем.

Для условий нормального функционирования человеческого организма, необходимо полноценное, сбалансированное питание. На период от 6 до 18 лет, когда ребенок большую часть времени проводит в школе, приходится наиболее интенсивный соматический рост организма, сопровождающийся повышенными умственными и физическими нагрузками.

Поэтому обеспечение подрастающего поколения полноценным сбалансированным школьным питанием, отвечающим физиологическим потребностям, возрастным особенностям и современным требованиям качества и безопасности пищевых продуктов, тесно взаимосвязано с демографическими процессами в нашей стране, здоровьем нации, а следовательно, и с социально-экономическим развитием России.

В свете реализации приоритетных национальных проектов и вопросов демографического развития, исполнения распоряжения Правительства Российской Федерации от 25 октября 2010 года № 1873-р об утверждении «Основ государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года» проблема организации оптимальной модели школьного питания имеет особую актуальность и определяет одно из приоритетных направлений работы министерства.

В соответствии с поручением Президента Российской Федерации от 10 декабря 2005 г. № Пр-2065 Министерством образования и науки Российской Федерации совместно с Роспотребнадзором и другими заинтересованными ведомствами реализуется комплекс мер по реорганизации системы питания в общеобразовательных учреждениях на основе современных технологий производства и транспортировки пищевых продуктов [10–14].

В ходе экспериментальных проектов отрабатывались все аспекты организации качественного и доступного сбалансированного школьного питания: технологические, организационно-управленческие, кадровые, финансово-экономические, нормативно-правовые; была организована работа по пропаганде здорового питания со всеми участниками образовательного процесса (учащимися, их родителями и педагогами).

В ходе экспериментальных проектов были поставлены следующие задачи:

– организовать научные исследования наиболее актуальных проблем школьного питания совместно с РАН и РАМН в рамках инновационного пилотного проекта «Сохранение здоровья детей»;

– разработать технологию производства продуктов школьного питания повышенной биологической и пищевой ценности;

– разработать и провести мониторинг нутриентного и метаболического статуса школьников;

– разработать программы «Индивидуальный паспорт здоровья школьника»;

– разработать меню обогащенное витаминами, микроэлементами, биологически активными веществами, составление диетических программ;

– разработать рекомендации по использованию новых технологий хранения плодов, ягод и овощей.

В проект модернизации системы школьного питания представлены следующие статьи по вложению инвестиции:

1. Техническая и технологическая модернизация школьных пищеблоков.

2. Ремонт и оснащение школьных обеденных залов.

3. Строительство ПЛЦ.

На основании новых государственных реформ в области школьного питания были достигнуты следующие результаты:

1. Проведены лекции «Школьная группа охраны здоровья», связанные с реализацией мероприятий по охране здоровья и здорового питания.

2. Проведены обучения в области школьного питания для учителей, медицинского персонала, работников общественного питания.

3. При разработке меню учитывались сформированные потребительские предпочтения, использование продуктов функционального и специализированного направления, баланс в отношении пищевых веществ в рационе [4–9].

4. Строгое соблюдение режимов питания в школьных столовых.

5. Соблюдение кулинарной обработки продуктов с целью сохранения биологической и пищевой ценности [15–23].

6. Проведено полное переоснащение пищеблоков школ современным технологическим оборудованием в соответствии с требованиями, закрепленными в санитарно-эпидемиологических нормативах, что позволило повысить качество приготовляемой пищи

7. Проведен ремонт и реконструкция пищеблоков школ, охваченных проектами, осуществлена замена устаревших коммуникаций в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями и требованиями безопасности, объемно-планировочными и конструкторскими решениями, закуплен специализированный автотранспорт.

8. Проведен комплекс мероприятий по пропаганде основ правильного питания: проведение родительских собраний, проведение областных и городских конкурсов на лучшую организацию школьного питания среди образовательных школ, организация PR-кампании в СМИ по пропаганде основ правильного питания.

В связи с проведением новых реформ в школьном питании, созданы региональные стажировочные площадки для обучения специалистов. В 35 субъектах Российской Федерации разработаны программы повышения профессиональной квалификации и стажировки; из них в 28 регионах

указанные программы разработаны для руководителей образовательных учреждений, педагогических работников и специалистов предприятий школьного питания и школьных пищеблоков [1–3].

Обстановка в школе оказывает существенное влияние на эффективность и жизнеспособность мер по охране здоровья и организации здорового питания. Наилучшие результаты достигаются в том случае, когда техническое и психосоциальное окружение в школе способствует усилиям в области охраны здоровья и дополняет их.

Плановый контроль за качеством школьного питания, ассортиментным перечнем продукции, реализуемой через буфеты, осуществляется территориальными органами Роспотребнадзора. Перспективные меню обязательно согласовываются и утверждаются территориальными органами Роспотребнадзора.

Библиографический список

1. План мероприятий по совершенствованию системы питания обучающихся в государственных и муниципальных общеобразовательных учреждениях. – URL: http://www.pitportal.ru/school_lunch/sr/5231.html.

2. Распоряжение правительства Российской Федерации от 25 октября 2010 г. № 1853-р. // «РГ» – 2010. – Федеральный выпуск № 5328. – URL: http://pf-cop.opitanii.ru/info/cons_2020.shtml.

3. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федрации. Утверждены указом Президента РФ от 25 января 2010 г. № 120. – 9 с.

4. Наумова, Н.Л. Функциональные продукты. Спрос и предложение / Н.Л. Наумова, М.Б. Ребезов, Е.Я. Варганова. – Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2012. – 78 с.

5. Коденцова, В.М. Пищевые продукты, обогащенные витаминами и минеральными веществами: их роль в обеспечении организма микронутриентами / В.М. Коденцова, О.А. Вржесинская // Вопросы питания. – 2008. – № 4. – С.16–25.

6. Асенова, Б.К. Технология производства функциональных продуктов питания для экологически неблагоприятных регионов / Б.К. Асенова, М.Б. Ребезов // Торгово-экономические проблемы регионального бизнес-пространства. – 2013. – № 1. – С. 313–316.

7. Догарева, Н.Г. Создание новых видов продуктов из сырья животного происхождения и безотходных технологий их производства / Н.Г. Догарева, М.Б. Ребезов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2012. – С. 945–953.

8. Юдина, С.Б. Технология продуктов функционального питания / С.Б. Юдина. – М.: ДеЛи принт, 2008. – 280 с.

9. Воробьева, В.И. Организация оздоровительного и лечебного питания / В.И. Воробьева. – М., 2002. – 448 с.

10. СП 1.1 1058-01 «О введение в действие санитарных правил» (в ред. Изменений и дополнений N 1, утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 27.03.2007. № 13. –35 с.

11. СП 2.3.6.1079-01 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям общественного питания, изготовлению и оборотоспособности в них пищевых продуктов и продовольственного сырья», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 06.11.2001 // Зарегистрировано в Минюсте РФ 07.12.2001 № 3077.

12. Проект технического регламента РТР-041 «О требованиях к безопасности продуктов детского питания, процессов их производства, хранения, перевозки и реализации».

13. Онищенко, Г.Г. Государственная политика в области здорового питания населения и пути ее реализации / Г.Г. Онищенко // Здравоохранение Российской Федерции. – 2009. – № 3. – С. 3–9.

14. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.3.2.2408-10 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов». Дополнения и изменения № 22 к СанПиН 2.3.2.1078-01.

15. Экология и питание. Проблемы и пути решения / М.Б. Ребезов, Г.К. Альхамова и др. // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 8. – С. 393–396.

16. Шендеров, Б.А. Современное состояние и перспективы развития концепции «Функциональное питание» / Б.А. Шендеров // Пищевая промышленность. – 2003. – № 5. – С. 4–7.

17. Ребезов, М.Б. О возможности обогащения хлебобулочных изделий функциональными добавками / М.Б. Ребезов, Н.Л. Наумова, М.Ю. Кофанова // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – № 1 (9). – С. 55–59.

18.Соловьева, А.А.Изучение влияния стартовых культур на функционально-технологические свойства и микробиологическую безопасность модельных фаршей / А.А. Соловьева, М.Б. Ребезов, О.В. Зинина // Актуальная биотехнология. – 2013. – № 2 (5). – С. 18–22.

19. Зинина, О.В. Полуфабрикаты мясные рубленые с ферментированным сырьем / О.В. Зинина, М.Б. Ребезов, С.А. Жакслыкова // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2012. – № 3. – С. 19–25.

20. Ребезов, М.Б.Конъюнктура предложения обогащенных молочных продуктов на примере Челябинска / М.Б. Ребезов, Н.Л. Наумова, Г.К. Альхмова и др. // Молочная промышленность. – 2011. – № 8. – С. 38–39.

21. Ребезов, М.Б. Технология и рецептура печенья овсяного «Солнечное» / М.Б. Ребезов, К.Ж. Амирханова, Б.К. Асенова и др. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 7. – С. 94–97.

22. Асенова, Б.К. Контроль качества молока и молочных продуктов / Б.К. Асенова, М.Б. Ребезов, Г.М. Топурия и др. – Алматы: Халықаралық жазылым агентігі, 2013. – 212 с.

23. Кожевникова, Е.Ю. Описание бизнес-процесса согласования возврата продукции с признаками производственного брака / Е.Ю. Кожевникова, М.Б. Ребезов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. – № 10–2 (17). Ч. 2. – С. 45–47.

К содержанию

ФАКУЛЬТЕТ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЛЕКТРОНИКИ

УДК 669.162 + 681.518.3

МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОМЕННОГО ПРОЦЕССА

Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова

В работе рассмотрен метод идентификации производственных характеристик по статистическим данным эксплуатации для математического описания доменных процессов. При автоматизации управления доменным процессом наряду с задачами контроля и стабилизации режимных параметров рекомендуется решать оперативную задачу оптимизации режимов на основе алгоритма идентификации производственных характеристик по статистическим данным эксплуатации.

Ключевые слова: доменная печь, идентификация производственной характеристики.

Введение

При построении автоматизированных систем управления режимами доменного процесса возникает ряд трудностей, связанный с тем, что многомерные технологические объекты, в частности доменная печь, в металлургическом производстве характеризуются наличием большого количества взаимосвязанных переменных. Кроме того, в доменном производстве одновременно протекает большое число разнообразных физических и химических процессов, параметры, определяющие протекание процессов, трудноизмеримы, а набор управляющих воздействий, позволяющих проводить эксперименты на объекте, ограничен. Анализ процессов доменной плавки на основе как математического, физического моделирования, так и экспериментальных исследований выполнен в работах [1–13].

1. Общий вид экстремальных характеристик газо-дутьевого режима доменной печи

Снижение удельного расхода дорогостоящего и дефицитного кокса и повышении производительности доменных печей являются наиболее приоритетными проблемами при управлении технологическим процессом доменной плавки.

В настоящее время основным видом альтернативной замены кокса, как источника тепловой энергии в доменном процессе, является природный газ, вдуваемый в доменную печь. Эффективность применения природного газа определяется величиной коэффициента замены кокса и приростом производительности печи за счет оптимального ведения доменного процесса в реальном времени.

Проведенные исследования на доменной печи показали, что при всех равных условиях зависимости удельного количества кокса и производительности доменной печи от величины удельного количества природного газа имеют экстремальный вид. Положение экстремумов этих зависимостей определяется соотношение удельных количеств природного газа и технологического кислорода, используемого для обогащения дутья [10].

На рис. 1 приведен общий вид экстремальных характеристик доменной печи. Характеристики представляют собой зависимости производительности доменной печи от величины отношения удельных количеств природного газа $V_{ПГ}$ и технологического кислорода в дутье $V_{ТК.}$. На рисунке 2 приведена экспериментальная экстремальная характеристика потребления кокса доенной печью.

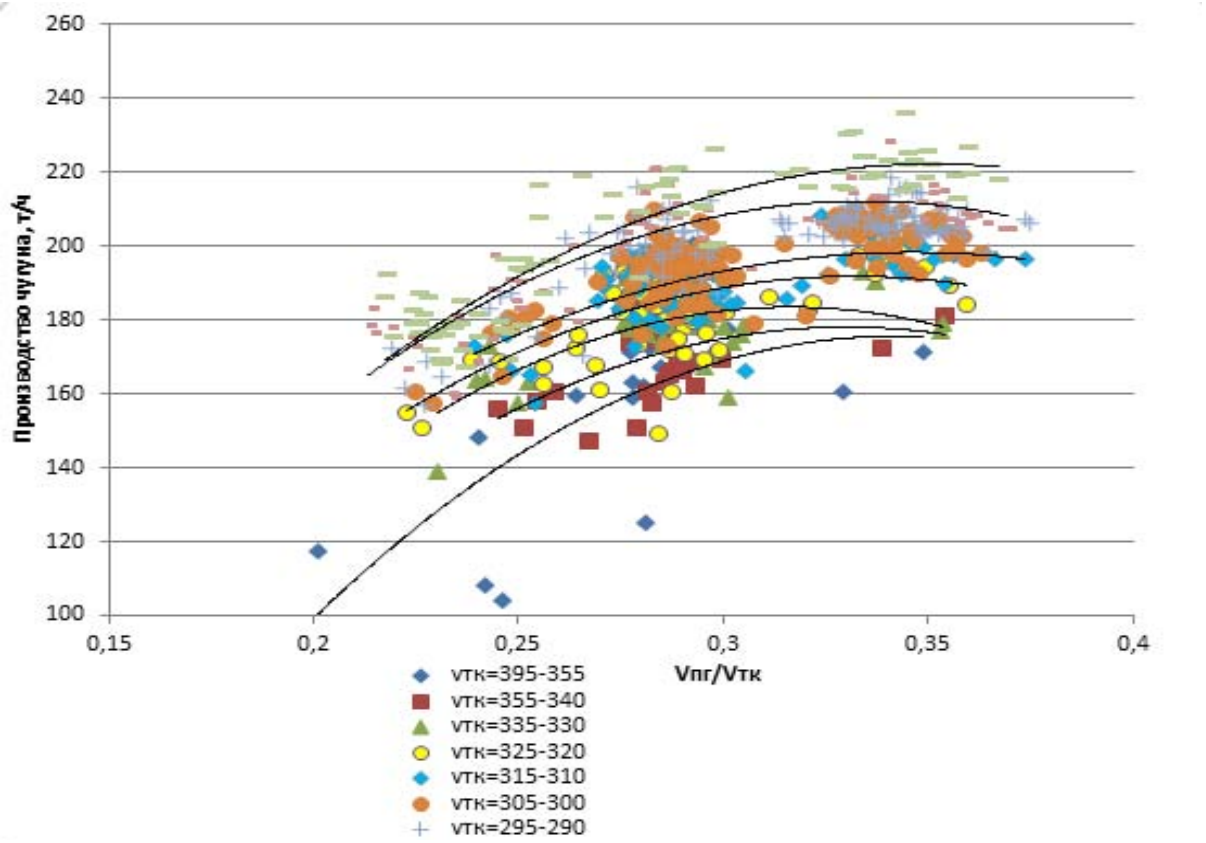


Рис. 1. Экспериментальная характеристика производительности доменной печи

Экономия кокса при вдуваниприродного газа достигается за счет увеличения непрямого и уменьшения прямого восстановления, замены части углерода кокса на углерод природного газа и уменьшения прихода серы в печь и выхода шлака вследствие уменьшения расхода кокса.

Экспериментальные зависимости удельного расхода кокса от величины отношения удельных количеств природного газа $V_{ПГ}$ и технологического кислорода $V_{ТК.}$ представлены на рисунке 2.

Зависимость удельного расхода кокса от удельного расхода природного газа имеет также экстремальный харатер.

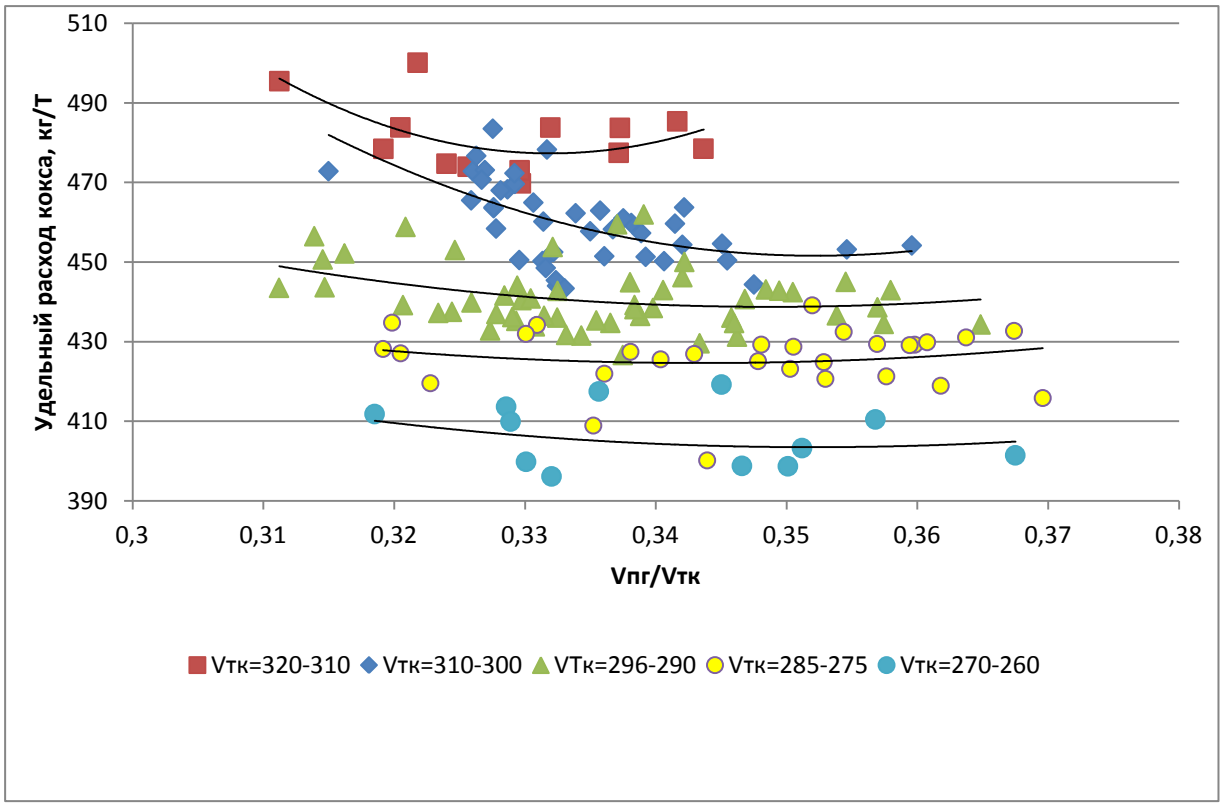


Рис. 2. Экспериментальная характеристика удельного расхода кокса

Минимальный расход удельного кокса не только от удельного расхода природного газа, но и от удельного расходакислорода в дутье.

2. Идентификация экстремальных характеристик

Аналитическая форма записи зависимости производительности доменной печи от удельного объема технического кислорода в дутье и удельного потребления природного газа, представленной на рис. 1, имеет вид:

$$\begin{aligned} W_o &= W_m - H\left(V_{ng} - V_m\right), \\ W_m &= a_0 + a_1 O + a_2 O^2, \\ V_m &= a_3 + a_4 O + a_5 O^2, \\ H_m &= a_6 + a_7 O + a_8 O^2, \end{aligned} \qquad (1)$$

где a_i , $(i \in [0,8])$ – искомые структурные параметры зависимости.

Для нахождения параметров a_i можно применить метод Ньютона решения нелинейных уравнений, который заключается в следующем. Предположим, что известно начальное приближение вектора параметров **a** = $\mathbf{a}_0$. Тогда в окрестности точки $\mathbf{a}_0$ соотношение (1) можно разложить в линейный ряд:

$$y = \mathbf{W}_o\left[\mathbf{a}\right]\left(\mathbf{x}\right) \approx \mathbf{W}_o\left[\mathbf{a}_0\right]\left(\mathbf{x}\right) + \sum_{i=0}^{8} \Delta a_i g_i\left(\mathbf{x}\right), \quad (2)$$

где $\mathbf{x}$ = (O, V_{to}) - вектор переменных; $\mathbf{a}$ - вектор структурных параметров нелинейного уравнения (1); $\Delta a_i = a_i - a_{i0}$ - искомые коэффициенты зависимости (2); g_i - частные производные по параметрам a_i.

Частные производные определяются по формулам:

$$g_0 = \frac{\partial W_o}{\partial a_0} = 1; \quad (3)$$

$$g_1 = \frac{\partial W_o}{\partial a_1} = O; \quad (4)$$

$$g_2 = \frac{\partial W_o}{\partial a_2} = O^2; \quad (5)$$

$$g_3 = \frac{\partial W_o}{\partial a_3} = H; \quad (6)$$

$$g_4 = \frac{\partial W_o}{\partial a_4} = H \cdot O; \quad (7)$$

$$g_5 = \frac{\partial W_o}{\partial a_5} = H \cdot O^2; \quad (8)$$

$$g_6 = \frac{\partial W_o}{\partial a_6} = -\left(V_{to} - V_m\right); \quad (9)$$

$$g_7 = \frac{\partial W_o}{\partial a_7} = -O\left(V_{to} - V_m\right); \quad (10)$$

$$g_8 = \frac{\partial W_o}{\partial a_8} = -O^2\left(V_{to} - V_m\right). \quad (11)$$

Значения коэффициентов Δa_i линейной зависимости (2) на совокупности статистических данных эксплуатации можно определить, например, методом наименьших квадратов. Зная значения Δa_i, можно уточнить искомые значения структурных параметров зависимости (1):

$$a_{i,1} = a_{i,0} + \Delta a_i, \; i \in \left[0, 4\right]. \quad (8)$$

Далее, рассматривая вектор параметров $\mathbf{a}_1$ как начальное приближение для следующего шага решения, процедура решения задачи повторяется. В результате будет получено следующее приближение решения $\mathbf{a}_2$. Рекуррентно повторяя указанную процедуру решения, получим последовательность решений:

$$\mathbf{a}_0, \mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \ldots \tag{9}$$

Если последовательность (9) сходится:

$$\lim_{k\to\infty} \left\| \mathbf{a}_k - \mathbf{a}_{k-1} \right\| = 0, \tag{10}$$

то она сходится к искомому решению.

Таким образом, можно построить экстремальные характеристики доменного процесса на множестве экспериментальных данных по выработке чугуна, объему дутья и расходу природного газа.

На рисунке 3 приведены полученные в результате моделирования зависимости, соответствующие различным газо-дутьевым режимам работы доменной печи. Каждая характеристика построена при различных значениях содержания кислорода в дутье. Для каждого режима работы доменной печи на основании полученной математической модели можно находить оптимальные значения производительности.

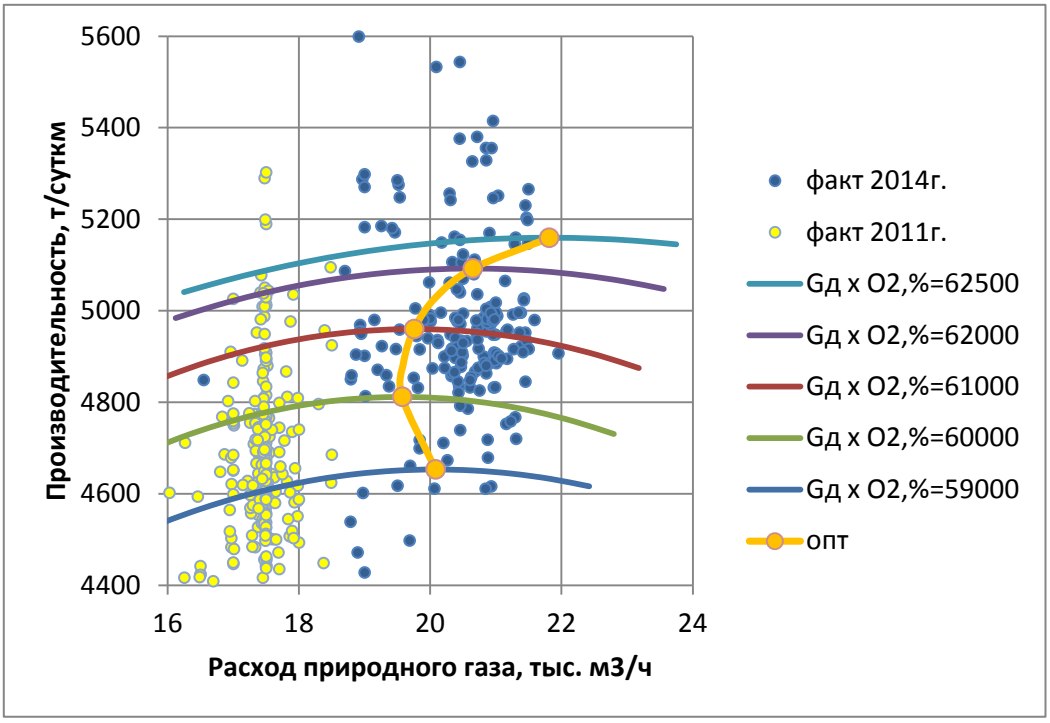


Рис. 3. Зависимость производительности доменной печи от расхода природного газа при различном объеме технического кислорода в дутье

Заключение

Для достоверной оценки этих параметров и математического описания доменных процессов необходимо дополнительно использовать в реальном времени метод идентификации указанных характеристик по статистическим данным эксплуатации. При автоматизации управления доменным процессом наряду с задачами контроля и стабилизации режимных параметров целесообразно решать оперативную задачу оптимизации режимов.

Рассмотрен алгоритм идентификации указанных характеристик по статистическим данным эксплуатации. Использования полученной модели для решения задач оптимизации позволит достичь максимальной производительности доменной печи при минимизации потребления кокса.

Библиографический список

1. Онорин, О.П. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / О.П. Онорин, Н.А. Спирин, В.Л. Терентьев, Л.Ю. Гилева, В.Ю. Рыболовлев и др.; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2005. – 301 с
2. Жеребин, Б.Н. Практика ведения доменной печи / Б.Н. Жеребин. – М.: Металлургия, 1980. – 248 с.
3. Товаровский, И.Г. Совершенствование и оптимизация араметров доменного процесса / И.Г. Товаровский. – М.: Металлургия, 1987. – 192 с.
4. Товаровский, И.Г. Применение математических методов и ЭВМ для анализа и управления доменным процессом / И.Г. Товаровский, Е.И. Райх, К.К. Шкодин и др. – М.: Металлургия, 1978. – 204 с.
5. Авдеев, В.П. Идентификация промышленных объектов с учетом нестационарностей и обратных связей / В.П. Авдеев, Т.М. Даниелян, П.Г. Белоусов. – Новокузнецк: СибМИ,984. – 88 с.
6. Товаровский, И.Г. Совершенствование и оптимизация параметров доменных процессов / И.Г. Товаровский. – М.: Металлургия., 1987. – 192 с.
7. Рамм, А.Н. Современный доменный процесс / А.Н. Рамм. – М.: Металлургия. 1980. – 304 с.
8. Сучков, А.В. Соверенствование управления многомерными технологическим объектом на примере доменной печи: монография / А.В. Сучков, В.Г. Лисиенко, В.А. Сучков. – Екатринбург: УрФУ, 2012. – 126 с.
9. Основы теории и технологии доменной плавки / А.Н. Дмитриев, Н.С. Шумаков, Л.И. Леонтьев, О.П. Онорин. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 545 с.
10. Парсункин, Б.Н. Повышение производительности доменной печи при оптимизации автоматического управления подачей природного газа и технического кислорода в дутье / Б.Н. Парсункин, Б.К. Сеничкин, С.М. Андреев, М.Ю. Рябчиков // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. – 2011. – № 4. – С. 73–77.
11. H. Kwakernaak, P. Tijssen, R.C.W. Strijbos Optimal operation of blast furnace stoves Automatica, Volume 6, Issue 1, January 1970, Pp. 33–40.
12. C.P. Jeffreson Feedforward control of blast furnace stoves Automatica, Volume 15, Issue 2, March 1979, Pp. 149–159.
13. Garry A. Labossiere, Peter L. Lee Model-based control of a blast furnace stove rig Journal of Process Control, Volume 1, Issue 4, August 1991, Pp. 217-227.

К содержанию

УДК 669.531.5:001.891.57

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССОВ ВЕЛЬЦ-ПЕЧИ

Л.С. Казаринов, А.Р. Вернергольд, О.В. Колесникова

Рассматривается математическая модель процесса вельцевания цинковых кеков, учитывающая реакции разложения сульфата цинка, восстановления цинка, окисления углерода коксика, тепломассоперенос в элементарном объеме длины печи, а также изменение тепловых потоков шихты и газа по длине печи. Приводятся результаты моделирования – графики изменения количества веществ, вступающих в реакцию при вельц-процессе, и температуры шихты по длине печи.

Ключевые слова: вельцевание цинковых кеков; вельц-процесс; математическое моделирование.

Производство цинка является важным направлением цветной металлургии. Крупнейшим в России производителем цинка, кадмия, индия является ОАО «Челябинский цинковый завод» (ОАО «ЧЦЗ») [1].

Цинковый кек для извлечения металлов (цинка, индия, кадмия, свинца и меди) смешивают с коксовой мелочью и нагревают в вельц-печи. Тепло выделяется за счет сгорания коксовой мелочи и экзотермических реакций. В качестве корректирующих добавок используются известняк и формовочный песок. Технологический воздух используется для интенсификации процессов горения углерода и окисления паров цинка, свинца и кадмия, поддержания необходимой температуры в реакционной зоне. Принудительная подача воздуха используется также для эффективного сжигания природного газа при разогреве печи. Природный газ используется для сушки и разогрева футеровки печи при ее пуске, а также для разогрева материала после остановок печи и технологических нарушений. Продуктами вельцевания являются вельц-окись, которая возгоняется, охлаждается и улавливается рукавными фильтрами, и медистый клинкер.

Обобщенная структура процесса вельцевания цинковых кеков представлена на рис. 1 [2, 3].

Перспективным подходом к исследованию температурных режимов вельц-процесса является математическое моделирование. Для моделирования вельц-процесса в работе использовалась типовая модель для пиротехнологических процессов, приводимая ниже.

При вельц-процессе протекают около тридцати химических реакций, но на характер распределения температур по длине печи заметное влияние оказывают реакции разложения сульфатов, восстановления железа, восстановления и окисления цинка, окисления углерода коксика. Существенное влияние также оказывают испарение влаги шихты и испарение цинка [4].

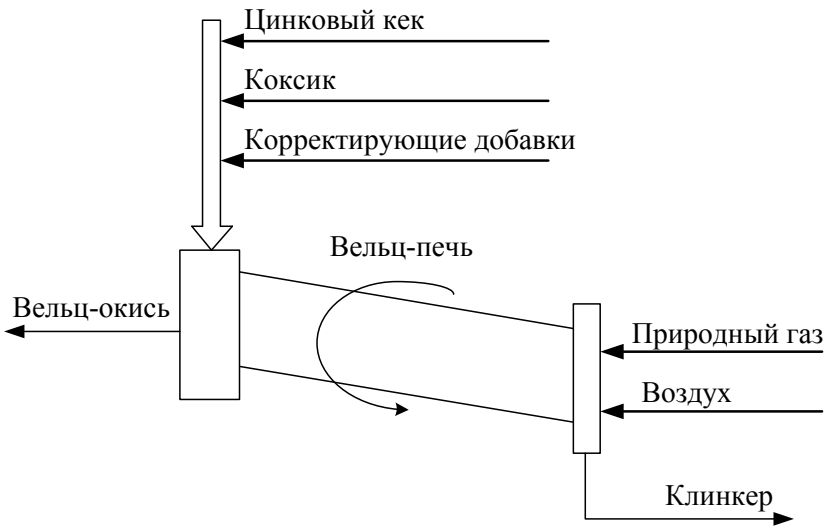


Рис. 1. Общая структура процесса вельцевания цинковых кеков

Значительное отношение длины печей к их диаметру позволяет рассматривать совокупность протекающих процессов в установившемся режиме на основании одномерной теории объектов с распределенными параметрами. При этом на каждой элементарной длине печи можно выделить две характерные технологические зоны: шихты и газового потока [5].

Математическая модель процесса вельцевания цинковых кеков описывается следующей системой уравнений:

$$\frac{dm_i}{dt} = K_i m_i, \tag{1}$$

$$\frac{dG_i}{dx} = \frac{K_i}{V_{\text{ш}}} G_i, \tag{2}$$

$$\frac{d\Phi_{\text{ш}}}{dx} = T_{\text{ш}} \sum_{i=1}^{n} \nu_i c_i \frac{dG_i}{dx} + \sum_{i=1}^{n} q_i \frac{dG_i}{dx} - \alpha F_1 (T_{\text{г}} - T_{\text{ш}}), \tag{3}$$

$$\frac{d\Phi_{\text{г}}}{dx} = T_{\text{ш}} \sum_{i=1}^{n} \nu_i c_i \frac{dG_i}{dx} + \sum_{j=1}^{m} q_j \frac{dG_j}{dx} - \alpha F_1 (T_{\text{г}} - T_{\text{ш}}) - q_{\text{п}} F_2 (T_{\text{г}} - T_{\text{окр}}), \tag{4}$$

$$d\Phi_{\text{ш}} = T_{\text{ш}} V_{\text{ш}} \sum_{i=1}^{n} c_i m_i, \tag{5}$$

$$d\Phi_{\text{г}} = T_{\text{г}} V_{\text{г}} \sum_{j=1}^{m} c_j m_j. \tag{6}$$

Здесь $m_i = f(x)$ – количество i-го вещества, вступающего в реакцию, на единицу длины печи, кг/м; $K_i = f_i[T_{\text{ш}}(x)]$ – скорость реакции i-го вещества, вступающего в реакцию, как функция температуры шихты, 1/час; t – вре-

мя, час; $G_i = m_i V$ – текущее количество i-го вещества, вступающего в реакцию, кг/час; $V_ш$, $V_г$ – соответственно скорость движения шихты и газа, м/час; $Ф_ш$, $Ф_г$ – соответственно тепловой поток шихты и газа; $T_ш$, $T_г$, $T_{окр}$ – соответственно температура шихты, газа и окружающей среды; v_i – коэффициент, определяющий долю соответствующих веществ, вступающих в реакцию; c_i, c_j – соответственно теплоемкость i-го вещества, вступающего в реакцию, и j-го вещества, составляющего газовый поток, ккал/кг·град; q_i – выделяемое или поглощаемое тепло реакции, отнесенное к единице веса прореагировавшего вещества, в шихте, ккал/кг; q_j – выделяемое или поглощаемое тепло реакции, отнесенное к единице веса прореагировавшего вещества, в газовой фазе, ккал/кг; $\alpha = f(T)$ – коэффициент теплопередачи конвекцией, ккал/м·час·град; F_1, F_2 – соответственно поверхность шихты и кожуха печи, м^2/м; $q_п$ – суммарный коэффициент теплоотдачи в окружающую среду.

Уравнения (1), (2) описывают реакции разложения сульфата цинка, восстановления цинка, окисления углерода коксика. Тепломассоперенос в элементарном объеме длины печи описывается уравнениями (3), (4). Расчет тепловых потоков шихты и газа по длине печи осуществляется на основе уравнений (5), (6).

На рис. 2, рис. 3 приведены графики изменения соответственно количества веществ (сульфат цинка, оксид цинка, углерод), вступающих в реакцию, и температуры шихты по длине печи.

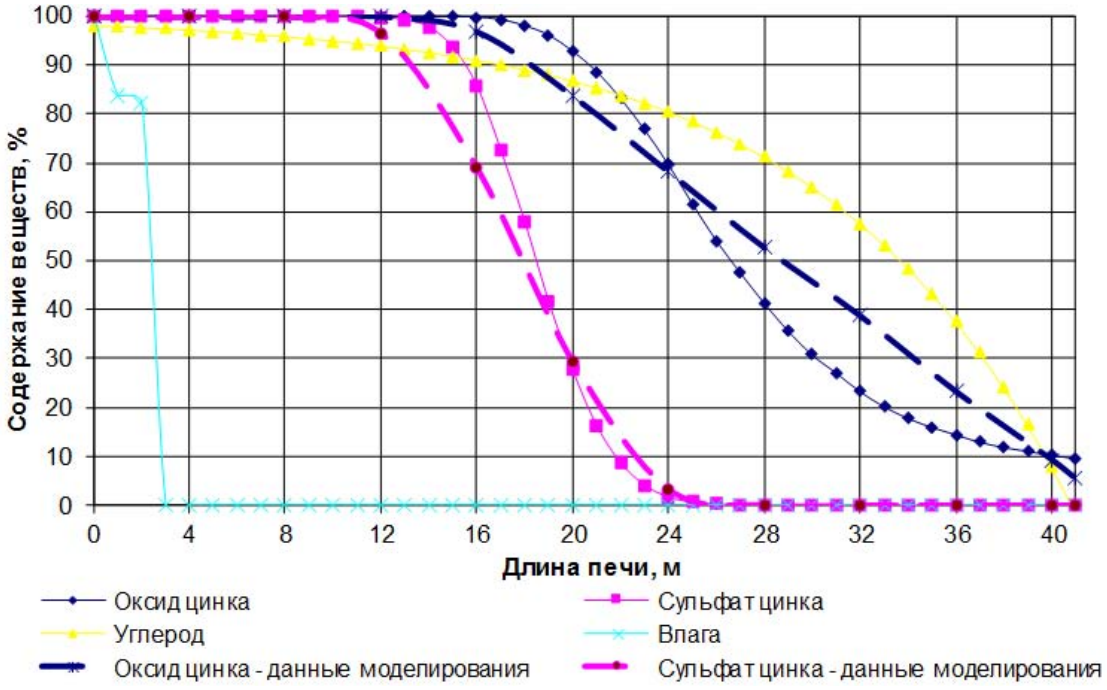


Рис. 2. Графики изменения количества вещества по длине печи

Рис. 3. Графики изменения температуры шихты по длине печи

Форма траекторий вельц-процесса существенно зависит от начальных условий процесса, определяемых параметрами цинкового кека, коксика, корректирующих добавок, расхода воздуха и др. Качество ведения вельц-процесса в основном определяется его терминальными условиями, главными из которых являются наиболее полное выгорание цинка и углерода к окончанию процесса.

С точки зрения управления процессом, внутреннее состояние вельц-процесса является ненаблюдаемым, наблюдаемыми являются начальные и терминальные условия. Изменяя начальные условия процесса, можно изменить терминальные условия. При этом задача управления состоит в том, чтобы задать такие начальные условия, которые обусловили бы максимальное выгорание цинка и углерода на терминальном участке процесса при минимизации энергетических затрат.

Библиографический список

1. Казаринов, Л.С. Процедура оптимизации режимов вельц-процессов / Л.С. Казаринов, А.Р. Вернергольд, О.В. Колесникова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2014. – Т. 14. – № 4. - С. 143–148.

2. Вернергольд, А.Р. Об оптимальном управлении процессом вельцевания цинковых кеков / А.Р. Вернергольд, Л.С. Казаринов, О.В. Колесникова, Д.А. Шнайдер // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2008. – Вып. 7. – № 3(103). – С. 54–56.

3. Вернергольд, А.Р. Лингвистический подход к оптимизации управления вельц-процессом / А.Р. Вернергольд, Л.С. Казаринов, О.В. Колесникова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2008. – Вып. 8. - № 17(117). – С. 61–65.

4. Динцис, Н.П. Исследование тепломассопереноса по основным зонам вельц-печи / Н.П. Динцис, А.М. Давидсон, Г.А. Епутаев, Н.В. Ходов // Цветная металлургия. – 1977. – № 2. – С. 98–101.

5. Ходов, Н.В. Математическое описание работы вельц-печи, как объекта с распределенными параметрами / Н.В. Ходов, Г.А. Епутаев, А.М. Давидсон // Труды Северо-Кавказского горно-металлургического института. – 1973. – Вып. XXXIII.

К содержанию

УДК 628.94 + 628.93

ПОСТРОЕНИЕ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Е.В. Вставская, В.И. Константинов

В статье рассмотрены вопросы построения источников тока для светодиодных излучателей по многоканальной структуре. Рассмотрены проблемы, связанные с построением светотехнических устройств, содержащих большое количество светодиодов. Приведена структура многоканального источника тока с синхронным управлением током каналов.

Ключевые слова: многоканальный источник тока, светодиодные излучатели, освещение.

Светодиоды как преобразователи электроэнергии набирают все большую популярность на рынке осветительных устройств в настоящее время.

Массовое производство светодиодов и связанное с этим снижение их себестоимости совместно с увеличением удельной светоотдачи делает современные светодиодные светильники экономически конкурентными наряду с другими типами светоизлучателей.

Современные тенденции развития светодиодного освещения направлены на увеличение мощности светильников, которое, в свою очередь, требует разработки новых типов электронных преобразователей для питания большого количества светодиодов, сконцентрированных в рамках одного светильника [1]. При реализации светильника со значительным количеством светодиодов возникают проблемы, связанные с необходимостью включать светодиоды в последовательную цепь. Рост мощности преобразователя и, соответственно, количества используемых в нем светодиодов, неизбежно приводит к росту выходного напряжения преобразователя. А это, в свою очередь, приводит к нарушению прочности изоляции на металлической плате, содержащей светодиоды, поскольку в качестве изоля-

ции на этой плате используется оксидная пленка. Разделение светодиодов светильника на несколько групп и применение нескольких электронных преобразователей не является экономически эффективным, поскольку связано с применение нескольких источников питания малой мощности, гальванически отвязанных друг от друга. Стоимостные и эксплуатационные характеристики нескольких маломощных источников, как правило, уступают единому образцу источника питания эквивалентной мощности. Поэтому построение источников тока для питания большого количества светодиодов целесообразно осуществлять по многоканальной структуре. При этом светодиоды разбиваются на параллельные группы, для каждой из которых формируется требуемый питающий ток. Для каждой группы нормируется количество последовательно соединенных светодиодов.

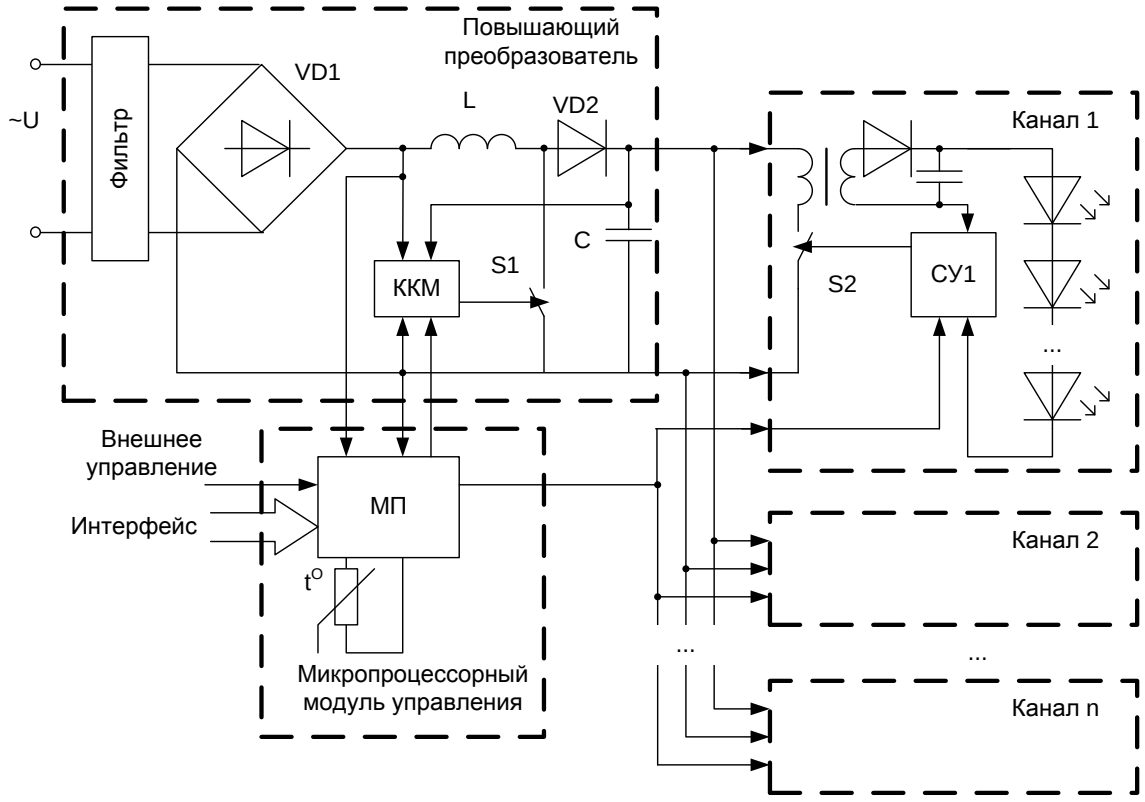
В настоящее время указанная задача решается применением интегральных драйверов, которые содержат линейные регуляторы, устанавливающие требуемые значения тока в отдельных группах. Однако такой способ построения источника возможен только в том случае, если количество светодиодов во всех группах одинаково, поскольку если в одной из групп светодиодов окажется меньше, то на регуляторе этой группы выделяется значительная мощность, вызванная перепадом напряжения между остальными группами и данной группой. Выделяемая мощность приводит к выходу из строя данного канала и его регулятора.

Более перспективным способом построения многоканального источника является создание независимых импульсных регуляторов выходного тока с питанием от общего источника постоянного напряжения (рис.) [2].

Повышающий преобразователь с функцией коррекции коэффициента мощности [3] преобразует переменное входное напряжение в постоянное выходное напряжение на конденсаторе C, питающее все каналы схемы. Функция коррекции коэффициента мощности обеспечивает характер потребления электрического тока, совпадающий по форме с напряжением питающей сети. Особенностью реализации структуры, представленной на рисунке, является использование высоковольтного накопителя, осуществляющего защиту от перенапряжения. В качестве накопителя в такой структуре можно использовать неэлектролитический конденсатор, поскольку энергия, накопленная в конденсаторе сравнительно малой емкости, будет достаточна для питания всей выходной части схемы. Также использование неэлектролитического конденсатора позволяет расширить диапазон изменения напряжения на нем (коэффициент пульсаций) по сравнению с электролитическим.

Каждый канал выходного тока представляет собой однотактный преобразователь с обратным включением диода. Система управления замыкает регулирующий ключ S2, и в первичной обмотке индуктивного элемента накапливается электромагнитная энергия. При размыкании ключа элек-

тромагнитная энергия из сердечника индуктивного элемента через диод передается в нагрузку и шунтирующий конденсатор. Такой алгоритм работы преобразователя позволяет более надежно обеспечить защиту преобразователя от короткого замыкания в нагрузке, поскольку цикл накопления электромагнитной энергии сердечника и отдача ее из магнитопровода в нагрузку разнесены во времени, и система управления имеет некоторый интервал времени на принятие управляющего решения. Преобразователи каналов могут работать независимо друг от друга, с независимыми частотами, потребляя энергию от накопительной емкости повышающего преобразователя.



Структурная схема многоканального источника тока

В общем случае количество светодиодов в группах светильника при такой структуре может быть различным. Оно может меняться в процессе работы за счет выхода из строя отдельных некачественных светодиодов или при проектировании конструкции светильника. Управление выходными токами каналов осуществляется синхронно от общего управляющего сигнала.

Применение многоканальных источников тока для питания светодиодных излучателей является существенным шагом вперед в вопросах развития современных систем освещения.

Библиографический список

1. Вставская, Е.В. Особенность эксплуатации светодиода как высокоэффективного и надежного светоизлучающего элемента / Е.В. Вставская, А.Ю. Вставский, В.И. Константинов, М.М. Пожидай // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 5. – С. 56–57.

2. Вставская, Е.В. Многоканальные источники тока для светодиодных излучателей / Е.В. Вставская, В.И. Константинов, О.В. Константинова, М.М. Пожидай // Полупроводниковая светотехника. – 2014. – № 4. – С. 78–79.

3. Вставская, Е.В. Структура электронного преобразователя энергии для питания светодиодных излучателей / Е.В. Вставская, А.Ю. Вставский, В.И. Константинов, М.М. Пожидай // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 5. – С. 64–65.

К содержанию

УДК 62-83-52 + 621.313.333

АЛГОРИТМЫ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМИ КОНДЕНСАТОРНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ОБЩЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ С ЗАДАННЫМИ НАГРУЗКАМИ

А.В. Ямщиков

В статье изложена методика разработки алгоритмов частотного управления конденсаторными двигателями в составе автоматизированных приводов, позволяющая обоснованно задавать в частотных преобразователях характеристику «выходное напряжение / частота» для любых типов заданных нагрузок.

Ключевые слова: конденсаторный двигатель, частотное управление.

В настоящее время целый ряд автоматизированных скоростных электроприводов производственных механизмов, обеспечивающих плавное управление их скоростью движения, построен на основе асинхронных конденсаторных двигателей (АКД) общего применения, именуемых далее АКД. Последние имеют на статоре двухфазную обмотку. Обмотка одной фазы – главная – подключается непосредственно к регулируемому однофазному переменному напряжению (ОПН). Обмотка другой фазы – вспомогательная – подключается к указанному напряжению через конденсатор. Плавное управление частотой вращения n_2 АКД и соответственно производственного механизма выполняется в большинстве случаев либо путем изменения только действующего значения U ОПН либо частотным спосо-

бом, т.е. путем изменения частоты f_1 и действующего значения U ОПН, которое изменяется в определенном соответствии с изменением частоты f_1 [1].

Необходимость повышения энергоэффективности электроприводов обусловила переход в настоящее время на частотное управление [2]. В этой связи современная промышленность приступила к выпуску аппаратуры для плавного управления АКД – однофазных преобразователей частоты (ОПЧ), что отмечается, например, в [3]. Для эффективного управления АКД с помощью ОПЧ в них предусмотрена возможность задания параметров т.н. характеристики «выходное напряжение/частота» (U / f_1). Однако в настоящее время отсутствует методика выбора параметров характеристик U / f_1 при управлении АКД, что не позволяет в полной мере реализовать возможности ОПЧ по организации эффективных алгоритмов управления АКД. В статье устраняется данный пробел для автоматизированных скоростных электроприводов с АКД, работающими при заданных нагрузках.

Методика получения характеристики U / f_1 рассматривается на примере управления АКД в скоростном электроприводе, работающем на заданную нагрузку и реализующем линейную характеристику «вход-выход», описываемую равенством:

$$n_2 = k_з u_{зад}, \quad (1)$$

где $k_з = \text{const}$ – заданный коэффициент; $u_{зад}$ – сигнал задания, формируемый входными цепями управления ОПЧ.

Искомая характеристика U / f_1 может быть получена из уравнения механической характеристики (МХ) АКД:

$$M = M(n_2, U, f_1), \quad (2)$$

где M – электромагнитный момент АКД, с учетом равенства (1) и следующих соотношений, первое из которых является следствием второго закона Ньютона для статического режима работы АКД, а второе обусловлено принципом работы ОПЧ:

$$M = M_с(n_2); \quad (3)$$

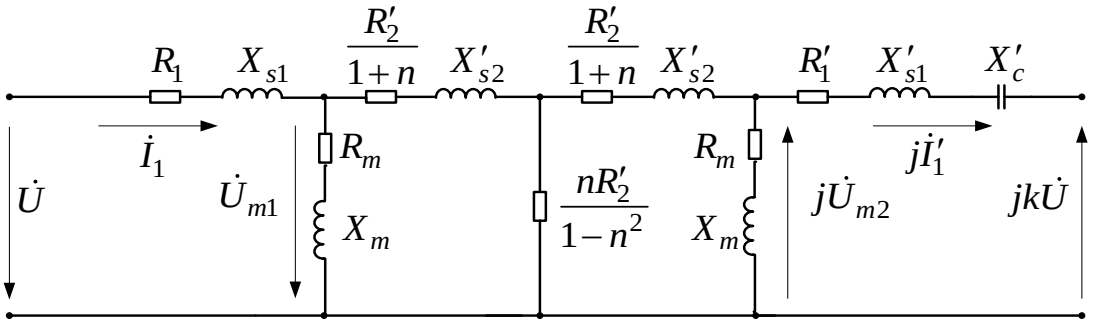
$$f_1 = k_f u_{зад}, \quad (4)$$

где $M_с(n_2)$ – механическая характеристика нагрузки АКД, представляющая собой заданную функцию скорости n_2; $k_f = \text{const}$ – коэффициент.

В настоящее время известны общие уравнения МХ АКД, справедливые для АКД любого типа. Эти уравнения приведены, например, в [1, 4] и учитывают все параметры АКД. Однако получаемые на их основе уравнения характеристики U / f_1 для АКД общего применения, которые имеют опре-

деленные особенности, оказываются неоправданно громоздкими и неудобными для их использования в практической инженерной работе.

Ниже предлагается методика вывода уравнения МХ АКД общего применения, которая учитывает их особенности и устраняет указанные недостатки. Методика опирается на электрическую схему замещения АКД любого типа и конструктивного исполнения [1], представленную на рис., и основывается на допущениях, справедливых для АКД общего назначения.



Электрическая схема замещения АКД

На рисунке приведены обозначения параметров схемы замещения АКД, которые имеют следующий физический смысл: R_1, X_{s1} – активное сопротивление и индуктивное сопротивление рассеяния главной обмотки статора; R_m, X_m – активное и индуктивное сопротивления контуров намагничивания; R'_2 , X'_{s2} – приведенные активное сопротивление и индуктивное сопротивление рассеяния одной фазы обмотки ротора; R'_1, X'_{s1} – приведенные активное сопротивление и индуктивное сопротивление рассеяния вспомогательной обмотки статора; $X'_c = k^2 X_c$ – приведенное сопротивление конденсатора; X_c – сопротивление конденсатора; k – коэффициент трансформации ЭДС между главной и вспомогательной обмотками статора; $\dot{U}$ – комплекс статорного напряжения, подводимого к главной обмотке (или, иначе, выходное напряжение ОПН); $\dot{I}_1, \dot{I}'_1$ – комплексы тока главной обмотки и приведенного тока вспомогательной обмотки; $\dot{U}_{m1}, \dot{U}_{m2}$ – комплексы напряжений контуров намагничивания; $n = n_2 p / f_1$ – относительная частота вращения вала двигателя; n_2 – абсолютная частота вращения вала двигателя; p – количество пар полюсов двигателя; f_1 – частота статорного напряжения (выходного напряжения ОПН).

При выводе уравнения МХ АКД общего применения учитываются их особенности, которые позволяют принять следующие допущения:

− индуктивное сопротивление X_m много больше прочих электрических сопротивлений схемы замещения, исключая конденсатор;

– имеет место:

$$\left|R_1' + jX_{s1}'\right| << \left|X_c'\right|. \quad (5)$$

Известно [1], что для конденсаторного двигателя с произвольными значениями параметров справедливо равенство:

$$M = \frac{p}{2\pi f_1}\,\mathrm{Im}(\dot{I}_1'\dot{U}_{m1}^* - \dot{I}_1\dot{U}_{m2}^*). \quad (6)$$

Учитывая принятые выше допущения, можно упростить общую схему замещения конденсаторного двигателя, приведенную на рисунке, исключив из нее оба контура намагничивания, а также сопротивления R_1' и X_{s1}'.

Определяя по упрощенной схеме величины $\dot{I}_1', \dot{U}_{m1}, \dot{I}_1, \dot{U}_{m2}$ можно получить соотношения для электромагнитного момента АКД в виде:

$$M = \frac{pU^2(1-n^2)\left[R_2'n + (1-n^2)R_{\text{рас}}\right]}{2\pi f_1\left\{\left[(R_1+R_2')(1-n^2)+R_2'n\right]^2 + (1-n^2)^2(X_{s1}+X_{s2}')^2\right\}}, \quad (7)$$

$$R_{\text{рас}} = \left[R_2'(R_1+R_2') + 0{,}5(X_{s1}+X_{s2}')^2\right]/(X_c k). \quad (8)$$

Учитывая, что $n = n_2 p / f_1$, а также равенства (1) и (4), получаем:

$$n = pk_з / k_f = \text{const}, \quad (9)$$

$$n_2 = f_1 k_з / k_f. \quad (10)$$

Из (8), если учесть соотношения для реактивных сопротивлений, следует:

$$R_{\text{рас}} = R_{\text{рас}}(f_1) = \left[R_2'(R_1+R_2') + 2(\pi f_1 L_к)^2\right]2\pi f_1 C_к / k, \quad (11)$$

где $L_к = (X_{s1}+X_{s2}')/(2\pi f_1)$ – индуктивность короткого замыкания АКД; $C_к$ – емкость конденсатора.

Из (7)–(11) с учетом (3) нетрудно получить уравнение для определения искомой характеристики U / f_1 в виде:

$$\frac{U^2\left[R_2'n + (1-n^2)R_{\text{рас}}(f_1)\right]}{f_1 M_с(f_1 k_з / k_f)\left\{\left[(R_1+R_2')(1-n^2)+R_2'n\right]^2 + \left[2\pi(1-n^2)L_к\right]^2\right\}} = \frac{2\pi}{p(1-n^2)}. \quad (12)$$

Уравнение (12) может быть упрощено, если учесть, что при частотном управлении выполняется, как правило, условие:

$$n \approx 1. \quad (13)$$

Подставив (13) в (12), получим с учетом (9) и (10) более простое уравнение для определения искомой характеристики U / f_1 в следующем виде:

$$U^2 / \left[f_1 M_c (f_1 k_э / k_f) \right] = 2\pi R_2' k_э / k_f = \text{const} . \quad (14)$$

Полагая, что нагрузка привода имеет, например, вентиляторный характер, т.е. описывается равенством:

$$M_c (f_1 k_э / k_f) = k_в n_2^2 = k_в (f_1 k_э / k_f)^2 , \quad (15)$$

где $k_в = \text{const}$ – заданный коэффициент, нетрудно получить из (14) уравнение для определения характеристики U / f_1:

$$U^2 / f_1^3 = 2\pi R_2' k_в k_э^3 / k_f^3 = \text{const} . \quad (16)$$

Аналогично могут быть получены уравнения характеристики U / f_1 для других режимов работы электроприводов с АКД при заданных нагрузках.

Библиографический список

1. Хрущев, В.В. Электрические машины систем автоматики / В.В. Хрущев. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 368 с.

2. Браславский, И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – М.: Академа, 2004. – 200 с.

3. Преобразователи частоты OPTIDRIVE для однофазных асинхронных двигателей. Инструкция по установке и эксплуатации. – URL: www.intechnics.ru.

4. Волков, Н.И. Электромашинные устройства автоматики / Н.И. Волков. – М.: Высшая школа, 1986. – 335 с.

К содержанию

УДК 004.056 + 002:004.056

ПРОБЛЕМЫ МЕТРИК ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РОССИЙСКИХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ПУБЛИКАЦИЯХ

Л.В. Астахова, И.А. Еремин, И.М. Галимов

В статье обоснованы проблемы метрик информационной безопасности, выявленные на основе анализа российских и зарубежных публикаций.

Ключевые слова: информационная безопасность, метрики, измерения, экспертная оценка.

Все чаще встают вопросы о том, насколько эффективны и результативны решения по обеспечению информационной безопасности (ИБ), которые уже внедрены в компании. Можно ли без внедрения новых мер, а следовательно, и без новых затрат, скорректировать работу уже внедренных средств защиты для наиболее успешного выполнения задач, поставленных бизнесом перед подразделениями ИБ? Как определить, что вносимые из-

менения приводят к требуемому результату? Поэтому необходимо внедрить процесс оценки результативности и эффективности мер по обеспечению и управлению информационной безопасностью, то есть метрики информационной безопасности.

Метрика – это количественное измерение, которое может быть интерпретировано в контексте ряда предыдущих измерений или эквивалентных измерений [4]. Метрика безопасности - способ применения количественного, статистического и/или математического анализа для измерения стоимости, преимуществ, удач, неудач, тенденций и нагрузок с точки зрения безопасности. По сути, это инструмент, позволяющий взвешенно и объективно принимать управленческие решения по улучшению работы мер и процессов по обеспечению ИБ [6]. Метрики полностью определяются следующими атрибутами: название метрики, описание, что измеряется, как проводится измерение метрики, как часто выполняется это измерение, как рассчитываются пороговые значения, диапазон значений, считающихся нормальными для метрики, наилучшие возможные значения метрики, единицы измерения.

Для создания хороших метрик специалисты в области ИБ используют методику S.M.A.R.T, которая описана в книге K. Vellani «Strategic Security Management». Согласно этой методике, метрика должна быть: конкретная (Specific), измеримая (Measurable), практически применимая (Actionable), значимая (Relevant), своевременная (Timely) [10].

Как говорится в статье В. Григорьевой «Метрики процесса управления инцидентами информационной безопасности» Существует шесть этапов использования метрик: измерение, представление, интерпретация, исследование и диагностирование. *Измерение*: измерение текущего значения метрики выполняется на периодической основе и обычно выполняется в определенный промежуток времени. *Интерпретация*: измеренное значение оценивается в сравнении с пороговым или целевым значением, либо иным сопоставимым значением. Нормальные значения оцениваются на основании исторических или сопоставимых данных. *Расследование*: расследование аномальных результатов измерений в идеале заканчивается выявлением основных причин такого значения метрики. *Представление*: надлежащая визуализация метрики имеет ключевое значение для ее правильной интерпретации. Представление метрик изменяется в зависимости от типа сравнения и распределения ресурсов. Чаще всего используются столбчатые диаграммы, круговые диаграммы и графики. *Диагностирование*: руководителям следует использовать результаты предыдущих этапов для диагностирования ситуации, анализа альтернатив и их последствий, а также для принятия бизнес-решений. [4]

Как правило, для оценки уровня информационной безопасности объекта информатизации используются уже готовые наборы метрик, заданные различными стандартами или составленные экспертами, например: ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006 [2], ГОСТ Р ИСО/МЭК 27004-2011 [3].

Неполнота или избыточность такого набора непосредственно влияет на уровень информационной безопасности. В связи с этим, выбор метрик – это один из наиболее значимых шагов процесса защиты информации [7]. Хорошие метрики информационной безопасности не должны быть основаны на сложных математических вычислениях, работать с ними должно быть комфортно. Но в тоже время они не должны быть тривиальными, чтобы с должной точностью отображать все аспекты информационной системы.

Область информационной безопасности, подобно области риск-менеджмента, является чрезвычайно трудной сферой для задач измерений. Российские и зарубежные эксперты выделяют следующие проблемы в области метрик информационной безопасности.

1. *Проблема важности и необходимости метрики.* Все ли метрики важны и нужны? Ведущий эксперт ИБ России Алексей Лукацкий считает, что не все метрики важны или на что-либо влияют, даже если они посчитаны правильно [5]. Избыточность набора метрик отрицательно влияет на уровень информационной безопасности, поэтому при выборе метрик нужно точно решить, необходима и важна ли данная метрика.

2. *Проблема экспертной оценки.* Многие метрики определяются экспертной оценкой. Это означает, что присутствует субъективное мнение, которое может отличаться от мнения других экспертов. Общей направленностью этих процедур является использование человека как «измерительного прибора» для получения количественных оценок процессов и суждений, которые из-за неполноты и недостоверности имеющейся информации не поддаются непосредственному измерению. Это приводит к тому, что защищенность той ли иной системы нельзя определить однозначно. Полагаем, однако, что данный метод обладает не только недостатками, но и большими достоинствами.

Во-первых, одним из ключевых свойств информации является ее субъективность – зависимость количества и ценности сведений от информационной модели субъекта, получающего сведения. Оценка эксперта зависит от его информационной модели. Так, например, одним из критериев доверия является способность субъекта оценки доверять себе, другим лицам, миру. Поэтому становится очевидным, что субъективности в оценках не избежать, даже если использовать другие методы.

Во-вторых, философский подход к субъективности основан на том, что никакая деятельность «невозможна без связанной с оценками субъективации мира и превращения сущего в тот «простой объект», который может быть преобразован человеком. Человек не должен субъективировать все подряд, иначе «истина бытия» перестанет ощущаться им, и он окажется в зыбком мире собственной рефлексии и фантазии. Вместе с тем человек не может не действовать, и значит, не может не оценивать и не разрушать объективное. Мысли, идущей наперекор ценностям, он постоянно противопоставляет мышление в ценностях. Проблема не в исключении одного из

этих противоположно направленных движений мысли, а в их уравновешивании, в таком сочетании объективации и субъективации мира, которое требуется исторически конкретными условиями человеческого существования» [8]. Исходя из логики этого утверждения, можно сделать вывод о том, что субъективность должна присутствовать в оценках. Субъективность – это императив оценки. В процессе оценки объективное должно соседствовать с субъективным, они должны уравновешивать друг друга.

В-третьих, еще более важным выводом из императива субъективности оценок является факт их культурогенности. Наличие субъективности в оценках – это вопрос трансляции, ретрансляции и поддержания ценностей информационной безопасности в организации. Человек (субъект ДОИБ) выступает измерительным прибором ценностей информационной безопасности в организации. Если мы используем метод оценки человеческого капитала, то такими субъектами оценки становятся все сотрудники организации. Оценка человеческого капитала информационной безопасности основана как на объективных (документы об образовании), так и на субъективных критериях (личностные качества). Поэтому метод экспертных оценок незаменим при оценках ценностно-нагруженных явлений, например, культуры информационной безопасности, информационного мировоззрения, культурного капитала информационной безопасности сотрудников и организации.

3. *Проблема измерения отсутствия инцидентов.* Если мы реализовали самые эффективные средства контроля и управления ИБ, мы можем избежать или уменьшить число серьезных инцидентов безопасности. Далее мы будем последовательно измерять и фиксировать число и серьезность инцидентов. Если эти цифры ниже, чем до начала действия программы по обеспечению ИБ, то можно посчитать это успехом. Но в то же время число или серьезность инцидентов могло снизиться ввиду иных причин, не связанных с действием программы. Если же цифры выше, чем раньше, это не всегда значит, что наши средства контроля и управления неэффективны. Это может означать, что угрозы и воздействия возросли, а мы их не учли.

Практически невозможно абсолютно достоверно и объективно измерить то, что может произойти в будущем, если бы мы не совершенствовали наши средства контроля и управления информационной безопасностью. Поэтому измерения ИБ необходимо вывести из действия общекорпоративной модели системы планирования и отчетности, потому что это специфичная задача, и она не полностью отвечает методологии прогнозных плановых показателей, применимых к производственной сфере. Решения по вопросам измерений должны рассматриваться отдельно. Основные вопросами измерения и контроля в СМИБ: Что мы собираемся измерять? Как мы будем осуществлять измерения? Как мы будем осуществлять отчетность? Как мы должны реализовывать систему измерений и отчетности? [1].

4. *Проблема построения программы выбора метрик.* Одной из важнейших задач является задача определения алгоритма построения про-

граммы выбора метрик для обеспечения информационной безопасности в системе. Так, разные программы построения метрик безопасности, используемые за рубежом, приведены в книге A. Sademies «Process Approach to Information Security». Программа построения метрик безопасности, разработанная S.C. Payne в 2001 году, включает 7 этапов: определение целей и задач измерений; определение показателей метрик; разработка стратегии для генерации метрик; определение контрольных точек; обработка метрик; создание плана действий; пересмотр и совершенствование рабочего цикла. Другой программой выбора метрик является программа NIST, разработанная Swanson в 2003. Она состоит из 4 независимых компонентов: 1) анализ необходимых метрик в данной ситуации; 2) количественное представление показателей метрик; 3) организация политики безопасности; 4) совершенствование системы менеджмента информационной безопасности [9].

В России нет какой-то устоявшейся модели выбора метрик информационной безопасности, поэтому специалисты в области защиты информации руководствуются собственным опытом и здравым смыслом для выбора метрик оценки того или иного аспекта информационной безопасности. В целом российские специалисты руководствуются примерно теми же принципами и алгоритмами, что и зарубежные специалисты, придерживаясь также стандартами ISO 27004 и NIST.

Таким образом, проблемами метрик информационной безопасности являются: необходимость метрик; проблемы, связанные с экспертной оценкой; проблема измерения «отсутствия инцидентов»; проблемы выбора метрик. В ходе анализа выявлено, что, несмотря на все множество систем метрик, они сводятся к тому, что в каждой конкретной ситуации необходима своя метрика, нередко прибегающая к экспертной оценке. Все эти метрики имеют ряд особенностей, поэтому довольно проблематично создать единую систему, которая бы оценивала защищенность объекта в целом, а не отдельные ее критерии.

Библиографический список

1. Андрианов, В.В. Обеспечение информационной безопасности бизнеса / В.В. Андрианов, С.Л. Зефиров, В.Б. Голованов, Н.А. Голдуев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Альпина Паблишерз, 2011. – 373 с.

2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2006. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования. – М., 2006.

3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27004-2011 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент информационной безопасности. Измерения. – М., 2011.

4. Григорьева, В. Метрики процесса управления инцидентами информационной безопасности [Электронный ресурс] / В. Григорьева, Д. Тимофеев // Национальный горный университет. – 11 июня 2013. – URL: http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/1846.

5. Лукацкий, А. Все ли метрики нужны? Все ли метрики важны? [Электронный ресурс] / А. Лукацкий // Бизнес без опасности. Блог Алексея Лукацкого. – 18 апреля 2012. – URL: http://lukatsky.blogspot.ru/2012/04/blog-post_9492.html.

6. Лукацкий, А. Как посчитать эффективность информационной безопасности? [Электронный ресурс] / А. Лукацкий // Cisco Systems. – URL: http://www.cisco.com/web/UA/securityforum/presentations/10_Security_Measurement.pdf.

7. Рудакова, С.А. Концепция выбора метрик информационной безопасности / С.А. Рудакова // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2013. – № 3 (22). – С. 162–166.

8. Философия: Энциклопедический словарь / Под ред. А.А. Ивина. – М.: Гардарики, 2004.

9. Sademies, A. Process Approach to Information Security. Metrics in Finnish Industry and State Institiyions / A. Sademis. – Otamedia, Espoo 2004. – С. 37–38.

10. Vellani K. Strategic Security Management: A Risk Assessment Guide for Decision Makers / K. Velany. – Elsevier, Oxford 2007. – С. 6.

К содержанию

УДК 004.056 + 657.6:004.056 + 002:004.056

ОЦЕНКА ЛИЧНЫХ КАЧЕСТВ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЗАЩИТЕ ИНФОРМАЦИИ КАК СУБЪЕКТОВ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Л.В. Астахова, Д.В. Калмыкова

В статье представлены результаты исследования готовности будущих специалистов по защите информации к аудиту как ключевому процессу управления информационной безопасностью по критерию «личные качества» на основе ГОСТ Р ИСО/МЭК 27007-2014 – Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Руководства по аудиту систем менеджмента информационной безопасности.

Ключевые слова: специалист, защита информации, личные качества, аудит.

В процессе обеспечения информационной безопасности организации важным является ее аудит, который позволяет получить объективные качественные и количественные оценки ее текущего состояния. Качество аудита определяется компетентностью аудитора, в которую входят личностные качества. Этот вопрос отражен в ГОСТ Р ИСО/МЭК 27007-2014 – Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Руководства по аудиту систем менеджмента информационной безопасности (вводится с 01.06.2015) [1]. Названный стандарт в дополнение к указа-

ниям, содержащимся в ГОСТ Р ИСО 19011– 2012 – Руководящие указания по аудиту систем менеджмента качества [2], предоставляет руководство по менеджменту программы аудита системы менеджмента информационной безопасности, по проведению аудитов и по определению компетентности аудиторов системы менеджмента информационной безопасности.

Исходя из содержания п. 7.2.2 стандарта, аудиторы должны проявлять профессиональное отношение и личные качества во время проведения аудита, включающие в себя:

1. Этичность – честность, правдивость, искренность и благоразумие.
2. Открытость и непредубежденность – желание и готовность воспринимать альтернативные идеи и точки зрения.
3. Дипломатичность – тактичность при обращении с людьми.
4. Наблюдательность – активное наблюдение за окружающей обстановкой и видами деятельности.
5. Восприимчивость – осведомленность и способность к пониманию ситуаций.
6. Универсальность – возможность быстро адаптироваться к различным ситуациям.
7. Упорство – настойчивость, нацеленность на достижение целей.
8. Решительность – своевременное принятие решений на основе логических соображений и анализа.
9. Самостоятельность – действовать и выполнять свои функции независимо, результативно, взаимодействуя с другими.
10. Принципиальность – готовность действовать ответственно и этично даже в тех случаях, когда эти действия могут не встречать одобрения или приводить к разногласиям или конфронтации.
11. Готовность к самосовершенствованию – обучение в процессе работы, стремление к достижению наивысших результатов при проведении аудитов.
12. Высокая культура поведения – соблюдение и уважительное отношение к культурным ценностям проверяемой организации.
13. Умение сотрудничать и работать с людьми – результативное взаимодействие с другими, включая членов группы по аудиту и персонал проверяемой организации [1].

Согласно п.7.4., оценку аудитора следует проводить, используя два или несколько методов из перечисленных: анализ записей, обратная связь, собеседование, наблюдение, тестирование, анализ деятельности после аудита [1]. Одним из самых распространенных методов является тестирование, которое мы использовали для оценки личных качеств будущих аудиторов информационной безопасности – студентов 4 курса, обучающихся по направлениям 090900 «Информационная безопасность» и 090303 «Информационная безопасность автоматизированных систем». Исследование было проведено в апреле 2015 года.

Для тестирования использовался 16-факторный личностный опросник Реймонда Кеттелла [3]. Факторы, оцениваемые этой психодиагностической методикой, были соотнесены с вышеперечисленными критериями следующим образом:

1. Этичность – фактор G.
2. Открытость и непредубежденность – фактор Q1.
3. Дипломатичность – фактор N.
4. Наблюдательность (была оценена другим тестом).
5. Восприимчивость – фактор Q1.
6. Универсальность – фактор C.
7. Упорство – фактор G.
8. Решительность – фактор G.
9. Самостоятельность – фактор Q2.
10. Принципиальность – фактор G.
11. Готовность к самосовершенствованию – фактор Q1.
12. Высокая культура поведения – фактор N.
13. Умение сотрудничать и работать с людьми – фактор A.

Итого в оценке участвовало 6 факторов опросника Кеттелла: G, Q1, N, C, Q2, A и результаты визуального теста на наблюдательность. Результаты считались удовлетворяющими требуемым, если находились в следующих диапазонах:

- для факторов, оцениваемых по методике Кеттелла, – в диапазоне 6–10 стенов;
- для теста на наблюдательность – до 15 минут.

Процент удовлетворительных результатов по каждому оцениваемому фактору распределился следующим образом: G – 20 %; Q1 – 80 %; N – 50 %; C – 70 %; Q2 – 40 %; A – 30 %; Наблюдательность – 60 %.

Представим данные в графическом виде (рис. 1).

Очевидно, что одновременно по всем оцениваемым факторам требованиям не удовлетворяет ни один из испытуемых, т.е. никто из них к аудиту информационной безопасности в организации пока не готов.

Возвращаясь к требуемым личным качествам, описанным в пункте 7.2.2 ГОСТ Р ИСО/МЭК 27007-2014 – Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Руководства по аудиту систем менеджмента информационной безопасности, увидим следующее распределение удовлетворительных результатов:

1. Этичность – 20 %
2. Открытость и непредубежденность – 80 %
3. Дипломатичность – 50 %
4. Наблюдательность – 60 %
5. Восприимчивость – 80 %
6. Универсальность – 70 %

7. Упорство – 20 %
8. Решительность – 20 %
9. Самостоятельность – 40 %
10. Принципиальность – 20 %
11. Готовность к самосовершенствованию – 80 %
12. Высокая культура поведения – 50 %
13. Умение сотрудничать и работать с людьми – 30 %

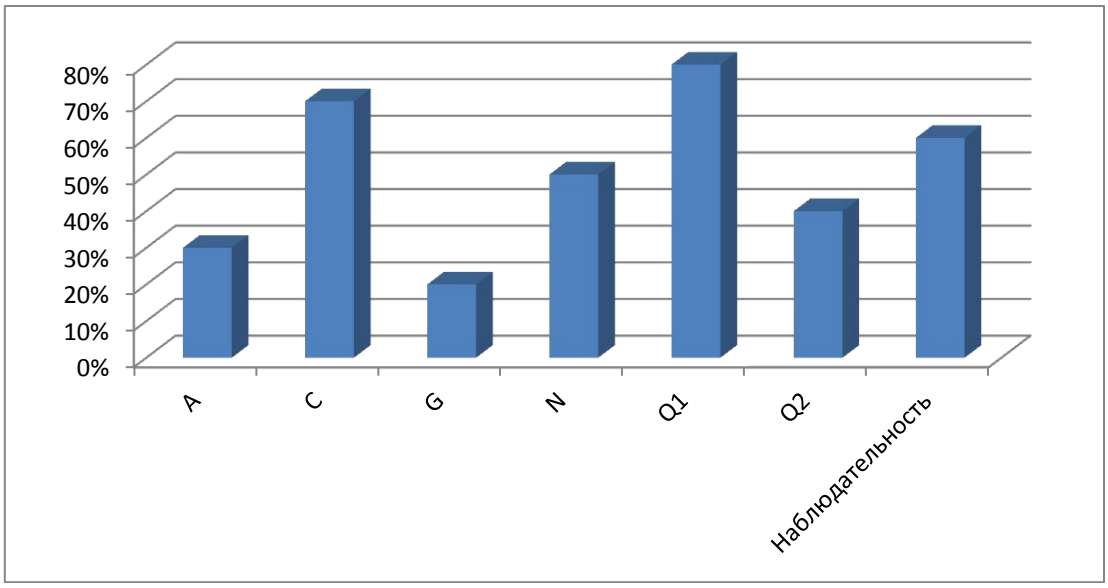


Рис. 1. Результаты оценки личных качеств студентов по факторам Р. Кеттелла

Представим это распределение в графическом виде (рис. 2.).

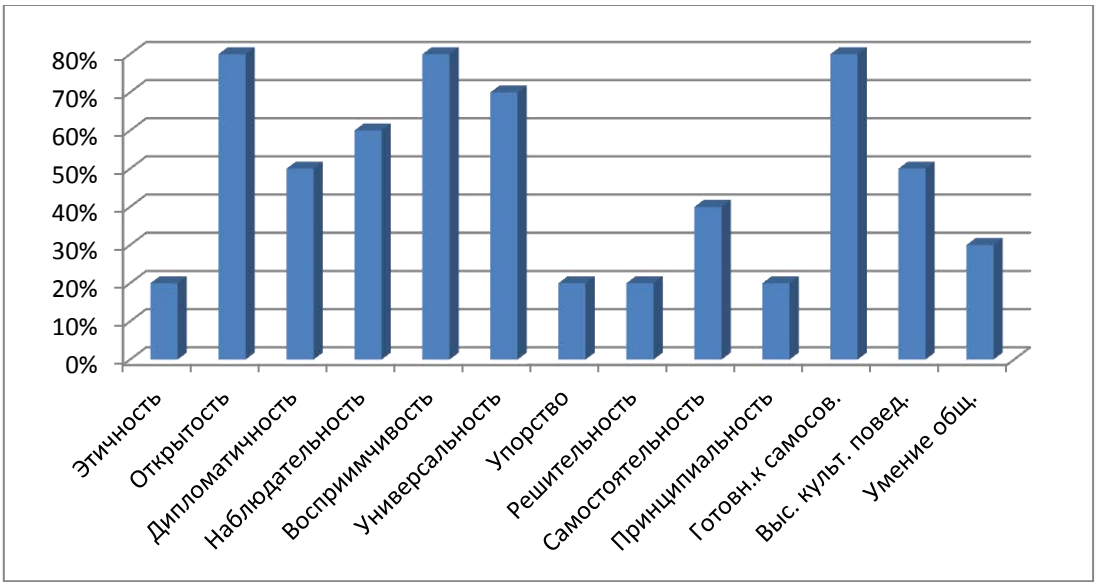


Рис. 2. Результаты оценки личных качеств студентов, требуемых для деятельности по аудиту СМИБ по международным стандартам

Как видим, самыми уязвимыми личными качествами у будущих специалистов по информационной безопасности оказались: этичность, упорство, решительность и принципиальность. Полагаем, что этот результат может быть использован в процессе подготовки кадров по защите информации в вузах. Однако, поскольку согласно п.7.4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27007–2014 оценку аудитора следует проводить, используя два или несколько методов, на следующем этапе нашего исследования считаем целесообразным использовать наблюдение в ходе ролевых игр по аудиту СМИБ в рамках изучения специальных дисциплин организационного профиля.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27007-2014 – Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Руководства по аудиту систем менеджмента информационной безопасности. – М., 2014.
2. ГОСТ Р ИСО 19011-2011 – Руководящие указания по аудиту систем менеджмента. – М., 2011.
3. Большая книга тестов / Сост. И.А. Зайцева. – М.: РИПОЛ классик, 2009. – 256 с.

К содержанию

УДК 004.056 + 002:004.056

ТИПОВАЯ МОДЕЛЬ ПОЛИТИКИ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ОРГАНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ

Л.В. Астахова, Е.Д. Середкина

В статье обоснована концепция построения и расширения структуры Типовой модели Политики управления информационной безопасностью на основе международных стандартов и зарубежных подходов к их внедрению с учетом убеждения сотрудников в достижении целей.

Ключевые слова: информационная безопасность, управление, политика, убеждение, стандарт.

Построение системы менеджмента информационной безопасности (СМИБ) позволяет обеспечить конфиденциальность, целостность и доступность информации за счет применения процессов управления [1]. Основными документами, регламентирующим построение СМИБ на предприятии, являются международный стандарт ISO/IEC 27001:2013 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования» [1] и

российский стандарт, являющийся аналогом международного, ГОСТ ИСО/МЭК 27001-2006 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования» [2].

Согласно стандартам ISO/IEC 27001:2005 и ГОСТ ИСО/МЭК 27001-2006 разработка любой СМИБ строится по методологии PCDA, известной как цикл Шухарта: Plan (Планирование) – Check (Испытание) – Do (Действие) – Act (Поддержка и совершенствование.). Методология PDCA представляет собой простейший алгоритм действий руководителя по управлению информационной безопасностью. В новой редакции стандарта ISO/IEC 27001:2013 нет требований к использованию подхода PCDA, поэтому может использоваться как подход PCDA, так и любой другой. Полагаем, однако, что этот подход, положенный в основу международных стандартов менеджмента качества, вполне жизнеспособен в сфере управления информационной безопасностью. Однако содержание каждой из четырех фаз требует уточнения.

Так, например, в книге «How to Achieve 27001 Certification. An Example of Applied Compliance Management» описаны практические советы по построению системы менеджмента информационной безопасности. В число этих советов зарубежные специалисты включают в фазу поддержки и совершенствования такие действия, как обсуждение результатов, убеждение в достижении целей [3]. Заметим: не принуждение, а убеждение.

Убеждение и принуждение касаются различных проявлений человеческой деятельности: убеждение связано с сознанием, принуждение – с поведением. Поэтому убеждение – объект исследования в психологии. В отличие от принуждения, которое укоренилось в управленческих технологиях, убеждение организовано в воспитательных практиках. [4, с. 12]. Из этого следует, что включение убеждения сотрудников в достижении целей информационной безопасности организации расширяет традиционные рамки управления информационной безопасностью, требует интеграции управления информационной безопасностью с воспитательной работой в этой организации. Очевидно, что если воздействовать на сознание сотрудника с помощью убеждения, то у него появляются внутренние моральные стимулы и потребность в правомерном поведении соблюдать правила информационной безопасности, а это – уже вопросы культуры информационной безопасности [4, с. 12], индивидуального и корпоративного культурного капитала информационной безопасности, доверия к сотрудникам организации как пользователям информационной системы.

Из сказанного следует, что Политика управления информационной безопасностью организации, кроме процессов управления, составляющих содержание всех четырех фаз, должна органично включать процессы планирования, организации, контроля и совершенствования деятельности по формированию убеждений сотрудников в достижении целей организации,

развитию их культуры и культурного капитала информационной безопасности. Разработанная нами Типовая Политика управления информационной безопасностью организации включает названные компоненты.

Библиографический список

1. ISO/IEC 27001:2013 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования. – М., 2013.
2. Р ИСО/МЭК 27001-2006 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования. – М., 2006.
3. Arnason S. T., Willett K. D. How to Achieve 27001 Certification: An Example of Applied Compliance Management: Auerbach Publications, 2008. – 352 p.
4. Осинцев, Д.В. Убеждение и принуждение в системе государственного управления: корректна ли классификация? / Д.В. Осинцев // Полицейское право. – 2008. – № 1 (11). – С. 9–12.
5. Astakhova, L.V. The concept of the information-security culture / L.V. Astakhova // Scientific and Technical Information Processing. – 2014. – Т. 41. – № 1. – С. 22–28.

К содержанию

УДК 002:004.056 +005.95:002:004.056

МОДЕЛЬ ПОЛИТИКИ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕДОМЛЕННОСТЬЮ СОТРУДНИКОВ ОРГАНИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Л.В. Астахова, Н.Л. Ульянов

На основе международных стандартов по управлению информационной безопасностью в статье определено понятие осведомленности сотрудников в области информационной безопасности, а также обоснована модель Политики управления осведомленностью сотрудников в области информационной безопасности.

Ключевые слова: осведомленность, информационная безопасность, управление, политика, модель.

Типовая Политика осведомленности в области ИБ сотрудников организации – это ключевой документ, определяющий основополагающие принципы и порядок создания и изменения программы повышения осведомленности персонала. В то время как программа осведомленности может изменяться довольно часто в зависимости от влияния внешних условий, на политику большинство изменений внешних условий не должно оказывать влияния. Политика должна включать основные аспекты программы повышения осведомленности, поэтому ее оптимальная структура выглядит следующим образом:

1. Термины и определения.
2. Общие положения.
3. Осведомительные материалы.
4. Потребность в обучении и подготовке персонала.
5. Планирование процесса обучения.
6. Организация процесса обучения.
7. Контроль.
8. Совершенствование.
9. Ответственность.

В разделе 1 дается определение понятия осведомленность в области информационной безопасности сотрудников организации. К сожалению, ни в одном документе нет четкого определения данного понятия. Анализ стандартов ISO/IEC 27002:2013 [1], NIST SP800-50 [2], СТО БР ИББС 1.0-2014 [3] показал, что в них закреплены следующие принципы осведомленности:

– понимание сотрудником своих ролей и должностных обязанностей [2];

– понимание сотрудником требований и процедур информационной безопасности, принятые в организации [1] [2] [3];

– понимание сотрудником общих вопросов использования ИТ-ресурсов и обеспечения информационной безопасности [2];

– понимание сотрудником значимости и важности деятельности работников для обеспечения ИБ организации [1] [3];

– понимание сотрудником своей персональной ответственности за свои действия и бездействие по отношению к безопасности конфиденциальной информации [1].

Опираясь на названные принципы, мы сформулировали следующее определение:

Осведомленность сотрудника в области информационной безопасности – это наличие у сотрудника знаний об общих вопросах обеспечения информационной безопасности и понимание им своих ролей и обязанностей, как должностных, так и по обеспечению информационной безопасности, и средств выполнения этих обязанностей, а также осознание им важности соблюдения режима информационной безопасности и персональной ответственности за его несоблюдение.

Раздел 2 должен быть построен с учетом того, что:

– политика разработана для повышения уровня информационной безопасности предприятия;

– в организации должна быть создана и поддерживаться программа повышения осведомленности в области информационной безопасности;

– целью программы повышения осведомленности является ознакомление сотрудников с их обязанностями, касающихся вопросов информационной безопасности, и средствами выполнения этих обязанностей;

– программа повышения осведомленности должна быть установлена в соответствии с существующими политиками организациями и средствами обеспечения информационной безопасности, а так же учитывать особенности деятельности организации, а также должна планироваться с учетом роли сотрудников в организации.

В разделе 3 должны содержаться сведения о том, какие осведомительные материалы должны быть внедрены (будут это постеры, ручки или всплывающие сообщения на мониторе и т.д.), кто будет создавать осведомительные материалы, как часто следует их обновлять.

В разделе 4 необходимо описать условия, наличие которых определяет необходимость прохождения сотрудником обучения. Такими условиями являются: получение новой роли и обязанностей, важные изменения локальных, нормативных или иных актов, наступление срока переобучения, негативный результат проверки сотрудника. В этом же разделе нужно распределить обязанности по контролю.

В разделе 5 необходимо описать аспекты, которые стоит учитывать при планировании программы обучения [3, п. 3.3]:

– распределение ролей и обязанностей по разработке программ обучения;
– распределение ролей и обязанностей по проведению обучения;
– распределение сотрудников по группам;
– источники материалов для программы обучения;
– определение перечня тематик для каждой группы;
– методы обучения (аудиторные, дистанционные, самостоятельные);
– перечень необходимой документации для регистрации событий прохождения обучения и оценки результатов обучения.

В Раздел 6 должна быть включена информация о порядке регистрации событий прохождения обучения, фиксации результатов прохождения обучения работников [2, п 8.9]; определен порядок распределения ролей и обязанностей для выполнения этих функций; должен быть описан порядок обработки случаев пропуска сотрудниками занятий, неудовлетворительных результатов прохождения обучения.

В разделе 7 определяется порядок контроля уровня осведомленности персонала и соблюдения политики осведомленности: распределены роли и обязанности по контролю соблюдения политики осведомленности, описаны методы контроля уровня осведомленности персонала. Так, методами контроля могут быть:

– явные проверки (опросы, тесты, интервью, внешний или внутренний аудит) [3, п. 6.2];

– неявные проверки (телефонные звонки и электронные письма провокационного характера с использованием приемов социальной инженерии) [2, п. 7.2.6];

– сбор и анализ статистики инцидентов информационной безопасности в организации [1, п. 7.2.2].

В разделе 8 должны быть описаны условия, при которых необходимо производить совершенствование программы повышения осведомленности. Такими условиями могут быть отсутствие положительной динамики изменения количества инцидентов информационной безопасности в течение длительного периода после внедрения программы повышения осведомленности; существенное изменение законодательства, локальных или иных актов, требующее немедленного пересмотра программы и другие.

В разделе 9 определяется ответственность. Ответственность должна быть назначена как за несоблюдение требований информационной безопасности, так и за невыполнение обязанностей по разработке программы обучения, регистрации событий прохождения обучения и др.

Таким образом, сформулированное нами понятие осведомленности сотрудников в области информационной безопасности позволило смоделировать Типовую политику управления осведомленностью сотрудников в области информационной безопасности. Она может быть использована для повышения уровня информационной безопасности в организации любой формы собственности и отраслевой принадлежности.

Библиографический список

1. ISO/IEC 27002:2013.Information technology.Security techniques.Code of practice for information security controls.

2. СТОБРИББС-1.0-2014.СтандартБанкаРоссии. Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Общие положения. – М., 2014.

3. NIST SP 800-50. Building an Information Technology Security Awareness and Training Program.

К содержанию

УДК 004.056 + 002:004.056

ДОВЕРИЕ К ПОЛЬЗОВАТЕЛЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ КАК КОМПОНЕНТ ДОВЕРИЯ К ЕЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Л.В. Астахова

В статье обоснована актуальность использования категории «доверие» к оценке кадровой безопасности информационной системы. Охарактеризован подход к применению оценочных уровней доверия, указанных в ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3-2013 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 3. Компоненты доверия к безопасности. Разработан подход к оценке доверия к кадровой безопасности информационной системы на основе достижений гуманитарных наук.

Ключевые слова: доверие, кадровая безопасность, информационная безопасность, оценка, пользователь, информационная система.

Человек как важнейшее звено информационной системы серьезно недооценивается в практике обеспечения защиты информации, о чем свидетельствует статистика. За I-е полугодие 2014 года Аналитическим центром InfoWatch зарегистрировано 654 случая утечки конфиденциальной информации, что на 32 % больше, чем за аналогичный период 2013 г. При этом в 71 % случаев виновниками утечек информации были сотрудники компаний – настоящие или бывшие (69,2 % и 1,4 % соответственно) [1].

Причина такого положения дел видится нам в принципиальной сложности формализации процессов идентификации и оценки кадровых уязвимостей информационной безопасности и на этапе проектирования информационной системы (ИС), и на этапе ее эксплуатации. А это значит, что в решении проблемы сотрудников компаний как виновников инцидентов информационной безопасности главным императивом деятельности выступает кадровая безопасность.

Полагаем, что высоким эвристическим потенциалом в решении этой проблемы является подход, связанный с категорией доверия, используемой в сфере информационной безопасности. Согласно ISO/IEC 15408-3:2008 «Information technology – Security techniques – Evaluation criteria for IT security – Part 3. Security assurance components» [2] и идентичного ему ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3-2013 «Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 3. Компоненты доверия к безопасности», «доверие – основа для уверенности в том, что продукт ИТ отвечает целям безопасности» [3].

Традиционным способом достижения доверия является оценка (активное исследование) продукта информационных технологий (ИТ), который должен соответствовать определенным критериям безопасности. Названный стандарт выделяет **7 оценочных уровней доверия (ОУД)** для оценки уровня доверия к объекту оценки (ОО). Каждый последующий ОУД представляет более высокое доверие, чем любой из предыдущих. Увеличение доверия от предыдущего ОУД к последующему достигается заменой какого-либо компонента доверия иерархичным компонентом из того же семейства доверия (т.е. увеличением строгости, области охвата и/или глубины оценки) и добавлением компонентов из других семейств доверия (т.е. добавлением новых требований).

Оценочные уровни доверия состоят из определенной комбинации компонентов доверия, которые сгруппированы в 6 классов доверия к безопасности ИТ: разработка, руководства, поддержка жизненного цикла, оценка задания по безопасности (ЗБ), тестирование, оценка уязвимостей. Методы их оценки включают в себя: анализ и проверку процесса (процессов) и процедуры (процедур); проверку того, что процесс (процессы) и процедура (процедуры) действительно применяются; анализ соответствия между представлениями проекта ОО; анализ соответствия каждого представления проекта ОО требованиям; верификацию доказательств; анализ руководств; анализ разработанных функциональных тестов и предоставленных результатов; независимое функциональное тестирование; анализ уязвимостей, включающий предположения о недостатках; тестирование проникновения.

Оценочный уровень доверия 1 (ОУД1) предусматривает функциональное тестирование; ОУД2 – структурное тестирование; ОУД3 – методическое тестирование и проверку; ОУД4 – методическое проектирование, тестирование и углубленную проверку; ОУД5 – полуформальное проектирование и тестирование; ОУД6 – полуформальную верификацию и тестирование проекта; ОУД7 – формальную верификацию проекта и тестирование.

Согласно логике стандарта, можно предположить, что человек как пользователь информационной системы организации должен выступать объектом оценки на всех оценочных уровнях доверия к безопасности информационной системы.

Функциональное тестирование (ОУД1) ИС как объекта оценки должно предусматривать: анализ Руководств различных категорий пользователей по эксплуатации (AGD_OPE.1); установление требований кадровой безопасности в задании по безопасности (ASE_REQ.1); анализ и обзор кадровых уязвимостей (AVA_VAN.1) и др. Это означает значимое увеличение доверия по сравнению с продуктом ИТ, не подвергавшимся оценке.

Структурное тестирование (ОУД2) ИС как объекта оценки должно предполагать: тестирование кадрового обеспечения ИС и анализ кадровых уязвимостей разработчиком (помимо изучения общедоступных источников информации), а также независимое тестирование, основанное на более де-

тализированных спецификациях ОО. Это демонстрирует способность противостояния ИС попыткам проникновения нарушителей, обладающих базовым потенциалом нападения.

Методическое тестирование и проверка (ОУД3) ИС как объекта оценки должны предполагать: более полное покрытие тестированием функциональных возможностей и механизмов кадровой безопасности и/или процедур кадровой безопасности. Это демонстрирует способность противостояния ИС попыткам проникновения нарушителей, обладающих базовым потенциалом нападения.

Методическое проектирование, тестирование и углубленная проверка (ОУД4) ИС как объекта оценки должны предполагать: более детальное описание проекта, представление реализации для всех ФБО и улучшенные механизмы и/или процедуры по обеспечению кадровой безопасности. Это демонстрирует способность противостояния ИС попыткам проникновения нарушителей, обладающих усиленным базовым потенциалом нападения.

Полуформальное проектирование и тестирование (ОУД5) ИС как объекта оценки должны предполагать: полуформальное описание проекта, более структурированную (и, следовательно, лучше анализируемую) архитектуру и улучшенные механизмы и/или процедуры кадровой безопасности. Это демонстрирует способность противостояния ИС попыткам проникновения нарушителей, обладающих умеренным потенциалом нападения.

Полуформальная верификация и тестирование проекта (ОУД6) ИС как объекта оценки должны предполагать: проведения более всестороннего анализа, структурированное представление реализации, более стройную структуру (например, с разбиением на уровни), более всесторонний независимый анализ уязвимостей, а также улучшенное управление конфигурацией и улучшенный контроль среды разработки. Это демонстрирует способность противостояния ИС попыткам проникновения нарушителей, обладающих высоким потенциалом нападения.

Формальная верификация проекта и тестирование (ОУД7) ИС как объекта оценки должны предполагать: тестирование, основанное на функциональной спецификации и представлении реализации, полное независимое подтверждение результатов тестирования разработчиком и независимый анализ кадровых уязвимостей, демонстрирующие способность противостояния ИС попыткам проникновения нарушителей с Высоким потенциалом нападения. Это требует более всестороннего анализа, использующего формальные представления и формальное соответствие, а также всестороннее тестирование кадровой безопасности информационной системы.

Из сказанного следует, что система кадровой безопасности – это обязательный элемент информационной безопасности организации, а доверие к пользователям информационной системы организации – неотъемлемый

компонент доверия к ее информационной безопасности. Стандартная структура оценочных уровней доверия к безопасности ИС содержит в себе потенциальные возможности для оценки кадровой безопасности, однако в теории и практике информационной безопасности этот вопрос не разработан.

Примечателен факт, что в ИСО/МЭК 15408 не отрицаются и не комментируются относительные достоинства других способов получения доверия, поскольку исследования альтернативных путей достижения доверия продолжаются. По словам разработчиков стандарта (п.5.2.), альтернативные подходы могут в дальнейшем быть включены в ИСО/МЭК 15408, который структурно организован так, что предусматривает такую возможность [3].

В целях развития закрепленных стандартом оценочных уровней доверия к безопасности ИС считаем необходимым разработку и включение в действующий стандарт системы оценки доверия к кадровой безопасности ИС. Считаем также, что адекватной мерой противодействия растущим объемам ИБ-инцидентов по вине сотрудников организации является разработка отдельного стандарта по системе оценки доверия к кадровой безопасности ИС.

Для разработки названной системы нецелесообразно опираться только на техническое знание. Необходимо использовать все богатство накопленных гуманитарными науками достижений в изучении доверия. К таким наукам относятся философия, психология, экономика и др.

Анализ российских и зарубежных источников по проблеме доверия к технике показал, что большинство исследователей осознают большое значение человеческого фактора для доверия к технике, высокую роль компетентности самого пользователя / оператора, а также компетентности других людей (создателей техники, смежников и т.д.).

Основой системы могут быть основные структурные элементы модели доверия / недоверия к социотехническим системам, разработанной российским экспертом А.Б. Купрейченко. К этим элементам автор относит:

• доверие / недоверие к принципам организации и правилам функционирования системы;

• доверие / недоверие к отдельным функциональным блокам (иерархическим уровням, материально-технической базе, технологиям, отдельным узлам и элементам);

• доверие / недоверие к различным категориям людей, обеспечивающим функционирование системы (создателям, организаторам, модераторам системы и другим заинтересованным сторонам);

• доверие / недоверие к себе как профессионалу или пользователю;

• доверие / недоверие к условиям функционирования системы.

В качестве основных детерминантов доверия / недоверия социальным и социотехническим системам автор называет личностные и социально-групповые факторы: базовое доверие / недоверие к миру, к другим людям, к себе, общее отношение к социальному и техническому прогрессу; интернальность, ответственность, склонность к риску, отношение к новизне и т.д. Кроме того, мы согласны с ученым и в том, что весомый вклад в проблему вносят культурно-исторические, социально-экономические и научно-технические факторы, в том числе культура доверия / недоверия в обществе и их уровень. [4, с. 435–436].

Нетрудно заметить, что перечень компонентов доверия к ИС как к социотехнической системе в рамках экономического подхода гораздо шире, чем идентичный перечень, представленный в стандарте ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3-2013. Это позволяет говорить о необходимости расширения критериев оценки доверия к кадровой безопасности ИС за счет включения в их состав: 1) оценки доверия субъекта оценки (оценщика): к различным категориям пользователей ИС; к самому себе; к условиям функционирования ИС; 2) оценки доверия пользователей ИС: друг к другу; к себе; к миру, научно-техническому прогрессу; 3) оценки уровня культуры доверия в организации и др.

Другие ученые считают, что подход к доверию технике как психологическому отношению предполагает выделение в его структуре когнитивной, эмоционально-оценочной и поведенческой компонент, которые, на наш взгляд, также могут играть роль компонентов доверия к кадровой безопасности информационной системы. Когнитивная компонента включает знание о надежности работы техники; представление о вероятности ее работы без сбоев и отказов в разных условиях и при решении разных задач; представление о мере освоенности техники ее пользователями. Эмоциональная компонента содержит эмоциональную оценку степени уверенности в работе техники, а также степени уверенности в своих возможностях управления техникой. Поведенческая компонента предусматривает оценку готовности к выполнению определенных действий, обеспечивающих эффективное выполнение профессиональных задач в разных условиях [4, с. 465].

В основу системы оценки доверия к ИС могут быть также положены три группы факторов, влияющие на организационное доверие, выделенные B. Uzzi:

- организационные факторы (характеристики организации) – структура, политика организации в отношении персонала, организационная культура;
- факторы отношений (характеристики ситуации) – первичное взаимодействие, ожидания, «стоимость обмена»;
- индивидуальные факторы (личностные характеристики субъекта доверия) – склонность к доверию, самоэффективность, ценности [5].

Без сомнения, названные факторы должны исследоваться в процессе оценки доверия к кадровой безопасности ИС.

Таким образом, пользователь ИС как виновник инцидентов информационной безопасности – проблема кадровой безопасности этой системы. Кадровая безопасность является императивом деятельности по обеспечению информационной безопасности, а потому важнейшим объектом оценки. Высоким эвристическим потенциалом в решении этой проблемы является подход, связанный с категорией доверия, используемой в сфере информационной безопасности по отношению к ИС. Оценочные уровни доверия к безопасности ИС должны быть дополнены компонентами доверия к кадровой безопасности. Целесообразна также разработка специального стандарта по критериям оценки доверия к кадровой безопасности информационной системы.

Библиографический список

1. Глобальное исследование утечек конфиденциальной информации в I-м полугодии 2014 года. – URL: http://www.infowatch.ru/report2014_half.

2. ISO/IEC 15408-3:2008 «Information technology – Security techniques – Evaluation criteria for IT security – Part 3. Security assurance components». – URL: http://www.iso.org/iso/ru/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=46413.

3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3-2013 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 3. Компоненты доверия к безопасности. – М.: Стандартинформ, 2014. –151 с.

4. Доверие и недоверие в условиях развития гражданского общества / отв. ред. А.Б. Купрейченко, И.В. Мерсияновой. – М.: Издательский дом НИУ ВШЭ, 2013. – 564 с.

5. Uzzi B. Social Structure and Competition in Interfirm Networks: The Paradox of Embeddedness // Administrative Science Quarterly. – 1997. – Vol. 42. – No. 1. – P. 35–67.

К содержанию

УДК 004.056 + 005.962:002:004.056

ПОНЯТИЕ И СТРУКТУРА УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНЦИИ СПЕЦИАЛИСТА ПО ЗАЩИТЕ ИНФОРМАЦИИ В ОБЛАСТИ КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Л.В. Астахова, А.А. Томилов

В статье обосновано понятие управленческой компетенции специалиста по защите информации в области кадровой безопасности на основе парадигмы защищенного развития как парадигмы безопасности, социотехнического и информационного характера управления информационной безопасностью, специфики базовых процессов деятельности по обеспечению защиты информации.

Ключевые слова: кадровая безопасность, управление, компетенция, защита информации, специалист.

В одной из наших публикаций обосновано, что кадровая безопасность организации должна обеспечиваться с позиций интегративной парадигмы информационной безопасности – парадигмы защищенного развития. Кадровая безопасность – это определенное и контролируемое организацией единство ее защищенности от кадровых угроз и развития ее человеческого капитала в целях развития конкурентоспособности. Определение этого единства и условий его реализации является важнейшей целью организации. А это значит, что система кадровой безопасности имеет двуединую цель: обеспечение защищенности организации от кадровых угроз и развитие ее человеческого капитала [3].

Полагаем, что объект управления кадровой безопасностью в контексте защиты информации может быть еще более расширен: от человеческого капитала – до культурного капитала информационной безопасности. Под культурным капиталом информационной безопасности мы понимаем все используемые организацией культурные ресурсы, которые накапливают сотрудники организации и организация в целом как отправители и получатели информации в процессе информационного взаимодействия (базовые ценности, нормы, принципы, интеллектуальные, морально-нравственные и социальные качества, ценностно-ориентированные модели поведения). Именно эти ресурсы определяют способность организации к развитию информационной деятельности, в процессе которой организация определяет и контролирует единство существования и развития информационных объектов в их когнитивных и коммуникационных проявлениях, и позволяют организации получать дополнительные социально-экономические выгоды. В структуру культурного капитала информацион-

ной безопасности мы включили гуманистический и интеллектуальный (человеческий и структурный) капитал [1].

Учитывая специфику объекта управления кадровой безопасностью, социотехнический и информационный характер управления информационной безопасностью, специфику базовых процессов деятельности по обеспечению защиты информации, а также общепринятые подходы к компетенции как интегральному свойству личности, обеспечивающему определенные способности, определяем управленческую компетенцию специалиста по защите информации следующим образом. Управленческая компетенция специалиста по защите информации – это интегральное свойство его личности, обеспечивающее его способность к информационной деятельности по определению целей, выбору способов влияния и оказания его на информационную безопасность организации для обеспечения конфиденциальности, целостности и доступности информации в условиях информационных угроз и уязвимостей и с учетом прогнозирования последствий утраты и утечки защищаемой информации [2, с. 9].

Основываясь на вышеприведенном определении кадровой безопасности, а также определении управленческой компетенции специалиста по защите информации, сформулируем определение компетенции управления кадровой безопасностью специалиста по защите информации.

Управленческая компетенция специалиста по защите информации в области кадровой безопасности – это интегральное свойство его личности, обеспечивающее способность к деятельности по определению целей, выбору способов влияния и оказания его на сотрудников организации для развития культурного капитала организации с целью обеспечения конфиденциальности, целостности и доступности информации в условиях динамики кадровых угроз и уязвимостей.

В структуру управленческой компетенции специалиста по защите информации в области кадровой безопасности мы включаем:

1) методологический компонент, который отражает сущность управления кадровой безопасностью: информационная и информационно-аналитическая компетенции, которые дают «ключ» к управлению кадровыми рисками, кадровыми уязвимостями, культурным капиталом организации;

2) объектно-содержательные компоненты, отражающие способность специалиста по защите информации оказывать влияние на различные объекты управления кадровой безопасностью: а) компетенции администратора (способности осуществлять административные функции управления: планирование, организацию, контроль процесса работы с кадрами для нейтрализации кадровых рисков и развития культурного капитала организации); б) многоуровневые компетенции (способности оказывать влияние как на внутреннюю, так и на внешнюю среду: стратегическое управление

кадровой безопасностью, управление инновациями в области работы с персоналом, управление изменениями культурного капитала организации; в) компетенции управления собственной эффективностью как сотрудника организации (способности к самоорганизации, саморазвитию, в т.ч. к развитию своего культурного капитала: информационного мировоззрения и культуры информационной безопасности и пр.). Особенностью обоснованной структуры управленческой компетенции специалиста по защите информации в области кадровой безопасности является то, что в ее основе лежит информационная природа профессиональной управленческой деятельности и деятельностный подход, позволивший учесть цели, объекты, процессы и информационную методологию управленческой деятельности в сфере защиты информации.

Таким образом, обоснованные понятие и структура управленческой компетенции специалиста по защите информации в области кадровой безопасности имеют междисциплинарный характер, базируются на достижениях теории информационной безопасности, управления персоналом, экономики, культурологи и педагогики. Развитие управленческой компетенции специалиста по защите информации в области кадровой безопасности в такой научной интерпретации будет способствовать повышению качества их подготовки.

Библиографический список

1. Астахова, Л.В. Информационная безопасность: риски, связанные с культурным капиталом персонала / Л.В. Астахова // НТИ. Сер.1 . – 2015. – № 4. – С. 1–13.

2. Астахова, Л.В. Управленческая компетенция специалиста по защите информации: монография / Л.В. Астахова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 99 с.

3. Томилов, А.А. Кадровая безопасность в контексте парадигмы защищенного развития как объект изучения будущими менеджерами в вузе / А.А. Томилов, Л.В.Астахова // Безопасность информационного пространства. – Челябинск, 2015. – С. 230–235.

К содержанию

УДК 005.951:002:004.056

ПРОБЛЕМА СУБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ОРГАНИЗАЦИИ

А.А. Томилов

В статье на основе анализа Федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования определен субъект управления кадровой безопасностью в организации и обоснована проблема развития его компетенций в этой области.

Ключевые слова: кадровая безопасность, управление, защита информации, специалист.

Актуальность кадровой безопасности обусловлена растущим числом инцидентов информационной безопасности по вине сотрудников организации. Проблема субъекта обеспечения кадровой безопасности организации является одним из дискуссионных вопросов теории информационной безопасности. Неопределенность субъекта обеспечения кадровой безопасности организации и его компетенций в этой области порождает отсутствие координации этой деятельности в практике защиты информации. Это можно определить как «у семи нянек дитя без глазу»: недостаточное внимание к кадровой безопасности организации приводит к утечкам и утратам информации, резко снижает ее конкурентоспособность на рынке.

Кто должен выполнять эту функцию в организации? В числе этих субъектов чаще всего называют бакалавров по направлению «Информационная безопасность», «Менеджмент» и «Управление персоналом».

Вполне логично возложить управление кадровой безопасностью на сотрудника, в чьи обязанности традиционно входит оценка специфичных для сферы безопасности угроз, уязвимостей и рисков информационной безопасности, в том числе – кадровых. Однако если мы проанализируем Федеральный государственный образовательный стандарт по направлению 090900 «Информационная безопасность» (бакалавриат), то увидим, что в него не включены компетенции, напрямую связанные с работой с кадрами. Эти компетенции косвенно могут быть связаны с другими компетенциями: способностью организовывать и поддерживать выполнение комплекса мер по информационной безопасности, управлять процессом их реализации с учетом решаемых задач и организационной структуры объекта защиты, внешних воздействий, вероятных угроз и уровня развития технологий защиты информации (ПК-5); способностью разрабатывать предложения по совершенствованию системы управления информационной безопасностью (ПК-25); ПК-25, способностью организовать работу малого коллектива исполнителей с учетом требований защиты информации (ПК-31) [1]. И тем

не менее очевидно, что разработчики стандарта не видят бакалавра в области информационной безопасности субъектом деятельности по нейтрализации кадровых рисков и развития человеческих ресурсов организации.

Часто функции обеспечения и управления кадровой безопасностью возлагаются на менеджера по управлению персоналом. ФГОС-3 по направлению (080400) «Управление персоналом» (бакалавриат) включает наибольшее количество компетенций, связанных с работой с кадрами: знание основ разработки и внедрения требований к должностям, критериев подбора и расстановки персонала и уметь применять их на практике (ПК-5); знание основ найма, разработки и внедрения программ и процедур подбора и отбора персонала и уметь применять их на практике (ПК-6); владение методами деловой оценки персонала при найме и готовностью применять их на практике (ПК-7); знание основ профориентации персонала и умением применять их на практике (ПК-8); знание принципов формирования системы адаптации персонала, разработки и внедрения программ адаптации и умение применять их на практике (ПК-9); знание видов, форм и методов обучения персонала (ПК-12); знание основ управления карьерой и служебно-профессиональным продвижением персонала и умение применять их на практике (ПК-13); знание процедуры приема, увольнения, перевода на другую работу и перемещения персонала в соответствии с Трудовым кодексом Российской Федерации, владение навыками оформления сопровождающей документации (ПК-23); знание Гражданского кодекса Российской Федерации в части, относящейся к деятельности кадровой службы (ПК-26); знание основ проведения аудита и контроллинга персонала и умение применять их на практике (ПК-60) [2]. Перечень компетенций достаточно обширный, однако, как видим, они представлены вне контекста кадровых угроз и рисков информационной безопасности, что также теоретически исключает их из числа субъектов кадровой безопасности организации.

В небольших организациях функцию обеспечения кадровой безопасности может выполнять менеджер. ФГОС-3 по направлению (080200) «Менеджмент» (бакалавриат) включает следующие компетенции, связанные с работой с кадрами: способность эффективно организовать групповую работу на основе знания процессов групповой динамики и принципов формирования команды (ПК-5); способность участвовать в разработке стратегии управления человеческими ресурсами организаций, планировать и осуществлять мероприятия, направленные на ее реализацию (ПК-13); умение проводить аудит человеческих ресурсов и осуществлять диагностику организационной культуры (ПК-37) [3], Включение компетенции управления человеческими ресурсами в число компетенций менеджера вполне отвечает современным требованиям к кадровому вопросу в организации. Однако контекст безопасности, который накладывает специфический отпечаток на работу с персоналом, в компетенциях менеджера никак не отра-

жен. В перечне компетенций будущих магистров по названным образовательным направлениям также недостаточно учтена проблема обеспечения кадровой безопасности в процессе защиты информации.

Поскольку по направлениям «Менеджмент» и «Управление персоналом» отсутствует специалитет, рассмотрим Федеральные государственные образовательные стандарты высшего профессионального образования по направлению «Информационная безопасность», которые предполагают наличие у специалистов по защите информации компетенций, связанных с оценкой рисков, в том числе кадровых. Так, выпускники специальности 090302 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» должны обладать способностью прогнозировать, ранжировать, моделировать информационные угрозы телекоммуникационных систем и оценивать уровни риска (ПК-21) [4]; специальности 090303 «Информационная безопасность автоматизированных систем» – способностью проводить анализ рисков информационной безопасности автоматизированной системы (ПК-14) [5]; специальности 090305 «Информационно-аналитические системы безопасности» – способностью выявлять основные угрозы безопасности информации, строить и исследовать модели нарушителя в компьютерных системах (ПК-26) [6].

Особо пристальное внимание работе с людьми должны уделять выпускники специальности 090915 «Безопасность информационных технологий в правоохранительной сфере»: они должны обладать способностью формировать и реализовывать комплекс мер по обеспечению безопасности информации с учетом решаемых задач и структуры объекта информатизации, внешних воздействий и вероятных угроз (ПК-1); способностью участвовать в пресечении и раскрытии правонарушений и преступлений в качестве специалиста (ПК-10); способностью осуществлять мероприятия по информационно-психологическому обеспечению правоохранительной деятельности; применять при решении профессиональных задач психологические методы, средства и приемы (ПК-12); способностью реализовывать мероприятия по получению информации, анализировать, оценивать ее и эффективно использовать в интересах предупреждения, пресечения, раскрытия и расследования преступлений (ПК-13); способностью выявлять и содействовать пресечению коррупционных проявлений в служебном коллективе (ПК-16); способностью составлять обзоры по вопросам обеспечения безопасности информации на объектах информатизации, информационно-аналитического и информационно-психологического обеспечения правоохранительной деятельности (ПК-34) [7].

Изложенное позволяет заключить, что главным субъектом обеспечения кадровой безопасности сегодня в наибольшей степени призван, согласно образовательным стандартам, выпускник образовательного направления «Информационная безопасность». Однако для выполнения этой функции

он должен обладать соответствующими компетенциями, сформулированными в образовательных стандартах в контексте управления человеческими ресурсами информационной безопасности. Образовательные стандарты по подготовке специалистов, бакалавров и магистров информационной безопасности нуждаются в серьезной корректировке: управленческая компетенция в области кадровой безопасности должна найти в них более широкое отражение.

Библиографический список

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 090900 Информационная безопасность (квалификация (степень) «бакалавр») (в ред. Приказа Минобрнауки РФ от 31.05.2011 N 1975). [Электронный ресурс]. – URL: http://fgosvo.ru/uploadfiles/fgos/9/20111115140749.pdf.

2. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 080400 управление персоналом (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. – URL: http://fgosvo.ru/uploadfiles/fgos/8/20111115140457.pdf.

3. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 080200 менеджмент (квалификация (степень) «бакалавр») [Электронный ресурс]. – URL: http://fgosvo.ru/uploadfiles/fgos/8/20111115140436.pdf.

4. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки (специальности) 090302 Информационная безопасность телекоммуникационных систем (квалификация (степень) «специалист»). [Электронный ресурс]. – URL: http://fgosvo.ru/uploadfiles/fgos/62/20110505002950.pdf.

5. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки (специальности) 090303 Информационная безопасность автоматизированных систем (квалификация (степень) «специалист»). [Электронный ресурс]. – URL: http://fgosvo.ru/uploadfiles/fgos/62/20110505002644.pdf.

6. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки (специальности) 090305 Информационно-аналитические системы безопасности (квалификация (степень) «специалист»). [Электронный ресурс]. – URL: http://fgosvo.ru/uploadfiles/fgos/62/20110505002334.pdf.

7. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки (специальности) 090915 Безопасность информационных технологий в правоохранительной сфере (квалификация (степень) «специалист»). [Электронный ресурс]. – URL: http://fgosvo.ru/uploadfiles/fgos/62/20110505001756.pdf.

К содержанию

УДК 003.26 + 51-7

ЭЛЕМЕНТЫ БОЛЬШИХ ПОРЯДКОВ В ЛИНЕЙНЫХ ГРУППАХ И МОДИФИКАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЬ-ГАМАЛЯ

Н.Д. Зюляркина

В данной работе описывается криптосистема с открытым ключом, являющаяся модификацией системы Эль-Гамаля.

Ключевые слова: Криптосистема с открытым ключом, группа, порождающий элемент.

Начало асимметричным шифрам было положено в работе «Новые направления в современной криптографии» У. Диффи и М. Хеллмана, опубликованной в 1976 году [1].

Криптографическая система с открытым ключом (или асимметричное шифрование, асимметричный шифр) – система шифрования, при которой открытый ключ передается по открытому каналу и используется для шифрования сообщения. Для расшифровки сообщения используется секретный ключ. Криптографические системы с открытым ключом в настоящее время широко применяются в различных сетевых протоколах и стандартах цифровой подписи.

Для построения криптосистемы с открытым ключом выбирается класс задач, для которого в произвольном случае не известен эффективный алгоритм решения и в этом классе выделяется подзадача, для которой такой алгоритм существует. Выбранную задачу маскируют под задачу общего вида и на основе ее выбирают ключ шифрования. В качестве секретного ключа используется информация, позволяющая перевести выбранную задачу в исходный вид.

Большое распространение в настоящее время получили криптосистемы, основанные на задаче нахождения дискретного логарифма. К ним можно отнести схему распределения ключей Диффи – Хеллмана, схему Эль-Гамаля, цифровую подпись Шнорра и т.д. Классическое описание этих систем предполагает использование мультипликативных групп конечных полей простого порядка. Но развитие технических средств сделало системы, использующие традиционные ключи, более уязвимыми. В связи с этим особенно активно изучаются способы, основанные на вычислениях в специально подобранных группах. Отметим в качестве примера группы точек эллиптических кривых, которые используются в обобщенной схеме Эль-Гамаля, применяемой в стандартах цифровой подписи. К достоинствам этих групп следует отнести наличие элементов большого порядка и сложность нахождения дискретного логарифма.

Задача нахождения дискретного логарифма и элементы больших порядков

Пусть G − циклическая группа порядка n, порожденная элементом g, а x − элемент из G. Назовем элемент m из Z_n *логарифмом x по основанию g* если выполняется равенство $g^m=x$. Если G имеет бесконечный порядок, то m выбирается из множества целых чисел.

Задачей дискретного логарифмирования назовем нахождение m по известным g и x. Сложность этой задачи связана с видом группы G. Если в качестве G взять множество целых чисел с операцией сложения, а элемент g выбрать равным 1, то, очевидно, указанная задача будет решаться тривиально, так как m=x. Но ситуация кардинально меняется, если в качестве G взять специальным образом выбранную матричную группу.

Пример 1. Рассмотрим общую линейную группу $GL_n(R)$ и выберем в ней элемент $g=\begin{pmatrix} -14 & -9 \\ 25 & 16 \end{pmatrix}$. Пусть G=<g>. Можно показать, что g имеет бесконечный порядок и, следовательно, G изоморфна группе целых чисел. Но задача нахождения дискретного логарифма в этой группе уже далеко не так проста как для Z. Ведь уже далеко не очевидно, что решением уравнения $g^m=\begin{pmatrix} -224 & -135 \\ 375 & 226 \end{pmatrix}$ будет m=15.

Для того чтобы задача о нахождении дискретного логарифма была трудно разрешимой, нужно подобрать подходящую группу, а в ней подходящий элемент. Необходимым условием подбора элемента является большое значение его порядка, так как для элементов малых порядков дискретный логарифм можно найти с помощью перебора. Но это условие не является достаточным, что следует из примера G=Z. Группами, в которых есть элементы с указанными свойствами, являются мультипликативные группы конечных полей, группы точек эллиптических кривых и линейные (матричные) группы. Отметим, что решение задачи нахождения дискретного логарифма для мультипликативных групп конечных полей можно найти с помощью метода «Шаг младенца − шаг великана» и метода исчисления порядка, которые более эффективны, чем метод перебора. Метод «Шаг младенца − шаг великана» является универсальным и применим к любой конечной циклической группе. Но при большом значении порядка группы он не дает существенного выигрыша во времени по сравнению с методом перебора. Метод исчисления порядка является более быстрым, но он специфичен и не переносится на случай матричных групп.

Модификация криптосистемы Эль-Гамаля с использованием линейных групп

Схема Эль-Гамаля – криптосистема с открытым ключом, основанная на трудности вычисления дискретных логарифмов в конечном поле, включающая в себя алгоритм шифрования и алгоритм цифровой подписи. Она

лежит в основе стандартов электронной цифровой подписи в США (DSA) и России (ГОСТ Р 34.10-94). Опишем классический вариант данной схемы.

Генерация ключей

1. Генерируется случайное простое число p.

2. Выбирается случайный примитивный элемент x поля Z_p.

3. Выбирается случайное целое число a такое, что $2 \le a \le p-2$.

4. Вычисляется x^a.

Открытым ключом является тройка (p,x,x^a), а секретным ключом – число a.

Алгоритм шифрования

1. Исходный текст представляется в виде последовательности элементов из Z_p.

2. Каждый элемент m открытого текста шифруется следующим образом:

a) выбирается сессионный ключ r – случайное целое число, такое, что $1<r<p-1$.

b) вычисляются числа x^r и $m(x^a)^r$.

Пара чисел $(x^r, m(x^a)^r)$ является шифр-текстом, соответствующим m.

Алгоритм расшифровки

1. Шифр-текст разбивается на пары (c, b).

2. По каждой паре восстанавливается элемент открытого текста по формуле $m=(c^a)^{-1}b$.

Теперь дадим описание модификации данной схемы, использующей линейные группы.

Генерация ключей

1. Выбирается линейная группа $G=GL_n(K)$, где K − некоторое коммутативное кольцо с единицей (например, кольцо вычетов).

2. Выбирается случайный элемент x группы G большого порядка p.

3. Выбирается случайное целое число a такое, что $2 \le a \le p-1$.

4. Вычисляется x^a.

Открытым ключом является тройка (G,x,x^a), а секретным ключом – число a.

Алгоритм шифрования

1. Исходный текст представляется в виде последовательности элементов из $M_n(K)$.

2. Каждый элемент m открытого текста шифруется следующим образом:

a) выбирается сессионный ключ r – случайное целое число, такое, что $1<r<p$.

b) вычисляются элементы x^r и $m(x^a)^r$.

Пара чисел $(x^r, m(x^a)^r)$ является шифр-текстом, соответствующим m.

Алгоритм расшифровки

1. Шифр-текст разбивается на пары (c, b).

2. По каждой паре восстанавливается элемент открытого текста по формуле $m=b(c^a)^{-1}$.

Пример 2. Пусть открытым ключом в описанной модификации является набор ($GL_2(137)$, $\begin{pmatrix} 4 & 9 \\ 136 & 135 \end{pmatrix}$, $\begin{pmatrix} 124 & 95 \\ 96 & 15 \end{pmatrix}$), а секретный ключ a=41. Зашифруем сообщение $m=\begin{pmatrix} 2 & 5 \\ 8 & 9 \end{pmatrix}$:

a) выберем сеансовый ключ r=83;

b) вычислим $x^r=\begin{pmatrix} 113 & 62 \\ 54 & 26 \end{pmatrix}$ и $m(x^a)^r=\begin{pmatrix} 117 & 76 \\ 89 & 115 \end{pmatrix}$.

Зашифрованный текст представим матрицей $\begin{pmatrix} 113 & 62 & 117 & 76 \\ 54 & 26 & 89 & 115 \end{pmatrix}$.

Для расшифровки данного сообщения выполним следующие действия:

a) разобьем полученное сообщение на две матрицы $b=\begin{pmatrix} 113 & 62 \\ 54 & 26 \end{pmatrix}$ и $c=\begin{pmatrix} 117 & 76 \\ 89 & 115 \end{pmatrix}$;

b) используя секретный ключ a=83, найдем исходное сообщение по формуле $m=bc^{-83}$.

В данном примере элемент $\begin{pmatrix} 4 & 9 \\ 136 & 135 \end{pmatrix}$ имеет в группе $GL_2(137)$ порядок равный 136.

Элементы больших порядков в линейных группах

Для выбора ключа в описанной модификации нужно иметь в своем распоряжении матрицу достаточно большого порядка. Поэтому особую важность представляет информация о порядках элементов в линейных группах и способах построения элементов заданного порядка. Если рассматривается группа $GL_n(Z_m)$, то с помощью китайской теоремы об остатках ситуацию можно свести к рассмотрению групп $GL_n(Z_q)$, где q является примерным числом. Для усложнения задачи дискретного логарифмирования можно преобразовывать элемент **x** с помощью сопряжения.

Пример 3. Элемент $x=\begin{pmatrix} 4 & 9 \\ 136 & 135 \end{pmatrix}$ в группе $GL_2(137)$ из предыдущего примера был получен как $y^h=h^{-1}yh$, где $h=\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 3 \end{pmatrix}$, $y=\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$. Элемент y имеет порядок 136 и задача дискретного логарифмирования для него эквивалентна задаче нахождения дискретного логарифма в поле порядка 137. Легко заметить, что задача дискретного логарифмирования для элемента x является более сложной.

Библиографический список

1. Diffie W, Hellman M.E. New Directions in Cryptography // IEEE Transactions on Information Theory ,V. TI-22,1977, Pp. 644–654.
2. Саломаа, А. Криптография с открытым ключом = Public-Key Cryptography / А. Саломаа. – Springer-Verlag, 1990. – С. 102–150.

К содержанию

УДК 537.874.72 + 614.014.481/.482

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ГРАНИЦА КОАГУЛЯЦИИ БАКТЕРИЙ В ФИЗИОЛОГИЧЕСКОМ РАСТВОРЕ

А.Е. Баринов

Рассматривается проблема температурных изменений структуры при воздействии на физиологический раствор, несущий физиологический объект. Изучение данных процессов особенно важно для понимания различных воздействий, включая СВЧ излучение, на организм человека. В работе описывается влияние нагрева на размерность кластеров в физиологическом растворе. Данное влияние предложено оценивать посредством температурной границы коагуляции.

Ключевые слова: физиологический раствор, плазма крови, биотехнологии, коагуляция, когезия.

Для понимания механизма воздействия на человека СВЧ электромагнитного поля необходимо исследовать распространение этого поля через ткани человека и его поглощение жидкостной средой. Основной жидкостной средой организма человека является кровь, состоящая из плазмы и форменных элементов. Плазма крови – жидкая часть крови. Процентное содержание плазмы в крови составляет 52–61 %. В состав плазмы крови входят вода (90–92 %) и сухой остаток (8–10 %). Часто для введения лекарств и для иных медицинских целей применяют растворы, изотоничные плазме крови – физиологические растворы.

Наиболее часто применяемым в медицине раствором такого типа является физиологический раствор – это 0,9 % водный раствор хлорида натрия. Известно значение удельной электропроводности при температуре человеческого тела (37 ^{o}C) 1,92 См*м$^{-1}$ и при стандартных условиях (25 ^{o}C) 1,52 См*м$^{-1}$ [1]. В опытах под воздействием СВЧ-поля малой интенсивности наблюдается эффект уменьшения порога когезии для взвеси стафилококков золотистых в физиологическом растворе при T=25 ^{o}C. Расчеты показывают, что энергия присоединения равняется $6*10^{-20}$ *Дж* или *0,4 эВ* [2]. Возможно, эти эффекты вызваны температурным воздействием. Для моде-

лирования тепловых эффектов, вызванных поглощением СВЧ излучения, и проверки этого предположения воспользуемся теорией быстрой коагуляции Смолуховского.

Эффекты коагуляции частиц в крови человека достаточно хорошо известны. Примерами являются: образование холестериновых бляшек на внутренних поверхностях кровеносных сосудов или отложение солей в суставах, которое происходит при нарушениях солевого баланса плазмы крови. Сходный механизм приводит и к агглютинации эритроцитов при свертывании крови.

Данная теория применима при учете следующих положений:

1. Частицы монодисперсны и имеют сферическую форму.

2. Частицы дисперсной фазы имеют коллоидные размеры и перемещаются за счет броуновского движения.

3. Силы взаимодействия между частицами не учитываются.

4. Все столкновения частиц являются эффективными, т.е. каждое столкновение приводит к слипанию.

5. Учитывается взаимодействие только двух частиц, одновременное взаимодействие трех и более частиц считается маловероятным, т.е. кинетика коагуляции подобна кинетике химической реакции второго порядка.

6. Столкновение и слипание частиц происходит при их сближении на расстояние $R = 2r$. [3]

Что соответствует исследуемой среде. Запишем соотношение Эйнштейна-Смолуховского:

$$D = \mu_p kT, \tag{1}$$

где μ_p – величина подвижности, определяемая как:

$$\mu_p = \frac{V}{F}, \tag{2}$$

где V – стационарная скорость перемещения частицы в вязкой среде под действием силы F. Предполагая, что числа Рейнольдса малы, то для силы сопротивления, испытываемой макроскопическим шариком, можно использовать формулу Стокса:

$$F = 6\pi\eta r V, \tag{3}$$

где r – радиус частицы. Тогда подставляя (3) последовательно в (2) и (1) получим:

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r}. \tag{4}$$

Назовем число частиц в кластере порядком и будем считать, что при коагуляции последовательно будут сформированы кластеры второго n_2, третьего n_3, четвертого n_4, пятого n_5 и т.д. порядков. В любой момент времени после начала коагуляции в дисперсной системе будет присутствовать набор кластеров частиц, так что частичная концентрация будет опреде-

ляться суммой числа всех кластеров. Выражая скорость коагуляции через уменьшение числа частиц в единице объема за единицу времени и учитывая, что общее число частиц может только уменьшаться, получим:

$$v = aC^2, \tag{5}$$

где a – постоянная скорости коагуляции.

Из [5] известно значение для времени половинной коагуляции, то есть такого времени, за которое начальное число частиц уменьшится вдвое:

$$\theta = \frac{3\eta}{8TkC_0}, \tag{6}$$

где η – вязкость среды (для физиологического раствора известно значение – 1050 Па*с[4]), T – температура, k – постоянная Больцмана, а C_0 – начальная концентрация частиц в среде. Известно, что концентрация элементов, состоящих из i исходных частиц, зависит от времени, прошедшего с начала процесса, как:

$$C_i = \frac{C_0\left(\frac{t}{\theta}\right)^{i-1}}{\left(1+\frac{t}{\theta}\right)^{i+1}}. \tag{7}$$

Расчеты показали, что для физиологического раствора $\theta = \frac{9{,}73*10^{22}}{C_0}$с.

Приведем уравнение:

$$C_i = \frac{C_0\left(\frac{t}{\theta}\right)^{i-1}}{\left(1+\frac{t}{\theta}\right)^{i+1}}, \tag{8}$$

к безразмерному виду, разделив обе части на C_0 и исследуем получившуюся функцию $\frac{C_i}{C_0}(t)$, и подставим в нее выражение для времени половинной коагуляции:

$$\theta = \frac{3\eta}{8TkC_0}, \tag{9}$$

проведя замену $x = \frac{3\eta}{8kT}$, тогда получим $\frac{C_i}{C_0}(t) = \frac{t^{i-1}x^2C_0^{i-1}}{(x+tC_0)^{i+1}}$. Рассчитаем предел от этой функции: $\lim_{t\to\infty}\frac{C_i}{C_0}(t) = 0$. Исследуем эту функцию на возрастание/убывание на положительном участке (т.к. время отрицательным быть не может). Для этого найдем значение первой производной, получим:

$$\frac{C_i}{C_0}(t)dt = \frac{x^2C_0^{i-1}t^{i-2}(xi-x-2tC_0)}{(x+tC_0)^{i+2}}, \tag{10}$$

тогда очевидно, что только последний член числителя влияет на ее знак, на этом участке, тогда очевидно, что на этом участке функция имеет один экстремум (максимального значения), при:

$$t = \frac{x}{2C_0}(i-1) = \theta\frac{i-1}{2} \tag{11}$$

Тогда, имеем функцию, монотонно возрастающую от 0 до своего максимального значения, а затем монотонно убывающую и асимптотически стремящуюся к нулю. Рассчитаем максимальное значение этой функции:

$$\frac{C_i}{C_{0}max} = \frac{4(i-1)^{i-1}}{(i+1)^{i+1}}. \quad (12)$$

Очевидно, что это число меньше *1/i* при любом значении $i>1$. Следовательно, с течением времени можно говорить о нарастании многообразия размерностей кластеров, которые существуют в среде и об уменьшении числа кластеров малых размерностей, образованных в начальные моменты времени.

Температурной границей коагуляции назовем ту границу, когда определенная часть частиц находится в кластерном состоянии. Тогда для требуемого размера кластера, исходя из (6), эта граница зависит исключительно от времени половинной коагуляции, то есть от температуры среды. Тогда ее значение выражается как:

$$T = \frac{3\eta(i-1)}{16tkC_0}\ , \quad (13)$$

где *t* – время, за которое требуется достичь данного состояния.

Рассматривая средний размер биологического объекта (стафилококка золотистого) (0,9 мкм) и границы применимости теории быстрой коагуляции Смолуховского, получим, что уже после объединения двух бактерий полученный кластер не будет являться частицей коллоидного размера. Таким образом, дальнейшие процессы объединения следует рассматривать с применением других моделей, а граничная температура, тогда, может быть получена путем подстановки $i=2$ в выражение (13). Тогда ее значение:

$$T = \frac{3\eta}{16tkC_0}. \quad (14)$$

В рамках данной работы исследовано влияние параметров коллоидной среды на температурную границу коагуляции. Результаты данных исследований потенциально могут найти применение в медицинской сфере, пищевой и других сферах промышленности, в частности водоподготовки. Дальнейшие исследования также могут быть направлены на оценку влияния электролита NaCl на скорость коагуляции и температурную границу.

Библиографический список

1. Баринов, А.Е. О воздействии СВЧ излучения малой мощности на физиологический раствор / А.Е. Баринов, Н.В. Вдовина, И.И. Прокопов // Материалы XII Международной конференции «Физика и технические приложения волновых процессов»: Нижний Новгород – Самара, 2014. – С. 217–219.

2. Даровских, С.Н. Уменьшение порога когезии в СВЧ-поле для взвеси бактерий в физиологическом растворе на примере стафилококков / С.Н. Даровских, В.И. Тамбовцев, Ю.С. Шишкова // Материалы XII Международной конференции «Физика и технические приложения волновых процессов»: Нижний Новгород – Самара, 2014.

3. Волков, В.А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы / В.А.Волков. – М.: МГТУ.

4. Влияния вязкости плазмы и гематокрита на деформацию эритроцитов / А.В. Муравьев, Н.В. Кислов, И.А. Тихомирова и др. // Российский журнал биомеханики. – 2013. – Т. 17. – № 2 (60).

5. Фридрихсберг, Д.А. Курс коллоидной химии. Учеб. для вузов / Д.А. Фридрихсберг. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1984. – 368 с.

К содержанию

УДК 621.391 +519.72

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ ВЫБОРКИ-ХРАНЕНИЯ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ АПЕРТУРНОГО ЭФФЕКТА АЦП

В.В. Запевалов

В работе приведен метод снижения апертурного эффекта АЦП с помощью быстродействующих устройств выборки-хранения.

Ключевые слова: АЦП, дискретизация, цифровая обработка сигналов.

При дискретизации широкополосных сигналов, в особенности при работе во второй и далее зонах Найквиста заметное влияние оказывает апертурный эффект – снижение передаточной характеристики тракта преобразования сигналов в высокочастотной области за счет ненулевого апертурного времени АЦП. Апертурным временем (aperture delay) называется время, в течение которого сохраняется неопределенность между значением выборки и временем, к которому она относится. На рисунке 1 показано возникновение апертурной ошибки ΔU_a вследствие ненулевого апертурного времени t_a.

Влияние апертурного времени на частотную характеристику тракта преобразования учитывается следующим выражением:

$$H_a(f) = \frac{sin(\pi f \cdot t_a)}{\pi f \cdot t_a}. \quad (1)$$

К примеру, АЦП ADC12D1800RF фирмы Texas Instruments может работать с частотой выборки до 3,6 ГГц. Ширина входной частотной полосы по уровню -3 дБ составляет 2,7 ГГц, а на частоте 4 ГГц вносимые потери составляют более 10 дБ, т.е. без искажений в частотной области можно работать лишь в первой зоне Найквиста [4].

При работе во второй и далее зонах Найквиста применяют быстродействующие устройства выборки-хранения с малым апертурным временем и широкой полосой частот.

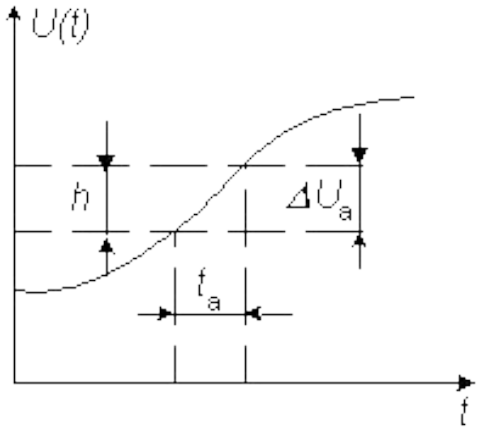


Рис. 1. Возникновение апертурной ошибки

Интегральная микросхема HMC661LC4B представляет собой устройство выборки-хранения (Track and hold) со следующими основными характеристиками:

– полоса обрабатываемого сигнала, МГц	0…18000
– частота выборки, МГц	250…4000
– апертурное время, пс	6
– соотношение сигнал/шум на выходе, дБ	не менее 30
– напряжение включения режима «Пропускание»,мВ	40
– напряжение включения режима «Удержание», мВ	-40

Устройство выборки-хранения (далее – УВХ) работает следующим образом: когда состояние дифференциального тактового входа «высокое», происходит «пропускание» сигнала (Track mode), т.е. выходной сигнал является копией входного. Когда состояние тактового входа «низкое», включается режим «хранения» (Hold mode), т.е. удерживается состояние, соответствующее времени переключения в режим хранения. Принцип работы проиллюстрирован на рисунке 2 [1].

УВХ может применяться для уменьшения апертурного эффекта АЦП. За счет этого выравнивается АЧХ тракта преобразования сигнала как в первой, так и в прочих зонах Найквиста. Структурная схема тракта преобразования сигнала приведена на рисунке 3 [2].

На данной схеме входной сигнал, проходя через буферный усилитель, поступает на УВХ. Выходной сигнал с УВХ подается на АЦП. УВХ и АЦП тактируются от одного источника тактового сигнала, однако на АЦП тактовый сигнал подается через управляемый фазовращатель.

Применение фазовращателя обусловлено тем, чтобы выборка сигнала на входе АЦП производилась в те моменты, пока УВХ находится в режиме «хранение». Заметим, что при известной тактовой частоте внести фазовую задержку в тактовый сигнал можно, пропустив его через длинную линию, однако данный метод лишен гибкости. Также существуют микросхемы – фазовращатели с цифровым управлением – например, для диапазона 3–6 ГГц

существует микросхема HMC649 [5] в которой фазовый сдвиг задается с помощью цифрового интерфейса. Фазовая ошибка для данного устройства составляет до ±5 градусов. Отметим, что в данном случае фазовая ошибка в 5 градусов не критична.

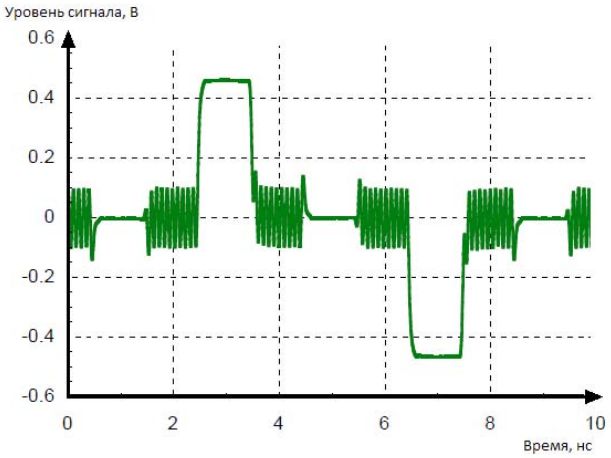


Рис. 2. Принцип работы УВХ HMC661LC4B

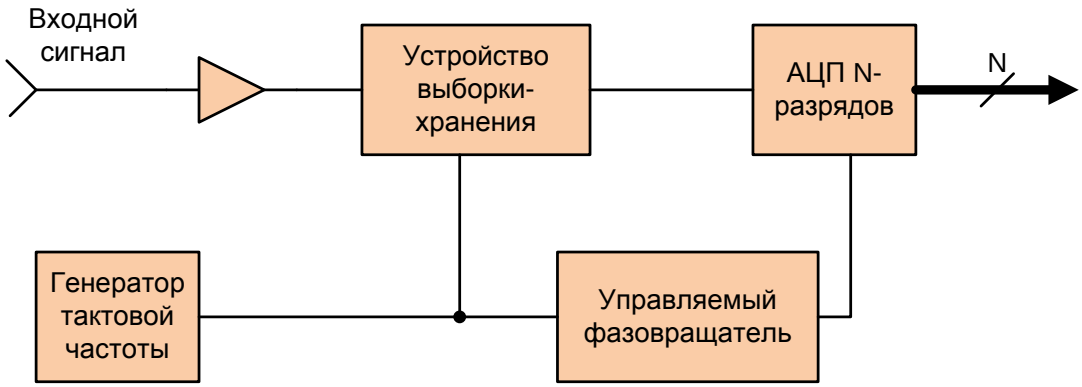


Рис. 3. Схема уменьшения апертурного эффекта АЦП

Более точный поворот фазы будет обеспечиваться, если применить дополнительную микросхему – разветвитель тактового сигнала с ФАПЧ (например, HMC988LP3E фирмы Hittite [6]) с установкой фазы выходного сигнала.

Во многих АЦП (в частности, в семействе АЦП ADC12Dxxxx фирмы Texas Instruments [4]) существует возможность вносить задержку во входной тактовый сигнал, что эквивалентно фазовому сдвигу.

В результате расширяется частотный диапазон входного сигнала АЦП. В [3] подробно описаны эффекты такой схемы включения. На рисунке 4 изображены частотные характеристики тракта преобразования без УВХ (зеленым цветом) и тракта с применением УВХ при использовании АЦП ADC12D1600 фирмы Texas Instruments.

Таким образом, применение УВХ позволяет вести оцифровку сигнала в произвольной зоне Найквиста вплоть до частоты 18 ГГц.

Все сигналы, находящиеся в частотной полосе до 18 ГГц «свернуться» в выходной цифровой сигнал. схематично спектр исходного и дискретного сигнала показан на рисунке 5. Частота выборки в данном случае равна 4 ГГц (гармоники частоты выборки обозначены прерывистой линией). При меньшей частоте выборки будет больше зон Найквиста, а выходная полоса будет меньше. На данном рисунке не показан эффект снижения амплитуды вследствие апертурного эффекта ввиду того, что апертурное время УВХ чрезвычайно мало, и на частоте 18 ГГц расчетное затухание составляет 0,2 дБ.

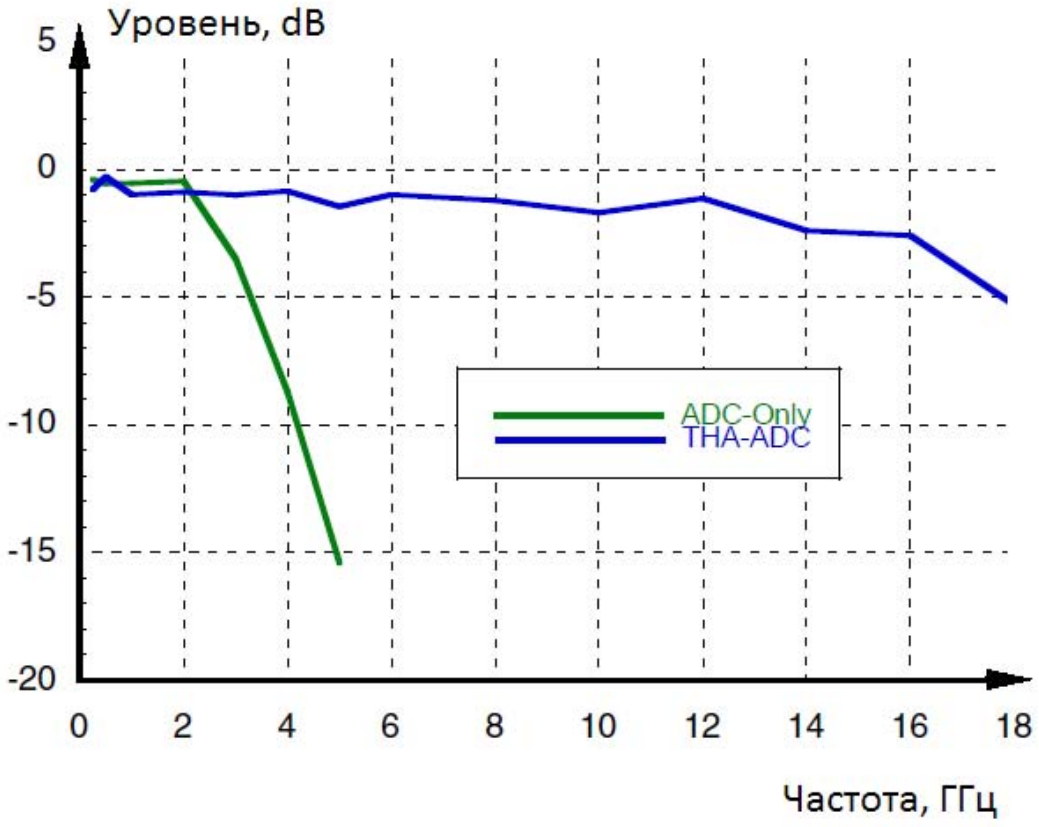


Рис. 4. Передаточная характеристика тракта АЦП

Негативный эффект применения УВХ состоит в ухудшении шумовых характеристик преобразования. Это обусловлено расширением входной полосы частот, т.е. шумы и паразитные сигналы из всех зон Найквиста в полосе до 18 ГГц «свернутся» в выходной цифровой сигнал. Согласно [3], отношение сигнал/шум при применении УВХ снижается примерно на 10 дБ. Точное соотношение определяется типом примененного АЦП.

Для увеличения частотной полосы преобразования сигнала с помощью УВХ предлагается использовать УВХ для формирования четных и нечетных выборок сигнала. Структурная схема предлагаемого устройства приведена на рисунке 6.

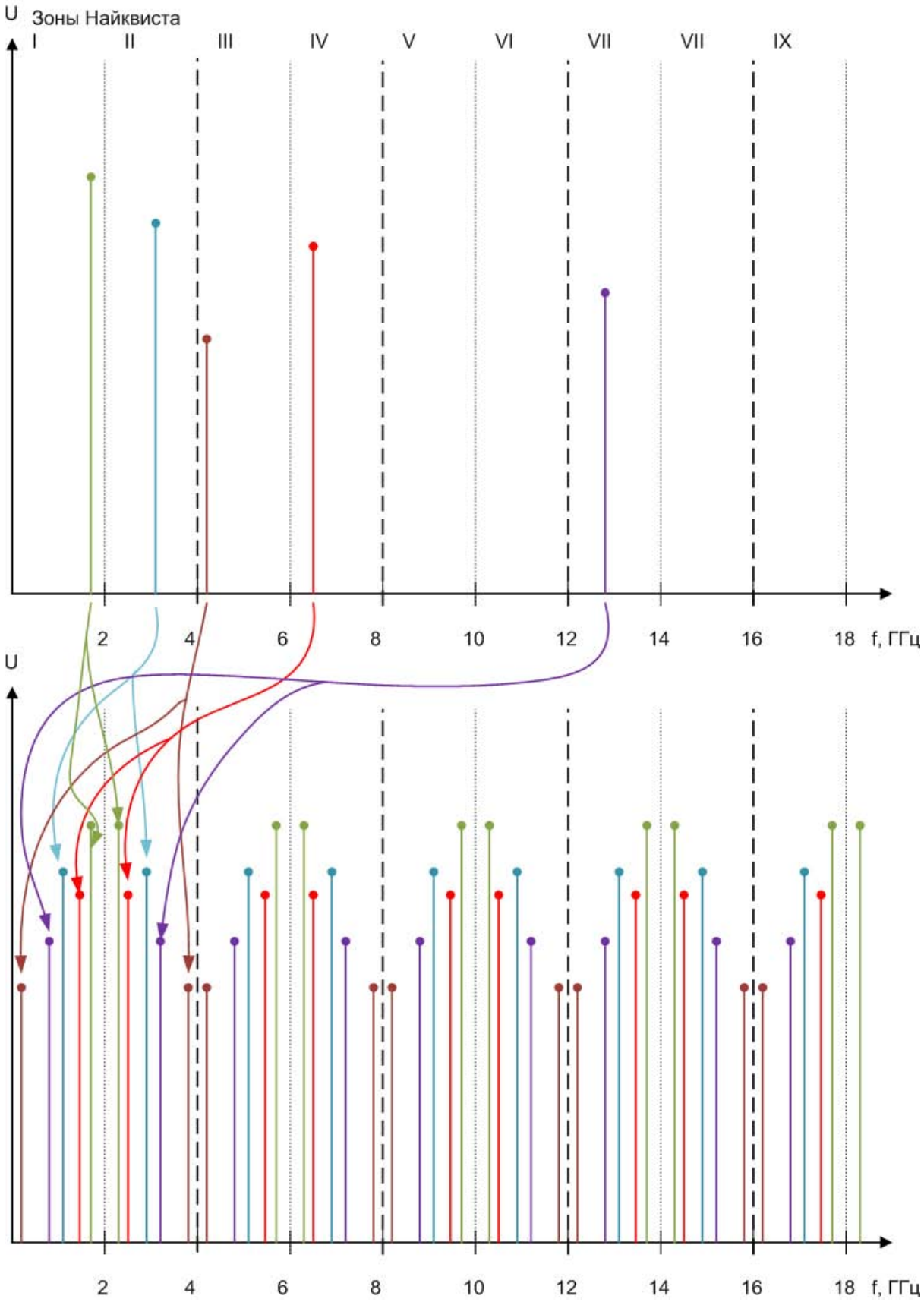


Рис. 5. Спектр аналогового и дискретного сигналов

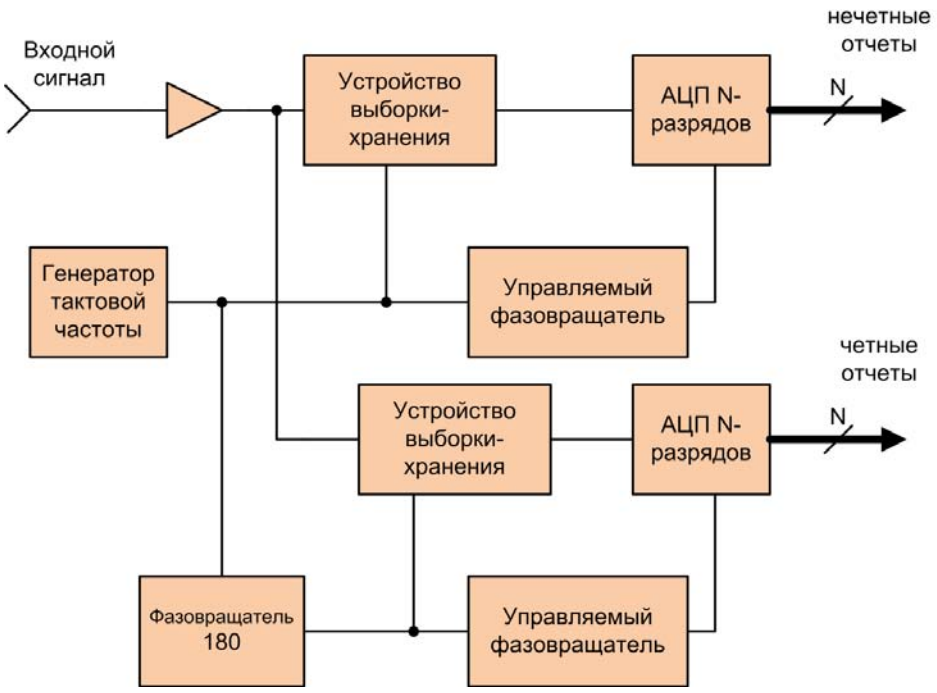


Рис. 6. Применения УВХ для формирования полифазного сигнала

В схеме присутствует два АЦП и два УВХ. На второй УВХ и АЦП тактовый сигнал поступает с обратной фазой. Благодаря этому на выходе АЦП формируются нечетные отчеты сигнала, а на выходе второго – четные. Заметим, что на УВХ подается дифференциальный тактовый сигнал, и, поменяв полярность сигналов, можно добиться переворота фазы. Так, совместно с производительным АЦП [4], можно добиться полосы обработки сигнала до 3,6 ГГц.

Аналогичным образом можно сформировать полифазный (k-фазный) сигнал на произвольное количество фаз, если обеспечить фазовый сдвиг синхросигнала. Дрожание фронта сигнхросигнала (jitter) снижает отношение сигнал/шум тракта преобразования. Максимальное значение дрожания фазы определяется из соотношения [4]:

$$t_j = \frac{V_{in(P-P)}}{V_{FSR}} \cdot \frac{1}{2^{N+1} \cdot \pi \cdot f_{in}}, \quad (2)$$

где $V_{in(P\text{-}P)}$ – уровень входного сигнала;

V_{FSR} – максимальный размах входного сигнала;

N – разрядность АЦП;

f_{in} – частота входного сигнала.

Поскольку при полифазной обработке сигнала входная частота увеличивается в k раз, требования к дрожанию фазы синхросигнала увеличиваются соответственно.

Несомненно, цифровая обработка столь широкополосного сигнала – нетривиальная задача, требующая специальных алгоритмов.

Библиографический список

1. HMC661LC4B. Ultra-wideband 4 GS/s track-and-hold amplifier. Hittite Microwave Corporation, 2012.
2. General Guidelines & Procedures for Using the HMC661LC4B with an Analog-to-Digital Converter. Hittite Microwave Corporation, 2012.
3. Bandwidth & Performance Improvements of High Speed Analog-to-Digital Converters Using the HMC661LC4B. Hittite Microwave Corporation, 2012.
4. ADC12D1800RF. 12-Bit, Single 3.6 GSPS RF Sampling ADC. Texas Instruments Incorporated, 2014.
5. HMC649. GaAs MMIC 6-bit digital phase shifter, 3 - 6 GHz. Hittite Microwave Corporation, 2009.
6. HMC988LP3E. Programmable clock divider and delay. Hittite Microwave Corporation, 2012.

К содержанию

УДК 621.391 + 519.72

РАДИОЧАСТОТНЫЕ И НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ХАОТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В УСТРОЙСТВАХ СВЯЗИ

А.Н. Казимиров

Предложено решение актуальной задачи формирования сверхширокополосных сигналов для систем передачи информации. Получена модель генератора, сочетающего цифровой генератор сверхширокополосного сигнала и аналоговую часть, формирующую сигнал в определенном частотном диапазоне.

Ключевые слова: хаотический сигнал, фрактальный сигнал, сверхширокополосные радиосигналы, фрактальная структура спектра сигнала.

В настоящее время для генерирования широкополосных сигналов используются различные математические модели хаотических и фрактальных сигналов. Хаотический сигнал является детерминированным колебанием в нелинейной системе, имеющий статистические характеристики случайного процесса. Фрактальный сигнал является самоподобным колебанием на различных временных масштабах. При передаче сигнала по проводной линии связи класс моделей сигналов может быть существенно шире, чем при передаче по радиоканалу.

Сверхширокополосные (СШП) сигналы могут формироваться на основе хаотического сигнала, причем, используются как аналоговые, так цифровые генераторы хаоса. В настоящее время для создания хаотических сигналов используются модели на основе генератора Чуа, логистического

отображения, одномерного TENT-отображения и двумерного отображения Хеннона, генератор Ван дер Поля с нелинейной обратной связью. Фрактальные сигналы могут быть получены на основе функции Вейерштрасса [1, 2].

Так как хаотический или фрактальный сигналы являются широкополосными, то в них потенциально может быть введен больший объем передаваемой информации практически без изменения спектральных и статистических характеристик самого сигнала. Это позволяет, например, использовать сравнительно низкочастотные широкополосные колебания для маскировки передаваемого сообщения. Существуют методы нелинейного ввода информации в хаотический сигнал. Эти методы позволяют построить систему скрытой передачи информации. Высокочастотные и сверхвысокочастотные СШП сигналы, в настоящее время, используются системах нелицензируемой (не требующей специального разрешения на использование) локальной связи – малогабаритные приемо-передатчики беспроводных сенсорных сетей и персональных систем связи. Основные преимущества использования таких систем связи – это высокая устойчивость к интерференции, работа в условиях многолучевого распространения и сложной электромагнитной обстановки.

Техника генерации хаотических и фрактальных сигналов находится в стадии становления, и инженерные решения в основном строятся на базе традиционных систем генерирования колебаний. Особое значение при этом имеет отбор существующих решений на модельном уровне и практически реализуемых устройств на существующей элементной базе, в частности на сигнальных процессорах с фиксированной точкой, используемых для формирования и анализа хаотических и фрактальных колебаний. Нашли практическое применение аналоговые генераторы хаотических сигналов, работающие в СВЧ диапазоне. В вычислительных экспериментах генерация и обработка сигналов осуществляется цифровыми методами. В реальных системах сочетаются аналоговые способы генерации и цифровые способы обработки сигналов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на создание гибридных аналого-цифровых устройств генерирования сверхширокополосных колебаний.

Получить генератор пригодный для получения низкочастотных и высокочастотных колебаний можно на основе ранее рассмотренного генератора фрактального сигнала для передачи информации в радиотехнических системах [3]. В качестве прототипа рассматривалось известное устройство генерации фрактального сигнала с заданными основными характеристиками [4] (рис. 1, 2).

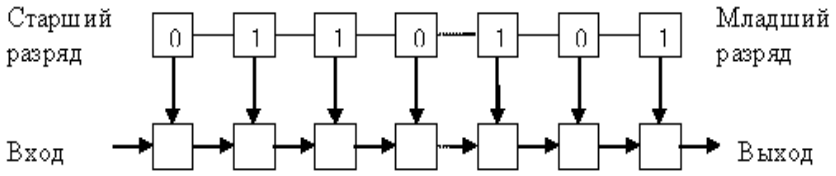


Рис. 1. Генератор фрактального сигнала

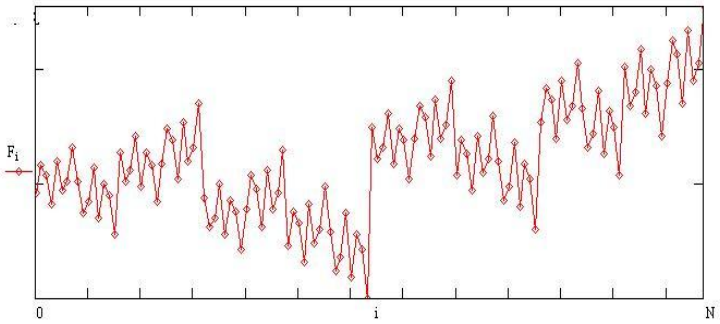


Рис. 2. Фрактальный сигнал

Это генератор фрактального сигнала с программируемыми свойствами, который содержит двоичный N – разрядный счетчик. В результате работы генератора формируется последовательность чисел с периодом повторения 2^N. Работает генератор следующим образом. Пусть каждый элемент такого счетчика связан с двухполюсником, который может находиться в двух состояниях. Если в соответствующем разряде счетчика находится «0», то на выходе двухполюсника сигнал равен $b(1+x)$, где x – входной сигнал. Если в этом разряде находится «1», то на выходе двухполюсника сигнал равен $-a(1+x)$. Здесь «a» и «b» некоторые регулируемые параметры. Все двухполюсники связаны в цепочку, как показано на рисунке. На вход этой цепочки подается сигнал – $x_{вх} = \frac{b}{(1-b)}$. На выходе такой цепочки будет генерироваться сигнал, описываемый рекуррентным соотношением: $x_{2n} = b(1+x_n)$, $x_{2n+1} = -a(1+x_n)$. Здесь «n», – дискретное время, отсчитываемое счетчиком.

Описанный генератор выдает сигнал с известными характеристиками, в частности, величина размерности Хаусдорфа – D, генерируемой последовательности, вычисляется из простого соотношения: $a^D + b^D = 1$.

Такой сигнал может использоваться в проводных каналах связи.

На рис. 3 показан фрагмент генерируемого сигнала и его спектр. Величины параметров: $a = 0.7$; $b = 0.8$. Значение $D = 2.436$. Видно, что спектр выходного колебания имеет фрактальную структуру.

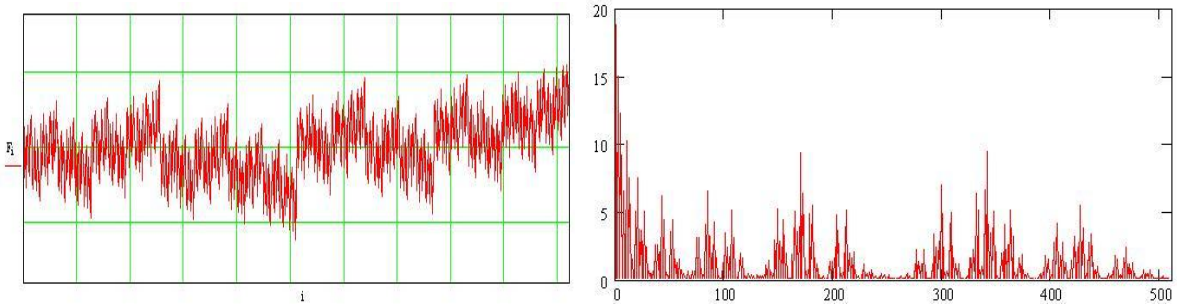


Рис. 3. Колебание на выходе фрактального генератора и его спектр

Предлагается модифицировать данный генератор следующим образом. Значениями амплитуд выходного колебания осуществляется модуляция длительности прямоугольных импульсов. Дискретные сигналы в простом случае можно получить на основе множества Кантора. Минимальная длительность импульса определяется частотными свойствами цифровых элементов. Дискретный сигнал (фрагмент) и его спектр представлены на рис. 4. Спектры аналогового и дискретного сигналов на отдельных частотных интервалах имеют схожую фрактальную структуру.

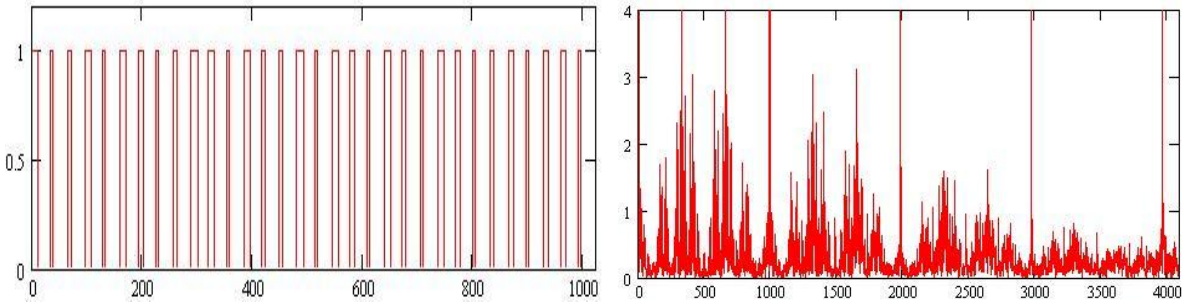


Рис. 4. Дискретный фрактальный сигнал и его спектр

Из спектра дискретного сигнала видно, что на отдельных интервалах частот образы огибающих схожи. С увеличением частоты спектр становится более равномерным. Это можно объяснить дискретностью длительностей импульсов. То есть наложением на спектр колебания шума квантования. Далее поступим следующим образом: выберем частоты на одном из интервалов, где спектр имеет фрактальную структуру, а затем восстановим временную реализацию колебания. На рис. 5 показан амплитудный спектр на выделенном частотном интервале.

Восстановленный сигнал имеет относительную полосу частот примерно 0,4 и может быть причислен к сверхширокополосным. Фрагменты временных реализаций сигналов на различных временных интервалах (в двух масштабах) показаны на рис. 6.

Представляет интерес вычисление размерности Хаусдорфа – D, полученного сигнала.

Значение $D = 2.71$, что несколько выше размерности исходного сигнала. Это можно объяснить исключением энергоемких низкочастотных составляющих из спектра исходного колебания и наложением «шума» квантования дискретного сигнала.

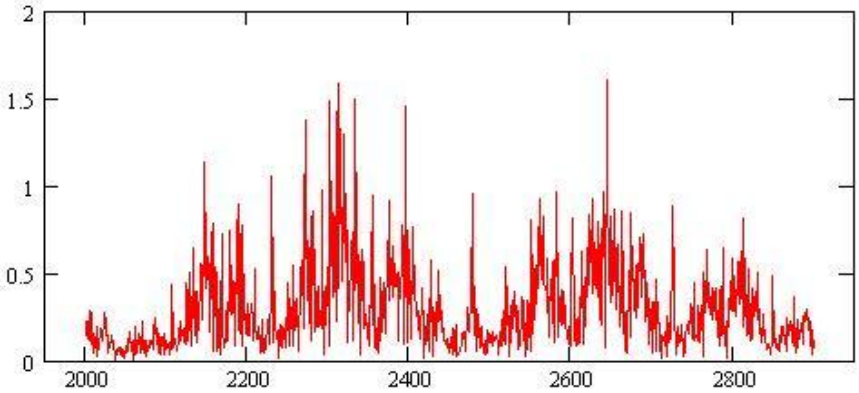


Рис. 5. Спектр фрактального сигнала в заданном диапазоне частот

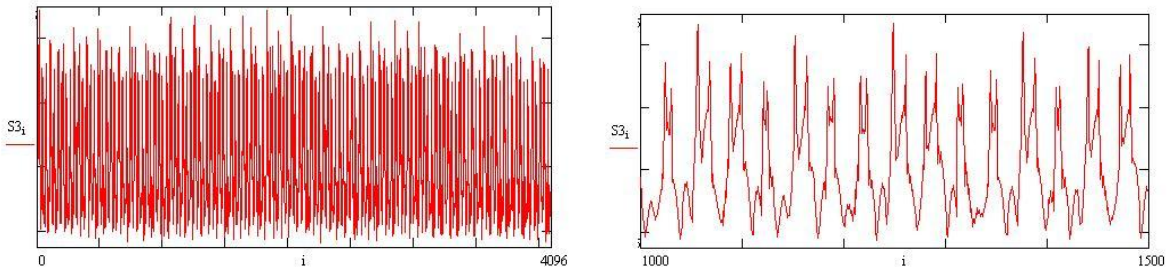


Рис. 6. Широкополосный сигнал с фрактальным спектром

Ввод информации производится в дискретный сигнал. Дальнейшие исследования проводятся в направлении выбора способа кодирования и декодирования сообщения.

Таким образом, предложен метод получения широкополосных сигналов, на основе генератора фрактального сигнала, с заданными свойствами.

Библиографический список

1. Андреев, Ю.В. Сверхширокополосные сигналы для беспроводной связи / Ю.В. Андреев, А.С. Дмитриев и др. // Радиотехника. – 2008. – № 8. – С. 83–90.

2. Капранов, М.В. Сигналы с аддитивной фрактальной структурой для передачи информации / М.В. Капранов, А.В. Хандурин // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2011. – № 2. – Т. 16. – С. 23–36.

3. Казимиров, А.Н. Генератор фрактальных сигналов для широкополосных радиотехнических систем передачи информации / А.Н. Казимиров, В.Ф. Тележкин // Доклады 14-й международной конф. «Цифровая обработка сигналов и ее применение» (DSPA-2012). – М., 2012. – С. 253–254.

4. Кузнецов, А.П. Генератор фрактального сигнала / А.П. Кузнецов, С.П. Кузнецов // Письма в ЖТФ. – 1992. – Т. 18. – Вып. 24. – С. 19–21.

К содержанию

УДК 621.37.01:519.216.3 + 621.391

МОДЕЛЬ АВТОРЕГРЕССИИ УЗКОПОЛОСНОГО СИГНАЛА

Е.А. Петряков, А.Н. Рагозин

В работе приведено сравнение методов прогнозирования числовой последовательности ограниченного по ширине спектра сигнала и оценка точности его прогноза.

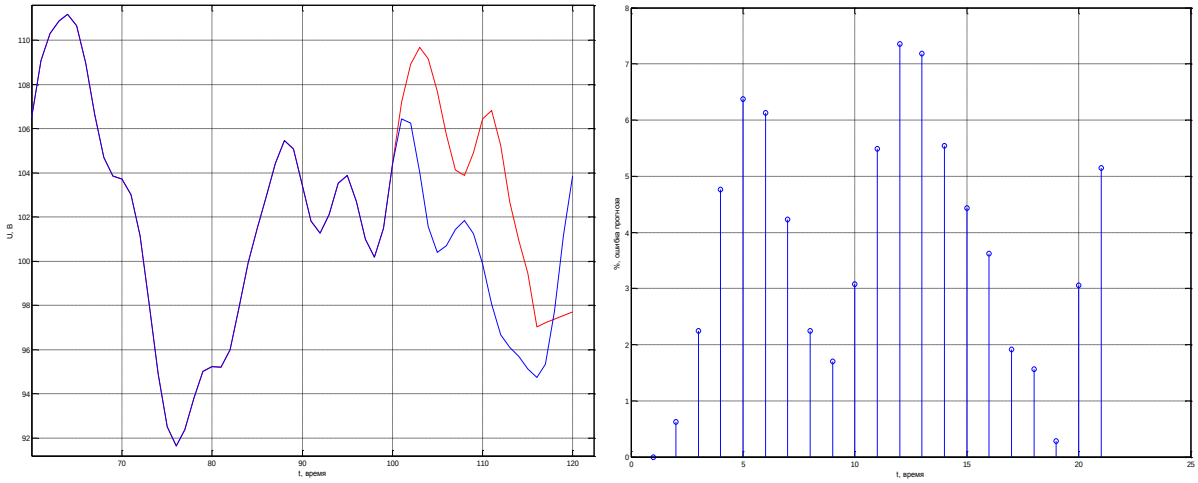
Ключевые слова: прогнозирование, авторегрессия, временные ряды, узкополосные сигналы.

На сегодняшний день прогнозирование временных рядов является одним из самых актуальных и перспективных направлений исследований в области обработки сигналов. Оно нашло применение в таких научных дисциплинах, как экономика, медицина, энергетика, статистика, радиолокация и т.д.

Существует большое количество подходов к прогнозированию, но каждый из них дает определенную погрешность, что связано с упрощением модели и не всегда подходит для сложных сигналов. Одним из самых простых является метод авторегрессии [1,4,5], однако не существует общего подхода к подбору параметров его модели и контролю ошибки на всей длине прогнозируемой числовой последовательности. В связи с этим не учитываются случаи присутствия в рядах динамики (кроме известного случая линейной регрессии) временного тренда и экзогенных воздействий, что сужает область их прогнозирования [2]. Самое лучшее, что предлагается в литературе – это априорная установка значения некоторых параметров моделей.

В среде matlab есть стандартная функция создания полиномиальной модели авторегрессии ar, которая возвращает весовые коэффициенты модели, но не позволяет сказать, какой у нее должен быть порядок [5]. Таким образом, встала задача определить оптимальный порядок и определить участок временного ряда, под который будет подгоняться модель. Для определения порядка необходимо проводить обучение модели на выбранном участке известного сигнала, контролируя ошибку.

Вначале задача была решена «в лоб». В качестве исследуемой последовательности были взяты 100 отсчетов реального узкополосного сигнала. Модель подгонялась под длину всего сигнала. Порядок подбирался по учебному участку – последние 3 отсчета известного сигнала – методом минимизации максимума ошибки (применять метод наименьших квадратов (МНК) не рекомендуется в [3], в правоте чего мы убедились в ходе эксперимента). Прогнозирование осуществляется на 20 отсчетов. И в результате нашего примера, модель имеет невысокую точность – порядка 7,5 % (рис. 1). Задача – увеличить точность.



а) б)

Рис. 1. Прогнозирование сигнала «в лоб» с помощью модели AR (а) и график ошибки прогноза в данном случае (б)

Теперь рассмотрим структуру исследуемого сигнала и определим, какие именно значения мы будем подбирать. На рис. 2 представлено разбиение исходного сигнала (*s*) на фрагменты (*m*, *L*), а так же прогноз, который мы должны получить (*p*). Суть метода – перебирая все возможные значения длин *m* и *L*, а так же порядка n, добиться минимума ошибки прогноза последовательности m на участке *L*, а затем достроить прогноз p на основе модели авторегрессии, полученной по участку *m*.

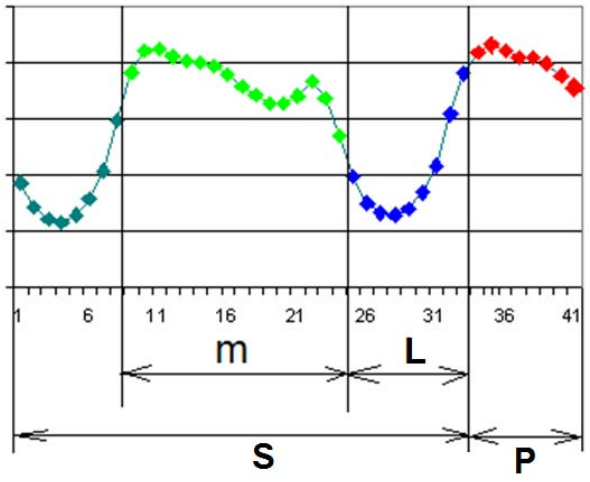


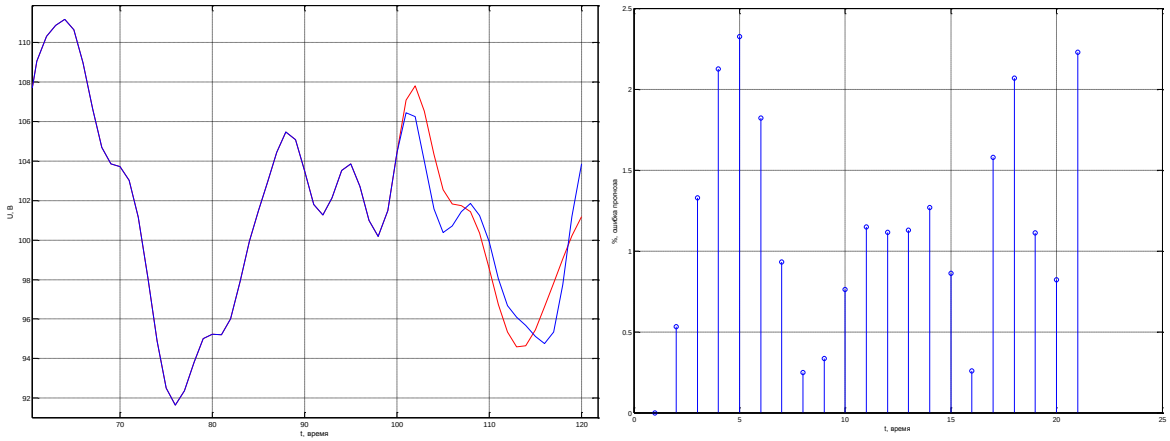
Рис. 2. Структурная модель прогнозируемого сигнала

Было исследовано несколько сигналов с разной шириной спектров, прогноз велся на 20 отсчетов, длина сигналов – 100 отсчетов.

Решим сначала ту же задачу, для которой мы применяли упрощенную адаптацию только по порядку модели.

Как мы видим на рис. 3, нам удалось добиться большой точности для *m*=61 и *L*=2, а отклонение от реального значения не превышает 2,5 %.

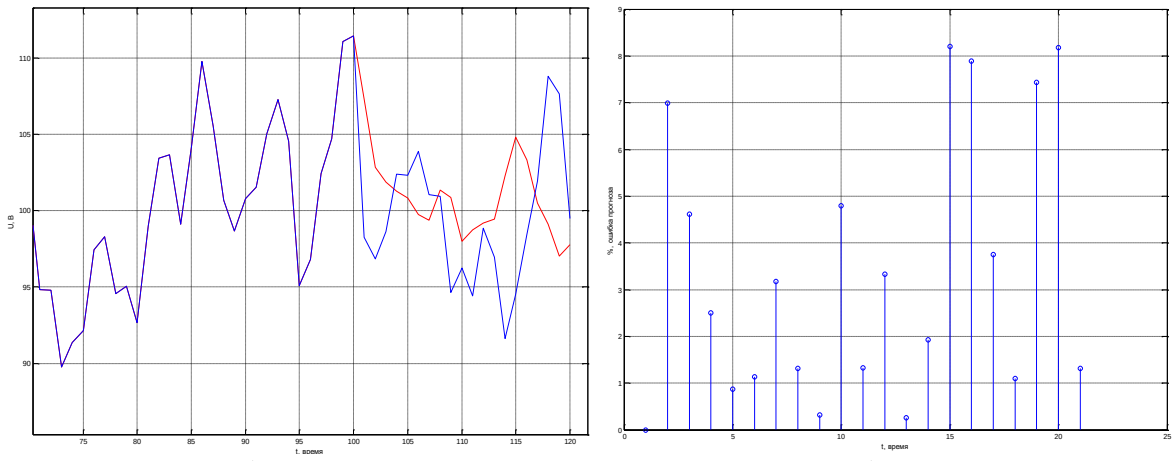
Рассмотрим так же сигнал со спектром в два раза шире предыдущего и определим, как изменятся отклонения и параметры для новой модели.



а) б)

Рис. 3. Построение прогноза для узкополосного сигнала адаптивной моделью AR (а) и график модуля относительной ошибки для прогноза адаптивной моделью AR (б)

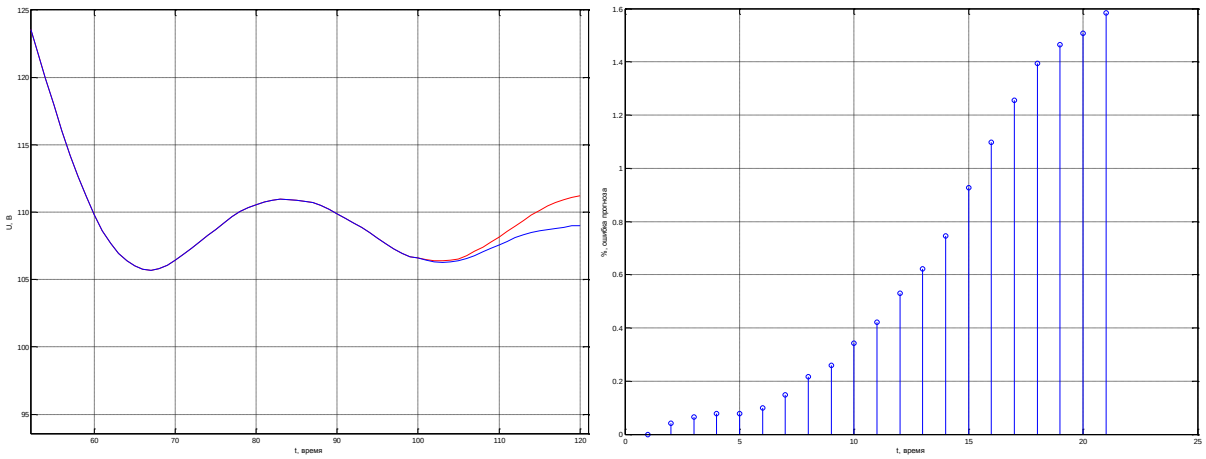
Как мы можем видеть на рис. 4, точность стала хуже, m=91 и L=9, а максимальное отклонение от реального значения уже приближается к 8 %, появились нежелательные выбросы. Можно выдвинуть гипотезу, что на нашу модель влияет высокочастотная компонента сигнала.



а) б)

Рис. 4. Построение прогноза для широкополосного сигнала адаптивной моделью AR (а) и график модуля относительной ошибки для прогноза адаптивной моделью AR (б)

Если мы возьмем полосу спектра в 2 раза уже, чем в первом рассмотренном случае, то получим ярко выраженную степенную зависимость ошибки с увеличением прогноза. Можно выдвинуть гипотезу, что на нашу модель влияет низкочастотная компонента сигнала.



а) б)

Рис. 5. Построение прогноза для узкополосного сигнала адаптивной моделью AR (а) и график модуля относительной ошибки для прогноза адаптивной моделью AR (б)

Таким образом, был автоматизирован выбор параметров модели, что повысило точность прогноза.

Обобщая, отметим, что предложенный подход позволил осуществить уже структурную идентификацию, не предполагая априорного количественного знания отдельных параметров. В дальнейшем предполагается применять данный метод для анализа кратно-масштабированных по частоте последовательностей. Так же предстоит выяснить, можно ли обнаруживать высокочастотные и низкочастотные компоненты, влияющие на устойчивость модели и устранять их.

Библиографический список

1. Семенычев, В.К. Идентификация экономической динамики на основе моделей авторегрессии / В. К. Семенычев. – Самара.: АНО «Изд-во СНЦ РАН», 2004. – 243 с.

2. Семенычев, В.К. Эконометрическое моделирование и прогнозирование рядов динамики на основе параметрических моделей авторегрессии: дис. ... д-ра экон. наук / В.К. Семенычев. – Самара: Самар. гос. аэрокосмический ун-т им. акад. С.П. Королева, 2005. – 306 с.

3. Бокс, Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 2. / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М.: Мир. 1974. – 197 с.

4. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Теория вероятностей и прикладная статистика / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2001. – 656 с.

5. Чучуева, И.А. Модель прогнозирования временных рядов по выборке максимального подобия: автореф. дис. ... канд. техн. наук / И.А Чучуева. – М., 2012. – 16 с.

К содержанию

УДК 533.9 + 621.371

РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАЗМЕННОЙ ОБОЛОЧКИ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ В МЕЗОСФЕРЕ ВОКРУГ ЛА ПРИ ГИПЕРЗВУКОВОМ ДВИЖЕНИИ

В.И. Тамбовцев, И.А. Шевяков, А.М. Хаютин

Одно из направлений в физике ионизованного газа связанно с изучением возмущений среды вокруг сверхзвукового ЛА в мезосфере Земли, что необходимо при рассмотрении вопроса организации надежного радиоканала связи. В работе для исследования механизма радиопрозрачности возмущенной среды в качестве модели рассматривается столкновительный ионизованный газ и его плазменное состояние.

Ключевые слова: плазменная оболочка, столкновительный ионизованный газ, мезосфера, летательный аппарат, фронт ударной волны, радиопрозрачность, скин-слой.

Введение

Перед спускаемым аппаратом (СА) образуется ударная волна (УВ). Происходит ионизация газа и его снос по потоку. И, как следствие, возникает проблема с организацией радиообмена. Существуют также вопросы и для радиолокации. Рабочая частота ω при этом должна превышать критическую частоту ω_o, которая равняется электронной плазменной частоте $\omega_p=2\pi\nu_p$ для плазменного состояния. Если частота столкновений электронов ν_e превышает расчетное значение плазменной частоты ν_p, то ионизованный газ не достигается плазменного состояния, но существенно ослабляет радиосигнал. Эти задачи возникают и на активном участке траектории вывода космического аппарата (КА). Так значительную часть времени КА многоразового использования находится в мезосфере Земли (*40...45 – 85…90 км*), развивая при этом супер звуковую скорость. Актуальность задачи возрастает в связи с развитием космического туризма.

Образование оболочки

В скачке уплотнения ударной волны (УВ) происходит нагрев газа, диссоциация… и, наконец, ионизация. Известно, что керамическая защита антенны СА разогревается до *3000 К*. Газ же достигает температуры 10^4 *К*. На рис. 1 представлен результат компьютерного моделирования [1]. СА малого размера окутываются плазмой практически полностью. У крупных объектов с обратной стороны относительно направления вектора движения остается окно радиопрозрачности.

На рис. 2 показана расчетные зависимости электронной плотности n_e от скорости СА v при торможении на различных высотах [2]. Плотность n_e возрастает с уменьшением высоты, но скорость v уменьшается. На высоте

h=75 км при скорости *v=5 км/с* плотность $n_e \approx 10^{12}$ *см*$^{-3}$ при частоте столкновений $\nu_e \approx 10^{11}$ *Гц*, что наблюдается и на высоте *h=100 км*.

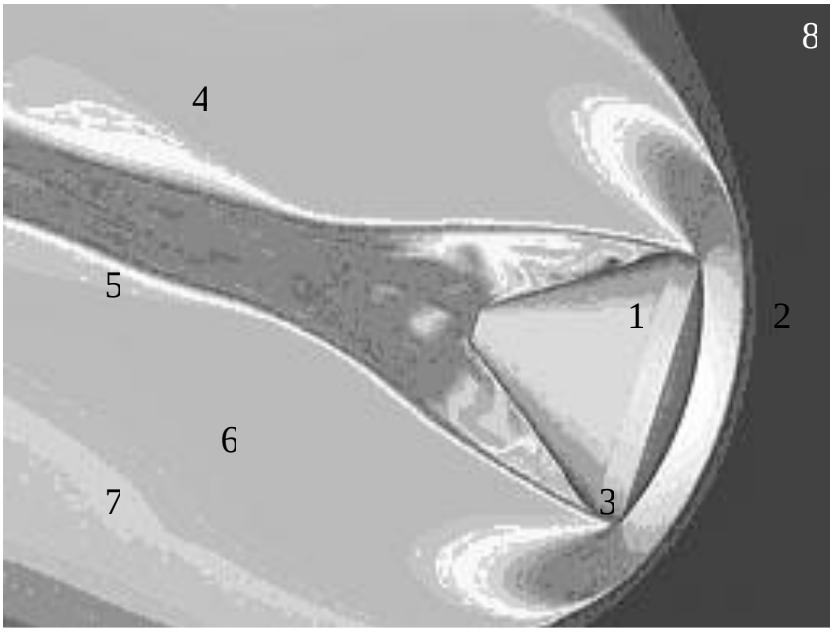


Рис. 1. Торможение СА: 1 – космическая капсула;
2 – область УВ с температурой *6000 К* и выше;
3 – спутный поток с температурой *5000 К*; 4 – след, *4000 К*;
5 след, – *3000 К*; 6 – область перемешивания, *2000 К*;
7 – то же, *1000 К*; 8 – невозмущенное пространство

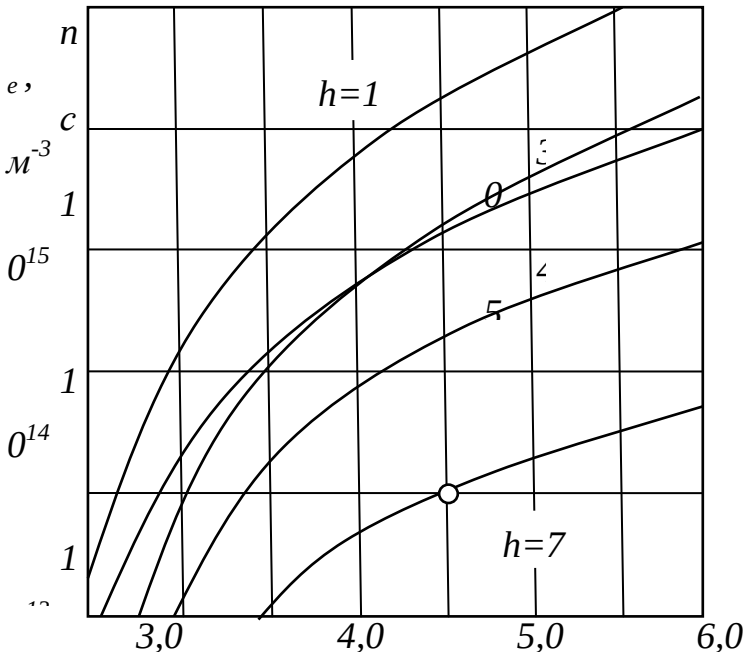


Рис. 2. Плотность электронов n_e в области прямого скачка уплотнения в зависимости от скорости движения *v* при торможении СА

На рис. 3 в качестве примера представлена схема температурного нагружения поверхности Бурана [3]. Максимальная температура в носовой части 1410 °С. Разогрев газов осуществляется за счет ударной волны. Температурное поле оболочки с учетом 10 % коэффициента теплопереноса вблизи поверхности на порядок выше (точными данными авторы не располагают).

Исследуемая среда

При обтекании сверхзвуковым газовым потоком твердого тела на его передней кромке образуется ударная волна (иногда и не одна, в зависимости от формы тела). На рис. 4 видны ударные волны, образованные на острие фюзеляжа модели, на передней и задней кромках крыла и на заднем окончании модели [3].

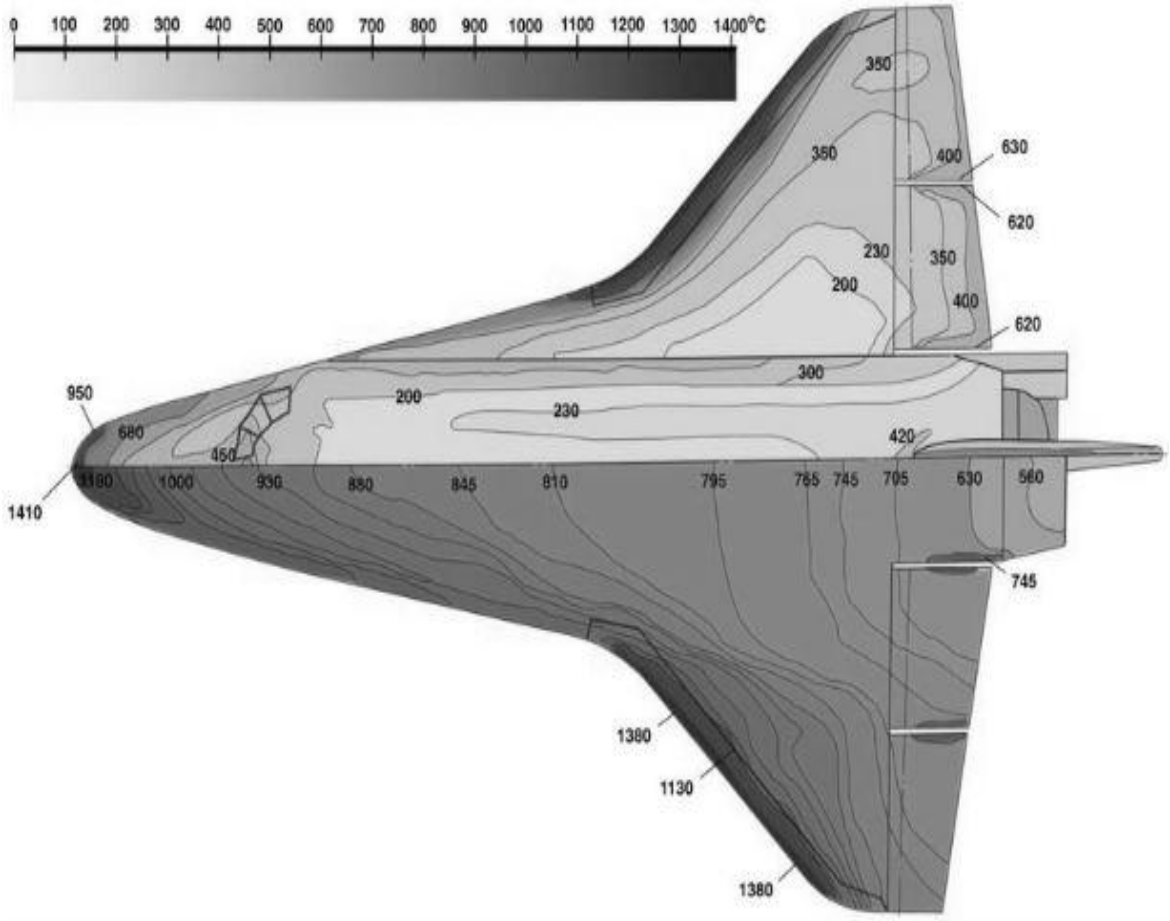


Рис. 3. Уровни внешнего нагрева корпуса Бурана: h = 63 км, M = 17

На фронте ударной волны скачкообразно происходят кардинальные изменения свойств потока – его скорость относительно тела снижается и становится дозвуковой, давление в потоке и температура газа скачком возрастают. Толщина фронта ударной волны имеет порядок длин свободного пробега молекул, что позволяет в расчетах фронт заменить поверхностью

разрыва [4]. За фронтом газ образует по направлению *Z* слоистую структуру и внутри слоев газ можно считать однородным. Т.н. адиабата Гюгонио идет круче, чем дозвуковая адиабата. Для гиперзвуковых УВ (число Маха *M= v/a* превышает *6*) для плотности ρ получается:

$$\frac{\rho_1}{\rho_0} = \frac{(\gamma+1)}{(\gamma-1)}. \qquad (1)$$

Здесь γ – показатель классической адиабаты. Индекс «0» соответствует невозмущенной части, «1» – для сжатого состояния.

Предельное сжатие для одноатомного газа равно *4* (три степени свободы), а для двухатомного – *6* (пять степеней свободы). Оставшаяся при относительном торможении энергия идет на нагрев газа, диссоциацию, ионизацию…

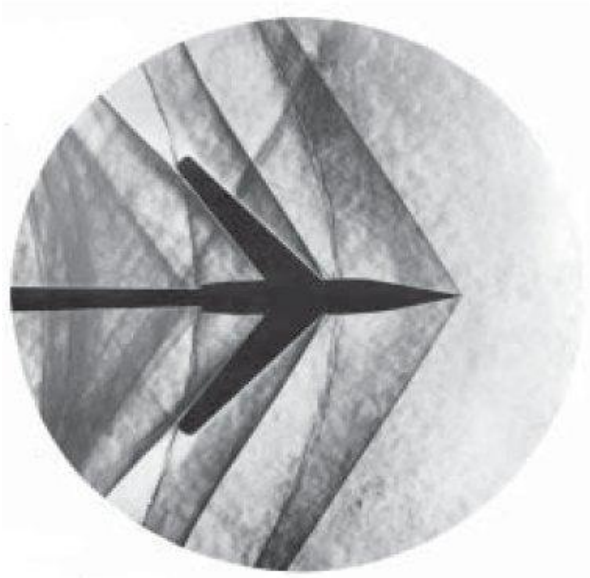


Рис. 4. Ударные волны в сверхзвуковой аэродинамической трубе, образующиеся при обтекании модели летательного аппарата

Обратимся к электронной компоненте ионизованного газа, которая определяет радиофизические свойства исследуемой среды. Степень ионизации определяется скоростями прямых и обратных процессов. Условие равновесия ионизации при электронном ударе и рекомбинации при тройных столкновениях имеет вид: $k_1 n_a n_e = k_2 n_i n_e^2$, где n_a, n_i и n_e – концентрации атомов, ионов и электронов; k_1 и k_2 – константы скоростей процессов. Концентрация заряженных частиц определяется формулой Саха. Таким же соотношениями определяется равновесие при термической ионизации – происходят идентичные процессы.

Запишем формулу Саха для концентрации электронов n_e [4]:

$$n_e = (2m_e)^{3/4}(kT)^{1/4}P_o^{1/2}h^{-3/2}exp(-e\varphi_u/(kT)), \qquad (2)$$

где P_o – давление нейтрального газа, m_e и e – масса и заряд электрона, $e\varphi_u$ – энергия ионизации, h – постоянная Планка, kT – кинетическая температура. В расчете используется температура электронов. В смеси газов рас-

сматривается легкоионизируемая компонента, концентрация которой n_o. Естественно, что $n_e \le n_o$. Но, если не хватает легкоионизируемой компоненты, то пополнение электронной концентрации происходит за счет следующей по степени ионизации компонентой.

Столкновительный ионизованный газ (СИГ) – это трехкомпонентная среда электронов, ионов и атомов (молекул) с относительно малой степенью ионизации. Радиус Дебая-Гюккеля – δ характеризует масштаб квазинейтральности или электрической неоднородности СИГ (здесь и далее предполагается, что параметры приводятся в усредненном виде). Кулоновское взаимодействия частиц мало, в сравнении с kT, при выполнении неравенства: $e/4\pi\varepsilon_o\delta<kT/e$, где ε_o – электрическая постоянная (в СИ).

Основными характеристиками СИГ также являются ν_e – частота столкновений электронов и ω_p – плазменная частота [5]:

$$\nu_e = \frac{u_e}{\lambda}; \quad \omega_p = \left(\frac{n_e e^2}{\varepsilon_o m_e} \right)^{1/2}. \tag{3}$$

Плазменные колебания могут развиваться и существовать на τ_e – интервале между двумя столкновениями: $\tau_e=1/\nu_e$. Характерные параметры для *ионизованного газа* и *газовой плазмы*:

$$\omega_p\tau_e>1,\ \delta<<L,\ N_\delta>>1 - \ \textit{газовая плазма};$$
$$\omega_p\tau_e<1,\ \delta<<L,\ \tau_M=\varepsilon_o/\sigma,\ N_\delta>>1 - \ \textit{ионизованный газ}. \tag{4}$$

Здесь L – линейный масштаб исследуемой среды, N_δ – количество заряженных частиц в сфере Дебая, τ_M – максвелловское время установления квазинейтральности (для СИГ связано с ν_e), σ – коэффициент электропроводности. При малом N_δ – газ становится слабоионизированным, и тепловое движение «маскирует» действие кулоновских сил. При $2\pi\nu_e>\omega_p$ электроны сталкиваются с частицами газа столь часто, что характер их движения определяется газодинамическими, а не электрическими силами.

Характер поведения электронов в целом определяется дифференциальным уравнением движения (относительно координаты Z):

$$m_e \frac{d^2 z_e}{dt} = -eE_z + \nu_e m_e \frac{d(z_o - z_e)}{dt} + \frac{e^2 n_e}{\varepsilon_o}(z_o - z_e). \tag{5}$$

Последнее слагаемое определяет наведенное поле за счет динамического воздействия со стороны нейтральной компоненты при ее движении. Если исключить влияние внешнего поля E и массовое движения газа, то, естественно, получается плазменная частота ω_p.

В рамках феноменологического подхода радиофизические свойства СИГ описываются «материальными уравнениями среды». Диэлектрические свойства среды характеризуются относительной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon(\omega)$, а проводящие свойства – проводимостью $\sigma(\omega)$.

В переходной области применимы комплексные характеристики. Комплексная проницаемость **ε** в мнимой части содержит проводимость: **ε** = $\varepsilon - i\sigma/(\varepsilon_o\omega)$, что связано с наличием «потерь». Представим проводимость в комплексной форме: $\boldsymbol{\sigma} = \sigma_r - i\sigma_i$. Рассмотрим материальное уравнение для плотности тока: $\boldsymbol{j} = \sigma\boldsymbol{E}$, *где* $\boldsymbol{j} = en_e\boldsymbol{u}$. Запишем уравнение движения (5) в комплексной форме для электронов, имеющих скорость $u(t) = U\exp(i\omega t)$:

$$m_e \frac{du(t)}{dt} = i\omega m_e u(t) = -e\mathrm{E} - \nu_e m_e u(t). \qquad (6)$$

Из материального уравнения и уравнения движения получаем действтеную – σ_r и мнимую – σ_i компоненты комплексной проводимости:

$$\sigma_r = \frac{e^2 n_e}{m_e}\frac{\nu_e}{\nu_e^2+\omega^2}; \quad \sigma_i = \frac{e^2 n_e}{m_e}\frac{\omega}{\nu_e^2+\omega^2}. \qquad (7)$$

Радиофизические свойства среды СИГ

Итак, рассмотрим два принципиально различных состояния СИГ – плазменное и не плазменное. Для фазовой функции – β и функции затухания – α известны частотные зависимости [6]:

$$\beta^2 = \frac{\omega}{2c^2(\nu_e^2+\omega^2)}\left(\sqrt{\omega^2(\nu_e^2+\omega^2-\omega_p^2)^2+\nu_e^2\omega_p^4}+\omega(\nu_e^2+\omega^2-\omega_p^2)\right), \qquad (8)$$

$$\alpha^2 = \frac{\omega}{2c^2(\nu_e^2+\omega^2)}\left(\sqrt{\omega^2(\nu_e^2+\omega^2-\omega_p^2)^2+\nu_e^2\omega_p^4}-\omega(\nu_e^2+\omega^2-\omega_p^2)\right). \qquad (9)$$

A. Не плазменное состояние столкновительного ионизованного газа – собственно СИГ при $2\pi\nu_e > \omega_p$ (здесь ω_p – расчетный параметр). На толщине скин-слоя δ поглощение происходит практически без отражения. Заметим, что диапазон перехода к радиопрозрачности здесь четко не определен.

В правых частях уравнений (8 и 9) введем безразмерные частоты относительно ν_e:

$$\nu_r = \frac{\omega}{2\pi\nu_e} \text{ и } \nu_{rp} = \frac{\omega_p}{2\pi\nu_e}. \qquad (10)$$

В левых частях (8 и 9) введем безразмерную форму записи:

$$\beta_A^2 = \beta^2\frac{c^2}{\nu_e^2} \text{ и } \alpha_A^2 = \alpha^2\frac{c^2}{\nu_e^2}. \qquad (11)$$

После выполнения подстановок получаем:

$$\beta_A^2 = \frac{2\pi^2\nu_r^2}{\omega(1+4\pi^2\nu_r^2)}\left(\sqrt{\omega^2(1+4\pi^2(\nu_r^2-\nu_{rp}^2))^2+16\pi^4\nu_{rp}^4\nu_e^2}+\omega(1+4\pi^2(\nu_r^2-\nu_{rp}^2))\right), \qquad (12)$$

$$\alpha_A^2 = \frac{2\pi^2\nu_r^2}{\omega(1+4\pi^2\nu_r^2)}\left(\sqrt{\omega^2(1+4\pi^2(\nu_r^2-\nu_{rp}^2))^2+16\pi^4\nu_{rp}^4\nu_e^2}-\omega(1+4\pi^2(\nu_r^2-\nu_{rp}^2))\right). \qquad (13)$$

Анализ представленных здесь частотных зависимостей (рис. 5, 6) показывает, что действительно для СИГ необходимо доопределить значение частоты или частотный диапазон перехода к радиопрозрачности (см. А).

Однако на фазовых частотных зависимостях можно отметить особую частотную область, где они сливаются в линию одинакового наклона. Окончательно это происходит при единичной относительной частоте.

B. Плазменное состояние столкновительного ионизованного газа – СГП, если $2\pi\nu_e \leq \omega_p$. Среда становится радиопрозрачной при частоте, превышающей ω_p. Отражение наблюдается на частоте ω ниже ω_p, но при $\omega > 2\pi\nu_e$.

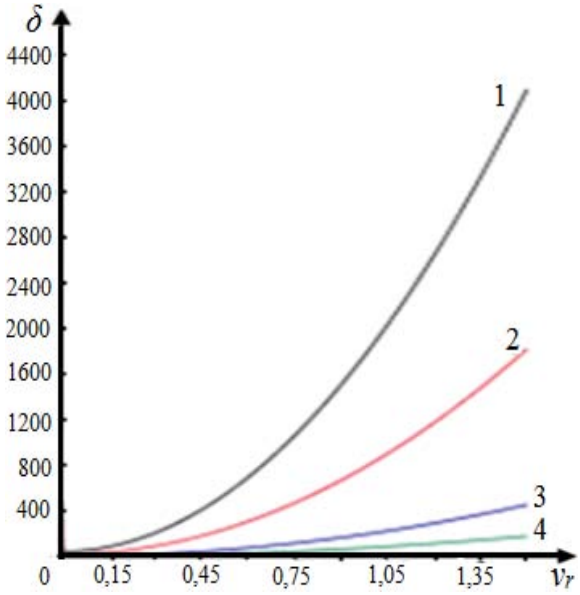


Рис. 5. Зависимости глубины скин-слоя от частоты ν_r для СИГ

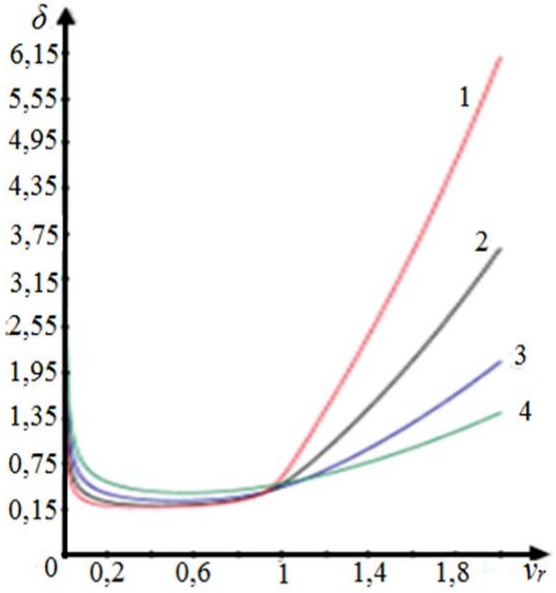


Рис. 6. Зависимости глубины скин-слоя от частоты ν_r для СГП

В правых частях уравнений (8) и (9) введем относительные частоты:

$$\nu_r = \frac{\omega}{\omega_p} \text{ и } \nu_{re} = \frac{\nu_e}{\omega_p}. \quad (14)$$

$$\alpha_B^2 = \frac{\nu_r}{2(\nu_{re}^2 + \nu_r^2)}\left(\sqrt{\nu_r^2(\nu_{re}^2 + \nu_r^2 - 1)^2 + \nu_{re}^2} - \nu_r(\nu_{re}^2 + \nu_r^2 - 1)\right), \quad (15)$$

$$\beta_B^2 = \frac{\nu_r}{2(\nu_{re}^2 + \nu_r^2)}\left(\sqrt{\nu_r^2(\nu_{re}^2 + \nu_r^2 - 1)^2 + \nu_{re}^2} + \nu_r(\nu_{re}^2 + \nu_r^2 - 1)\right), \quad (16)$$

где:

$$\beta_B^2 = \beta^2 \frac{c^2}{\omega_p^2} \text{ и } \alpha_B^2 = \alpha^2 \frac{c^2}{\omega_p^2}. \quad (17)$$

Анализ представленных здесь частотных функций показывает, что действительно значение частоты перехода к радиопрозрачности для СГП определяется выражением: $\omega \geq 2\pi\nu_e$ (см. ***B***), что соответствует относительной частоте $\nu_r = \omega/\omega_p$ равной *1*. Для анализа изменения глубины проникновения электромагнитной волны в среду воспользуемся обратной зависимостью от функции затухания – здесь это касается выражения (15). Для СГП с параметрами: 1) $\nu_{re} = 1/\sqrt{30}$, 2) $1/\sqrt{10}$, 3) $1/\sqrt{3}$, 4) 1, частотные зависимости для δ представлены на рис. 6. Переход к радиопрозчастота действительно наступает при относительной частоте равной единице, и тем резче, чем меньше частота столкновений. На низких частотах (меньше 0,5 относительной частоты) функции затухания уменьшаются, т.к. длины волн превышают значения скин-слоя и условие модельности нарушается.

Выводы

Для СИГ, среда становится прозрачна для радиоволн при значении их частоты превышающей частоту электрон-атомных столкновений (в 1,5–2 раза). Для СГП прозрачность среды наступает с превышением частоты радиоволн значения плазменной частоты, выражается в линейности зависимости фазовой постоянной и стремящейся к нулю постоянной затухания. Критическая частота достигает значения 10 ГГц на высоте 70 км [5, 7].

Переход от безразмерных к абсолютным параметрам не требует каких–либо дополнительных математических преобразований и сводится лишь к умножению. Для нахождения оптимальной частоты, зная параметры среды (ν_e и ω_p) и толщину плазменного слоя, необходимо потребовать, чтобы последняя была меньше расчетной величины скин-слоя.

Библиографический список

1. Wolverton, M. Piercing the Plasma: Ideas to Beat the Communications Blackout of Reentry / M. Wolverton // Scientific American. – New York: Scientific American. 2009. – № 12. – Pp. 28–29.

2. Клеймон, Дж. След объекта входящего в атмосферу / Дж. Клеймон // Ракетная техника и космонавтика. – 1964. – Вып.10.

3. Литвинов, А.А. Радиопрозрачность ионизованной оболочки, образующейся вокруг гиперзвукового объекта в мезосфере / А.А. Литвинов, В.И. Тамбовцев, И.А. Шевяков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015 (в печати).

4. Шевяков, И.А. О радиопрозрачности плазменной оболочки гиперзвукового летательного аппарата / И.А. Шевяков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика. Механика. Физика». – 2014. – Т. 6. –№ 2. – С. 80–84.

5. Тамбовцев, В.И. Радиофизические свойства столкновительной плазмы газового разряда / В.И. Тамбовцев, И.А. Шевяков, А.А. Кучуркин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика. Механика. Физика». – 2013. – Т. 5. – № 1. – С. 100–106.

6. Баринов, А.Е. Моделирование радиочастотных характеристик плазменных образований для гиперзвукового объекта в мезосфере Земли / А.Е. Баринов, И.И. Прокопов, В.И. Тамбовцев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика. Механика. Физика». – 2014. – Т. 6. – № 2. – С. 72–76.

7. Тамбовцев, В.И. Оценка затухания радиосигнала при прохождении ударной волны гиперзвукового аппарата / В.И. Тамбовцев, И.А. Шевяков // Радиотехника и кибернетика. – Труды МФТИ. – 2013. – № 56. – С. 188–190.

К содержанию

УДК 004.9 + 005:004

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ ПРЕДПРИЯТИЕМ

М.В. Булгакова

В статье рассматривается необходимость использования информационных технологий в управлении предприятием, рассматриваются различные этапы использования информационных технологий. Раскрываются пять шагов, которые помогут эффективно организовать управление предприятием.

Ключевые слова: информационные технологии, информационные системы, управление предприятием, управленческие и экономические задачи.

Каждому предприятию, организации, фирме в условиях рыночной экономики, в процессе ее деятельности приходится постоянно сталкиваться с большими потоками информации. При этом из больших объемов информации нужно отобрать действительно нужную и ценную информацию, соответствующую поставленным задачам конкретной организации. Поэтому, в сложившихся условиях все более важной становится роль информационных технологий. К тому же, в условиях рынка довольно сложно организовать рациональное управление предприятием для сохранения его устойчивого финансового и социально-экономического развития. На сегодняшний день в нашей стране и во всем мире существует множество крупных корпораций с филиалами в различных городах и странах мира, управление которыми организовать сложно и практически невозможно. И в этой области, на мой взгляд, в современном мире нельзя обойтись без информационных технологий.

Что касается современных предприятий, то здесь огромную роль имеют программы, обеспечивающие безопасность данных, определению доходов и расходов, программы, позволяющие представлять информацию в систематизированном и понятном виде, оплаты через интернет, как по локальному, так и по глобальному соединению.

Прежде всего, хотелось бы начать с таких незаменимых помощников в руках современного офисного работника, как MS-WORD и MS-EXCEL. MS-WORD представляет собой текстовый процессор, который позволяет создавать, просматривать и редактировать текстовые документы. При помощи данной программы можно создавать годовые и месячные отчеты о доходах и расходах предприятия. MS-EXCEL всегда помогает произвести экономико-статистические расчеты в достаточно короткие сроки. Это значительно облегчает работу специалиста и уменьшает вероятность допущения ошибки при произведении подсчетов.

Руководители, бухгалтеры, программисты, начальники отделов продаж, интересующиеся автоматизацией учета в своей фирмы используют программу «С1: Предприятие». Это многофункциональная программа, понятная как персоналу, так руководителям организации. Данная программа осуществляет банковский, налоговый и управленческий учеты.

Огромную роль в ведении бизнеса играет безопасность электронных данных. В эпоху развитых информационных технологий «хакерские нападения» являются нередким явлением. Для того чтобы исключить возможность несанкционированного доступа в базы данных вашей компании также используются современные информационные технологии. Для решения данной проблемы компаниями используются антивирусы, которые защищают персональный компьютер от шпионских и рекламных программ, позволяют спокойно работать в интернете, исключая возможность занесения вируса на свой компьютер, что приводит к его поломке и как следствие утере или утечке данных. Также существуют антиспам-фильтры для защиты почты от рекламных писем (спама) и выявления зараженных и опасных вложений.

Перейдем к платежным поручениям предприятий. Сегодня все более широкое распространение получила такая форма платежа, как безналичный расчет. Безналичные расчеты – это платежи, осуществляемые без использования наличных денег, посредством перечисления денежных средств по счетам в кредитных учреждениях (банках). Покупка дорогостоящего оборудования, ресурсов и даже оплата электроэнергии производится путем перевода денежных средств на счет получателя.

Управление современным предприятием в условиях рыночной экономики представляет собой сложный процесс, включающий выбор и реализацию определенного набора управленческих воздействий на текущих временных отрезках с целью решения стратегической задачи обеспечения его устойчивого финансового и социально-экономического развития. И даже в такой области как управление широкое распространение получили современные информационные технологии. Информационные технологии управления – это совокупность информации, экономико-математических методов и моделей, технических, программных, других технологических средств и специалистов, а также предназначенная для обработки ин-

формации и принятия управленческих решений. Сегодня на рынке информационных технологий представлено огромное количество поставщиков, но остановимся на компании Emerson, разработки которой как нельзя лучше подходят для решения проблем автоматизации управления на предприятиях нашей страны.

Компания Emerson была основана в 1890 году. Сегодня – это диверсифицированная глобальная производственная компания и поставщик инновационных технологий и решений с более чем 130 000 сотрудников. Компания обладает большим опытом внедрения инновационных технологий во все сферы жизни – от построения глобальных дата-центров до автоматизации нефтяных платформ.

В 2013 году ее продажи составили $24,7 млрд. Emerson является одной из немногих акционерных компаний с более чем 50-летней историей роста дивидендов. Она объединяет в себе 5 бизнесов, крупнейшим из которых является бизнес Emerson Process Management, занимающийся автоматизацией технических процессов на предприятиях.

Одной из известных разработок данной компании по всему миру является система управления DeltaV. Данная программа предоставляет возможность управлять всеми составляющими конфигурации Вашей системы. Несколько пользователей могут одновременно конфигурировать систему и иметь доступ глобальной базе данных. Программа довольно таки проста в применении. Используются такие инструменты, как «вырезать», «копировать», «вставить» и «перетащить». Данная программа широко применяется на таких предприятиях, как ОАО «Нижнекамскнефтехим», ОАО «Казаньоргсинтез».

Как уже говорилось выше, организовать управление предприятием, которое имеет филиалы в различных точках мира очень сложно. Наша страна известна во всем мире своими богатейшими источниками нефти, которые так же расположены друг от друга на больших расстояниях. Для решения данной проблемы компания Emerson предлагает следующую разработку. Технология SmartWireless позволяет увеличить количество точек контроля и сократить число так называемых «белых пятен» на промышленных объектах, автоматизировать процесс управления производством и повысить эффективность работы по удаленному управлению добычей и разработкой нефтегазовых месторождений. Данная разработка успешно решает задачи управления на таких предприятиях России, как ОАО «Татнефть», ОАО «Нижнекамскнефтехим».

Недавней разработкой компании стало создание iOps-центра. Данная технология позволяет в режиме реального времени наблюдать за процессом производства, на каком-либо предприятии, а что самое главное – этот центр позволяет дистанционно управлять производственными комплексами, находящимися в неблагоприятных условиях и принимать оптимальные решения для ведения бизнеса. Данная разработка, на мой взгляд, просто необходимо для нашей страны.

Все это лишь малый пример того, как информационные технологии облегчили управленческие и экономические задачи на современных предприятиях. В современном мире в рыночной экономике ни одно предприятие, ни одна организация не может обходиться без информационных технологий. Большое количество расчетов требует от специалистов точности и результативности. Именно поэтому все отчеты, договора, расчеты расходов и доходов и прочая документация ведутся при помощи персонального компьютера.

Кроме того, применение информационных систем для получения конкурентных преимуществ сегодня играют стратегическую роль, так как помогают организации получить конкурентные преимущества [2]. Информационная технология и информационная система сами по себе не дают конкурентных преимуществ. Их нужно использовать для поддержки стратегии конкуренции. Нами предлагается рассмотреть 5 моментов, которые помогут эффективно организовать управление предприятием, способствовать его процветанию и развитию.

Во-первых, точное понимание понятия «коммуникация». Коммуникация, которая удовлетворяет потребность в общении, может иметь место лишь в том случае, если отправитель и получатель информации понимают друг друга [1]. Иными словами: важен обмен между субъектами. Еще важно понять, что такое коммуникационный менеджмент, как с его правильным использованием можно добиться больших успехов в бизнесе.

Коммуникационный менеджмент – посредством интегрированной коммуникации с целевыми аудиториями способствует достижению максимальной эффективности по всем направлениям развития организации в условиях изменяющейся внешней среды.

Т.е. предприятие должно обрабатывать и разрабатывать правильно всю информацию. А именно, входящие информационные потоки (отзывы клиентов, потребности рынка, запросы от клиентов, информация о схожих продуктах), исходящие информационные потоки (информация о новинках, информационно-рекламные материалы). Также следует наладить коммуникацию между руководителями и работниками (вертикальная информация). Вертикальная информация бывает нисходящая (приказы, стратегические цели предприятия) и восходящая (отчеты, предложения, мнения, жалобы). Также очень важна горизонтальная информация (общение между членами одной и той группы, одного иерархического уровня, обмен мнениями, опытом, фактами, данными). Грамотный руководитель должен уделить этому большое внимание, правильное использование информации дает огромное конкурентное преимущество предприятию на рынке.

Во-вторых, важность идеологии:

Зачем идти? – Миссия

Куда идти? – Видение

Как идти? – Ценности.

Без идеологии нет менеджмента коммуникации. Идеология может быть формализованная или неформальная. Но она должна быть. Неформальная идеология характерна для молодых предприятий. В любом случае в процессе развития потребуется ее формализация.

Для проектирования и исполнения Идеологии нужны грамотные кадры. Кадры наряду с информацией являются одними из главных источников успешного бизнеса.

В-третьих. Изучать! Постоянно!

Коммуницирование без обратной связи – нулевой результат или даже вред. Необходимо изучать рынок и все новшества, и отзывы о работе.

В-четвертых, внутренние и внешние коммуникации не надо насаждать. Они должны прорастать лучше меньше, да лучше и не упускать моменты, когда можно небольшими усилиями добиться многого…

И наконец, в-пятых, неизбежно подстраиваться под имеющиеся условия.

А чтобы это эффективно делать важно как можно точней и конкретней сформулировать цели, сформировать план, контролировать и корректировать его выполнение.

Описанные моменты, безусловно, будут способствовать развитию вашего успешного дела. Главное помнить, что современная экономика – это экономика знаний. Кто владеет информацией, тот владеет миром…

Таким образом, внедрение информационных технологий очень сложный процесс, поэтому требует постоянной доработки и корректировки в связи с быстрым развитием науки и техники, а значит и быстрым обновлением технологий. Поэтому каждая компания должна обладать соответствующими ресурсами: персоналом, который обладает знаниями и умениями для работы с новыми технологиями; инструментарий, представленный в виде программного обеспечения; информацией, которая будет проверена, достоверна и будет достаточно защищена. Конечно, внедрение информационных технологий это очень дорогостоящее мероприятие, зато его проведение обеспечит дальнейшее развитие и процветание предприятия. Поэтому, роль информационных технологий в экономике и управлении предприятия очень велика.

Библиографический список

1. Булгакова, М.В. Информационные технологии в экономике: учеб. пособие / М.В. Булгакова. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2013. – 106 с.

2. Булгакова, М.В. Использование MS-OFFICE при нахождении решения математических задач / М.В. Булгакова // Вестник Южно-Уральского профессионального института: Научный журнал. – 2014. – Т. 13. – С. 18–24.

К содержанию

УДК 621.396.67

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА

Л.П. Кудрин, М.С. Воробьев

Представлена конструкция антенной системы с диаграммой направленности специального вида. Антенная система представляет собой линейную фазированную решетку. Рассмотрена конструкция отдельного излучателя с рефлектором. Представлены результаты экспериментального исследования макета антенной системы.

Ключевые слова: фазированная антенная решетка, излучатель, диаграммо-образующая схема, диаграмма направленности, конструкция.

Электрический расчет антенной системы с рефлектором сложной формы рассмотрена в [1]. В настоящей работе рассмотрена практическая реализация данной антенной системы с учетом эксплуатационных, электрических и технологических требований к ней. Из электрических требований можно выделить диапазон частот 960…1215 МГц, КСВн в диапазоне частот не более 1,4, уровень выходной мощности в режиме передачи 0,2 кВт (с кратковременным повышением до 0,4 кВт), ширину диаграммы направленности (ДН) в горизонтальной плоскости ±35° и специальную форму ДН в вертикальной [1]. Конструктивные решения должны приниматься с учетом снижения массогабаритных параметров и повышения технологичности.

В соответствии с вышеуказанными электрическими требованиями в [1] была синтезирована антенная система, представляющая собой линейную фазированную решетку (ФАР), состоящую из восьми полуволновых излучателей. Амплитудное распределение ФАР жестко определяется диаграммо-образующей схемой (ДОС) (обсуждается ниже), а фазовое распределение было синтезировано по заданной форме ДН в вертикальной плоскости с учетом рабочего диапазона частот. Поэтому основными задачами разработки антенной системы являются отработка конструкции излучателя ФАР, разработка ДОС и защита конструкции от внешних воздействий.

Конструкция излучателя ФАР является определяющей всей антенной системы. Главной особенностью излучателя заключается в относительной широкой рабочей полосе частот – 23 % относительно средней частоты, при достаточно жестких требованиях по согласованию. Это сложная задача, трудно поддающаяся теоретическому анализу. Рассматриваемая конструкция излучателя отрабатывалась экспериментально.

Классический полуволновый вибратор имеет довольно узкую полосу рабочих частот вследствие сильной частотной зависимости как реактивной, так и активной составляющих его входного сопротивления [2]. Активная составляющая изменяется несколько слабее. Снижению частотной зависимости вибратора способствует снижение его волнового сопротивления, чего можно добиться увеличением его поперечного размера. Однако это приводит к проблемам его возбуждения. На практике используется компромиссное решение в виде плавно изменяющегося сечения вибратора, начиная от точки возбуждения к концам плеч вибратора.

Другим способом расширения полосы пропускания является применение частотно-компенсирующих элементов. Примером такого элемента может служить четвертьволновый короткозамкнутый шлейф, подключенный ко входу вибратора [2]. Он же может быть использован и в качестве симметрирующего устройства. Однако для эффективной частотной компенсации требуется очень низкое волновое сопротивление шлейфа, трудно реализуемое на практике. Другим примером частотно-компенсирующего элемента может служить короткий пассивный вибратор, расположенный вблизи излучающего вибратора. Компенсация здесь обусловлена наводимым реактивным сопротивлением в активном вибраторе.

Очевидно, что для существенного расширения рабочей полосы частот целесообразно применить комплекс мер. Разработанная конструкция излучателя показана на рис. 1.

Вибратор, стойки его крепления и основание изготавливаются из листового материала. Плечи вибратора, таким образом, являются плоскими и имеют клиновидную форму. Небольшие скосы на концах плеч позволяют снизить отраженные от них волны. Плечи фиксируются относительно друг друга с помощью диэлектрической пластины прямоугольной формы. Вибратор устанавливается на отражателе с помощью двух стоек, выполненных в виде четвертьволновой симметричной линии. Волновое сопротивление такой полосковой линии слишком велико для того чтобы использовать ее в качестве частотно-компенсирующего элемента. Поэтому в конструкцию излучателя введена компенсационная пластина, выполняющая роль пассивного вибратора. Форма пластины, толщина подставок подобраны экспериментально для достижения максимального согласования в полосе рабочих частот. Наружная оплетка кабеля питания в месте соединения ее с плечом вибратора и по всей длине стойки пропаивается без зазоров.

Отработка конструкции производилась с учетом геометрии отражателя, исключающего излучение в задней полуплоскости. Геометрия отражателя в виде короба, рассчитанная в [1], показана на рис. 2.

Отражатель является одновременно несущей частью антенной системы. Поперечные размеры короба подобраны таким образом, чтобы, с одной

стороны, обеспечить необходимую ширину ДН в горизонтальной плоскости, и, с другой стороны, полностью скрыть излучатель (это позволило применить плоский обтекатель).

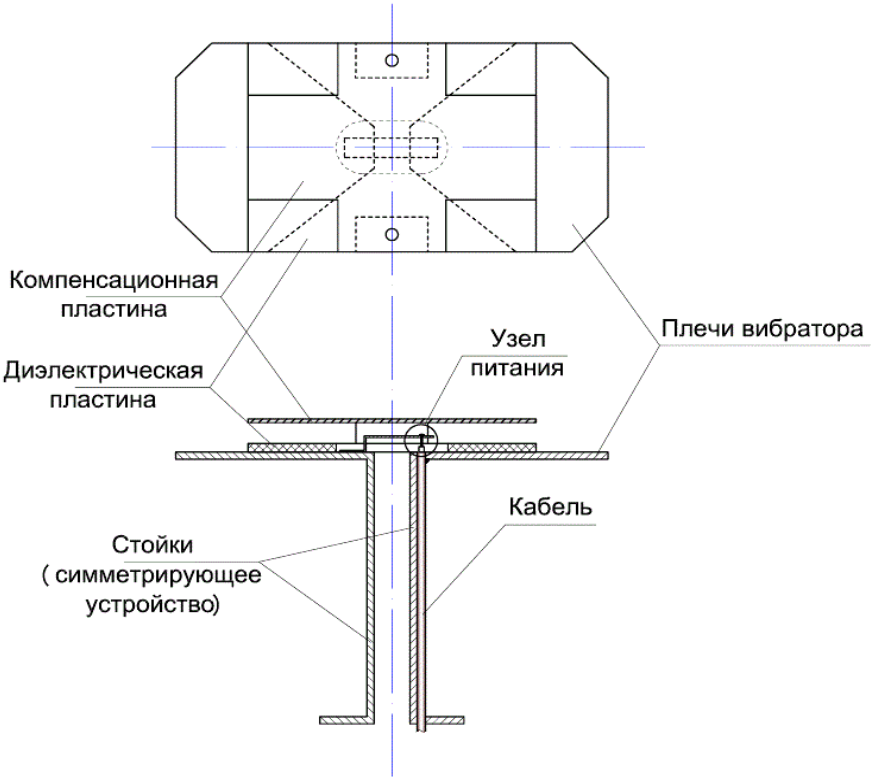
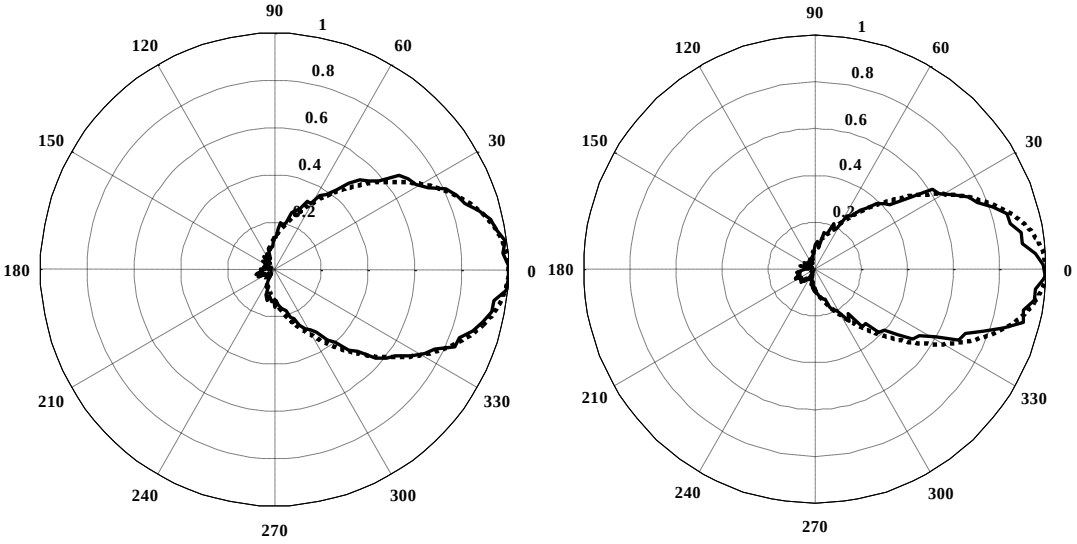


Рис. 1. Конструкция излучателя

Рис. 2 Установка излучателя в короб

Продольный размер короба определяется размещением восьми излучателей по его длине. Расчетная и экспериментальная формы ДН в горизонтальной плоскости показаны на рис. 3.



а) б)

Рис. 3. Диаграммы направленности излучателя антенной системы в горизонтальной плоскости (сплошная линия – расчетная ДН; штрих – экспериментальная ДН), а) – на частоте 960 МГц, б) – на частоте 1215 МГц

На рис. 4 приведены результаты экспериментального исследования согласования излучателя. Измерения ДН и согласования проводились на измерительном стенде антенного полигона с помощью измерителя комплексных коэффициентов передачи «Обзор-103» фирмы «Планар». Так как лучшее совпадение расчетных и экспериментальных результатов наблюдается на средней частоте (1080 МГц), то на рисунке представлены результаты ДН для менее благоприятных крайних частот диапазона.

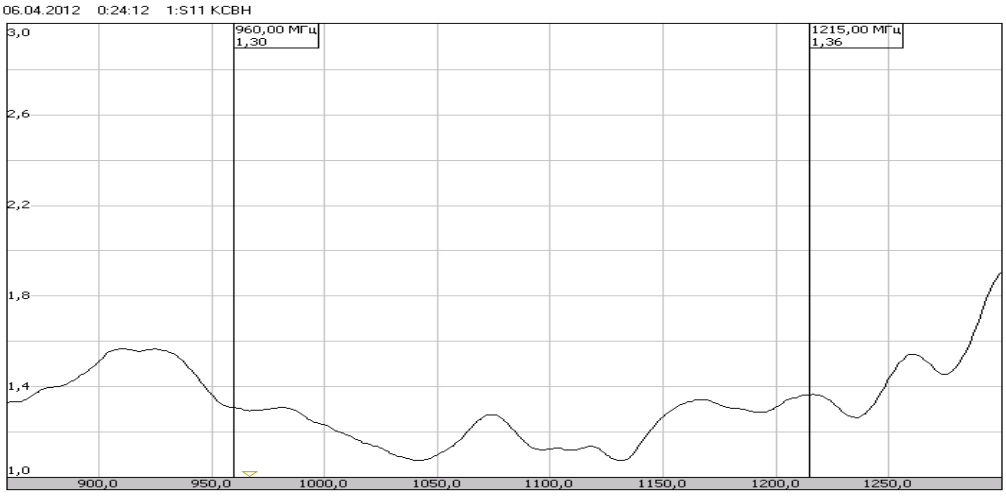


Рис. 4. Зависимость КСВн на входе излучателя от частоты

Диаграммо-образующая схема (ДОС) обеспечивает необходимое амплитудно-фазовое распределения на входах излучателей ФАР. Схема ДОС с антенной системой представлена на рис. 5. Формирование амплитудного распределения обеспечивают квадратурные мосты. Необходимое фазовое распределение [1] достигается длинами коаксиальных кабелей W1–W8 с учетом фазовых сдвигов в ДОС. Все квадратурные мосты WE1–WE7 расположены на плате из высокочастотного материала с 50-омными копланарными линиями передачи.

Балластные резисторы выбирались с учетом рассеиваемой мощности. Квадратурные мосты и балластные резисторы смонтированы на поверхность платы по SMD технологии.

Конструкция антенной системы аналогична конструкции отдельного излучателя с учетом их расположения в линейку. Все элементы ФАР (излучатели и ДОС) размещены внутри единого корпуса отражателя. Плата ДОС расположена посредине корпуса для минимизации длин фазирующих кабелей. Входной разъем антенной системы выведен на нижнюю торцевую стенку корпуса для удобства подключения фидерной системы. Все кабели проложены по стенкам корпуса и должны быть надежно закреплены. ДН ФАР в горизонтальной плоскости аналогична ДН отдельного излучателя и рассмотрены выше.

Расчетные и экспериментальные ДН ФАР в вертикальной плоскости, сформированные системой излучателей и ДОС, приведены на рис. 6. Качество согласования антенной системы представлено результатами экспериментального исследования на рис. 7.

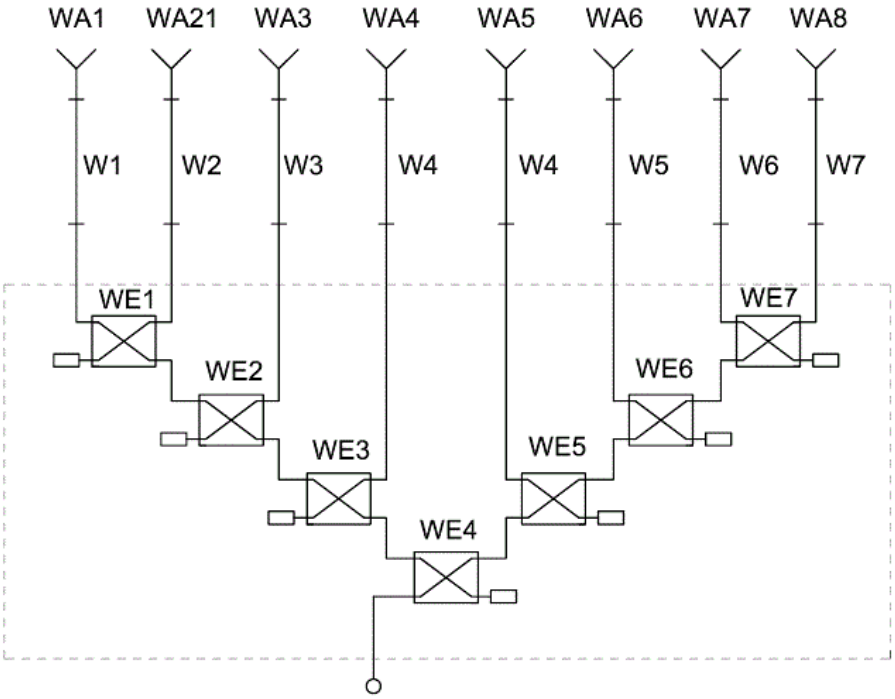
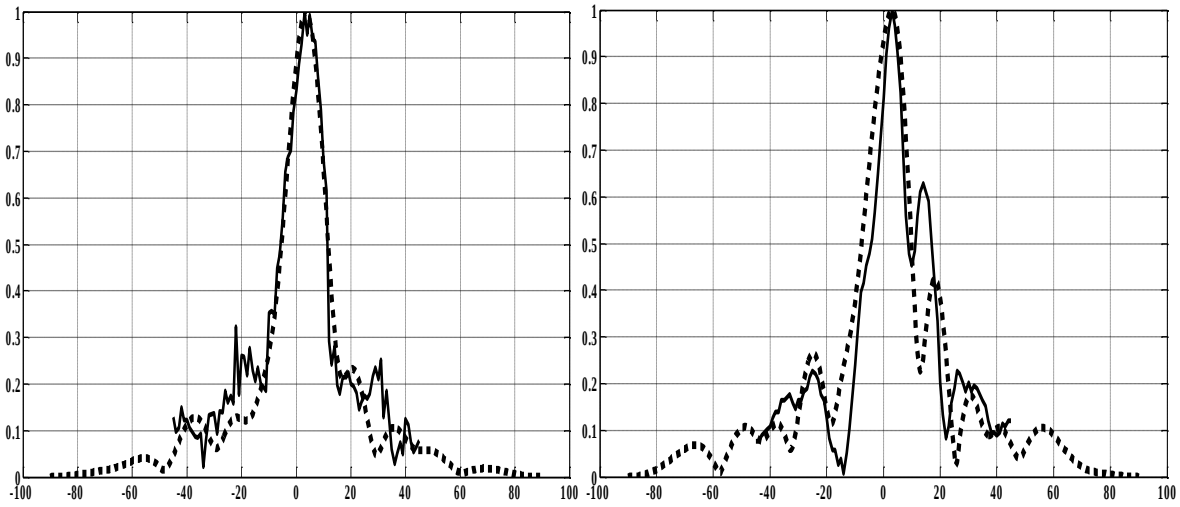


Рис. 5 Диаграммо-образующая схема с антенной системой



а) б)

Рис. 6. Диаграммы направленности ФАР в вертикальной плоскости (сплошная линия – расчетная ДН; штрих – экспериментальная ДН), а) – на частоте 960 МГц, б) – на частоте 1215 МГц

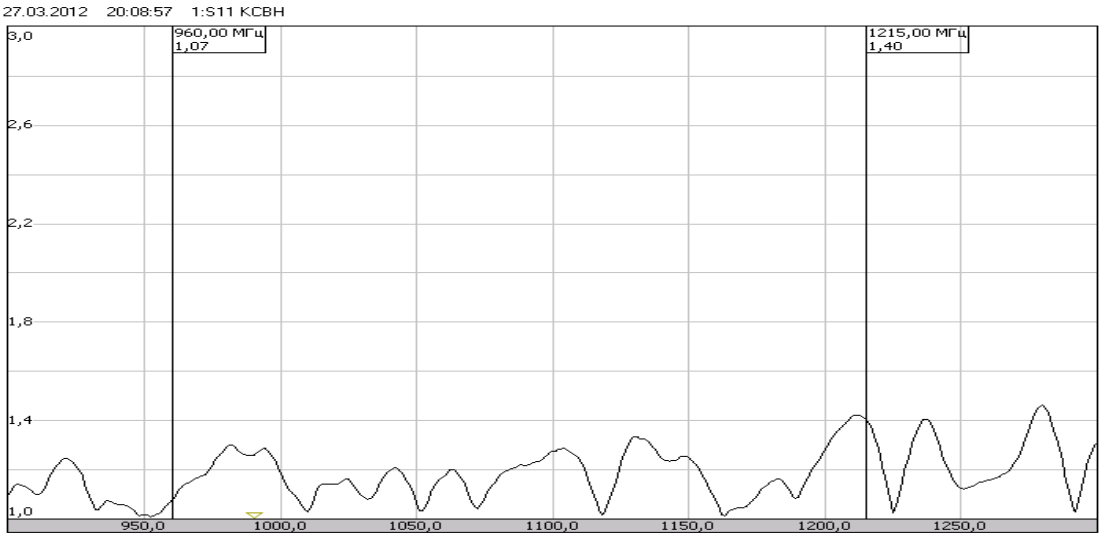


Рис. 7. Зависимость КСВн на входе антенной системы от частоты

Результаты экспериментального исследования антенной системы показывают качественное выполнение электрических требований.

Защита антенной системы от внешних воздействий обеспечивалась при принятии конструктивных решений. В антенной системе применяются материалы и компоненты, сохраняющие свои параметры в заданном температурном диапазоне. Защита ФАР от обледенения и прямого попадания осадков обеспечивается размещением всех компонентов ФАР в герметичном коробчатом корпусе, закрытом радиопрозрачным плоским обтекателем из листового стеклотекстолита с применением герметика при сборке. Механическая прочность конструкции ФАР обеспечивается ее коробчатым сечением с промежуточными перегородками (диафрагмами).

Выбранные простые конструктивные решения антенной системы позволяют использовать для их реализации листовые алюминиевые сплавы, применяя простые и доступные технологии вырубки и гибки, с последующим нанесением проводящих окисных покрытий. При этом масса антенной системы не превышает 10 кг.

Библиографический список

1. Хашимов, А.Б. Метод синтеза антенной системы / А.Б. Хашимов (См. настоящий сборник).
2. Антенно-фидерные устройства / А.Л. Драбкин, В.Л. Зузенко, А.Г. Кислов и др. – М.: Сов. Радио, 1974 – 536 с.

К содержанию

УДК 621.396.67 + 517.968

МЕТОД СИНТЕЗА АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ С РЕФЛЕКТОРОМ

А.Б. Хашимов

Задача проектирования антенной системы с заданными требованиями к полю излучения в вертикальной и горизонтальной плоскости включает в себя формулировки как внешней, так и внутренней задачи. Решение внешней задачи синтеза в виде оптимального фазового распределения реализовано отрезками фидерных линий, что приводит к необходимости учета неравномерности фазового распределения в заданной полосе частот. Амплитудное распределение функции возбуждения антенной решетки считается известным. Вводится функционала специального вида для учета требований к диаграмме направленности в вертикальной плоскости. Решение внешней задачи синтеза формы рефлектора производится переходом к эквивалентной двумерной задаче. Численное решение интегрального уравнения I рода методом коллокаций используется для оптимизации функционала, который учитывает требования к полю излучения в горизонтальной плоскости.

Ключевые слова: диаграмма направленности, амплитудно-фазовое распределение, антенная решетка, рефлектор, оптимизация, интегральное уравнение.

Общая классификация задач синтеза антенных систем (АС) предполагает решение внешних и внутренних задач синтеза. Внешние задачи – синтез амплитудно-фазового распределения (АФР) возбуждения АС, формирующего диаграмму направленности (ДН) в дальней зоне. Эта ДН должна быть максимально приближена к заданной ДН в соответствии с выбранными критериями: допустимое отклонение в области главного лепестка (на-

пример, по критерию минимума среднеквадратичного отклонения); допустимое превышения уровня боковых лепестков в заданных угловых секторах.

Внешние задачи синтеза для широкого круга задач подробно рассмотрены в большом количестве работ, например, [1], [2]. Методы решения внешних задач должны учитывать специфические особенности соответствующих функционалов для непрерывных и дискретных АС. В частности, для дискретных АС (антенных решеток) необходим обоснованный выбор расстояния между излучателями антенной решетки, так как множитель направленности (МН) АС может содержать побочные дифракционные максимумы в заданном секторе углов.

Внутренние задачи синтеза, в отличие от внешних задач, формулируются значительно сложнее. Если для внешних задач характерна определенная степень формализации математических моделей (ММ) АС (например, вариационная формулировка задачи синтеза АФР криволинейного излучателя имеет одинаковый вид, как для электрических, так и магнитных эквивалентных токов), то для внутренних задач решение производится только для конкретной АС. В частности, синтез геометрии сложного рефлектора для вибраторных антенн производится для заданного объекта установки с учетом ограничений на массогабаритные характеристики.

Сформулируем задачу проектирования АС системы со следующими параметрами: рабочая полоса частот – 980–1200 МГц; поляризация поля излучения – вертикальная; ширина ДН в горизонтальной плоскости – 70º, уровень обратного излучения – не более -25 дБ; ДН в вертикальной плоскости должна быть близка к косекансной ДН; коэффициент усиления – не менее 14 дБ относительно изотропного излучателя; АС должна иметь минимальные массогабаритные характеристики.

На первом этапе рассмотрим решение внешней задачи синтеза. С учетом ограничений на габариты наиболее рациональный и достаточно просто реализуемый вариант построения АС заключается в выборе линейной антенной решетки. Известные рекомендации [3] по выбору расстояния d между излучателями $(0{,}5\lambda < d < \lambda)$, где λ – средняя длина волны поля излучения, гарантирует отсутствие побочных дифракционных максимумов в МН антенной решетки, позволяет выбрать начальное значение N – количество излучателей. В качестве излучателей АС выберем полуволновые широкополосные вибраторы вертикальной поляризации. Такие излучатели широко используются на практике в диапазоне от метровых до сантиметровых волн, так как они обладают хорошими массогабаритными характеристиками, а их конструкции являются технологичными и не требуют дорогостоящих материалов. Для линейной антенной решетки необходима диаграммо-образующая схема (ДОС), которая обеспечивает деление сигнала от общего входа к излучателям АС. Наиболее распространенный вариант построения ДОС – схема деления, состоящая из ряда делителей-мостов (синфазных или квадратурных), соединенных отрезками фидерных

линий. Основная функция ДОС – обеспечение АФР возбуждения излучателей в полосе частот, при котором ДН АС в наибольшей степени приближена к заданной ДН. Такая схема деления предполагает, что амплитудное распределение возбуждения принимается фиксированным, а необходимое фазовое распределение обеспечивается выбором длин соответствующих фидерных линий. Недостаток такой ДОС – существенная частотная зависимость фазовых распределений, особенно для широкополосных АС. К достоинству ДОС с мостами, входы которых соединяются отрезками микрополосковых линий, относится компактность планарных СВЧ узлов, топологические параметры которых хорошо совместимы с общей конструкцией АС. Общие рекомендации по выбору амплитудного распределения, соответствующего заданной ДН, требуют выбора спадающего к краям АС амплитуд возбуждения излучателей. С учетом свойств мостов-делителей такое амплитудное распределение реализуется достаточно просто.

Таким образом, основными варьируемыми параметрами внешней задачи синтеза являются фазы излучателей антенной решетки. Общее выражение для МН линейной антенной решетки в вертикальной плоскости выглядит следующим образом [3]:

$$f_{\Sigma}(\theta)=\sum_{n=1}^{N} I_n \exp\left[i\left(\psi_n + kz_n \cos\theta\right)\right], \qquad (1)$$

где $I_n \exp(i\psi_n)$ – АФР возбуждения антенной решетки; $k=2\pi/\lambda$ – волновое число; z_n – координаты излучателей, ось АС совпадает с осью z. Тогда поле излучения антенной решетки в дальней зоне принимает следующий вид [1]:

$$\mathbf{E}(\theta)=\mathbf{i}_z U_{вх} F_{изл}(\theta)\, f_{\Sigma}(\theta)\frac{\exp(-ikr)}{r}, \qquad (2)$$

где $U_{вх}$ – амплитуда напряжения на входе ДОС; $F_{изл}(\theta)$ – ДН излучателя антенной решетки. Будем считать, что ДН излучателя в вертикальной плоскости определяется как ДН полуволнового вибратора над идеально проводящим бесконечным экраном. Такое допущение широко используется в практике синтеза АФР возбуждения антенных решеток, особенно для протяженных рефлекторов.

Синтез фазового распределения будем проводить на заданной частоте f. Сформируем целевую функцию следующего вида [1]:

$$\Phi(\boldsymbol{\psi})=\int\limits_{\theta_{csc}} \left|F(\theta)-F^{*}(\theta)\right|^2 d\theta + p\int\limits_{\pi\setminus\theta_{csc}} \left[F(\theta)-F^{*}(\theta)\right]^{+} d\theta \to \min, \qquad (3)$$

где $\boldsymbol{\psi}$ – вектор фазового распределения; $F(\theta)$ – ДН антенной решетки в вертикальной плоскости, определяемая из выражения (2); $F^{*}(\theta)$ – задан-

ная ДН в вертикальной плоскости; θ_{csc} – угловой сектор, в пределах которого необходимо обеспечить косекансную ДН; p – весовой коэффициент, регулирующий вклад в целевую функцию отклонений в различных угловых областях; знак «+» во втором слагаемом означает интегрирование функции, образованной при превышении заданной ДН.

На рис. 1 приведены ДН АС в вертикальной плоскости на трех частотах $f_н, f_{ср}, f_в$ и заданная ДН. Сравнение этих ДН показывает, что требования к полю излучения в основном выполнены. Отличия ДН АС диктуются, прежде всего, заранее определенным, фиксированным амплитудным распределением, вид которого может в значительной степени отличаться от оптимального. С другой стороны, если допустить возможность вариации амплитудного распределения, то результаты решения задачи синтеза в большинстве случаев невозможно реализовать практически. Это связано с ограниченными возможностями построения регулируемых амплитудных делителей. Тогда предварительный выбор реализуемого (но не оптимального) амплитудного распределения и синтез только фазового распределения в практике проектирования антенных решеток является наиболее рациональным. Но при этом степень приближения поля излучения АС к заданному виду может значительно уступать результатам решения задачи синтеза полного АФР [2].

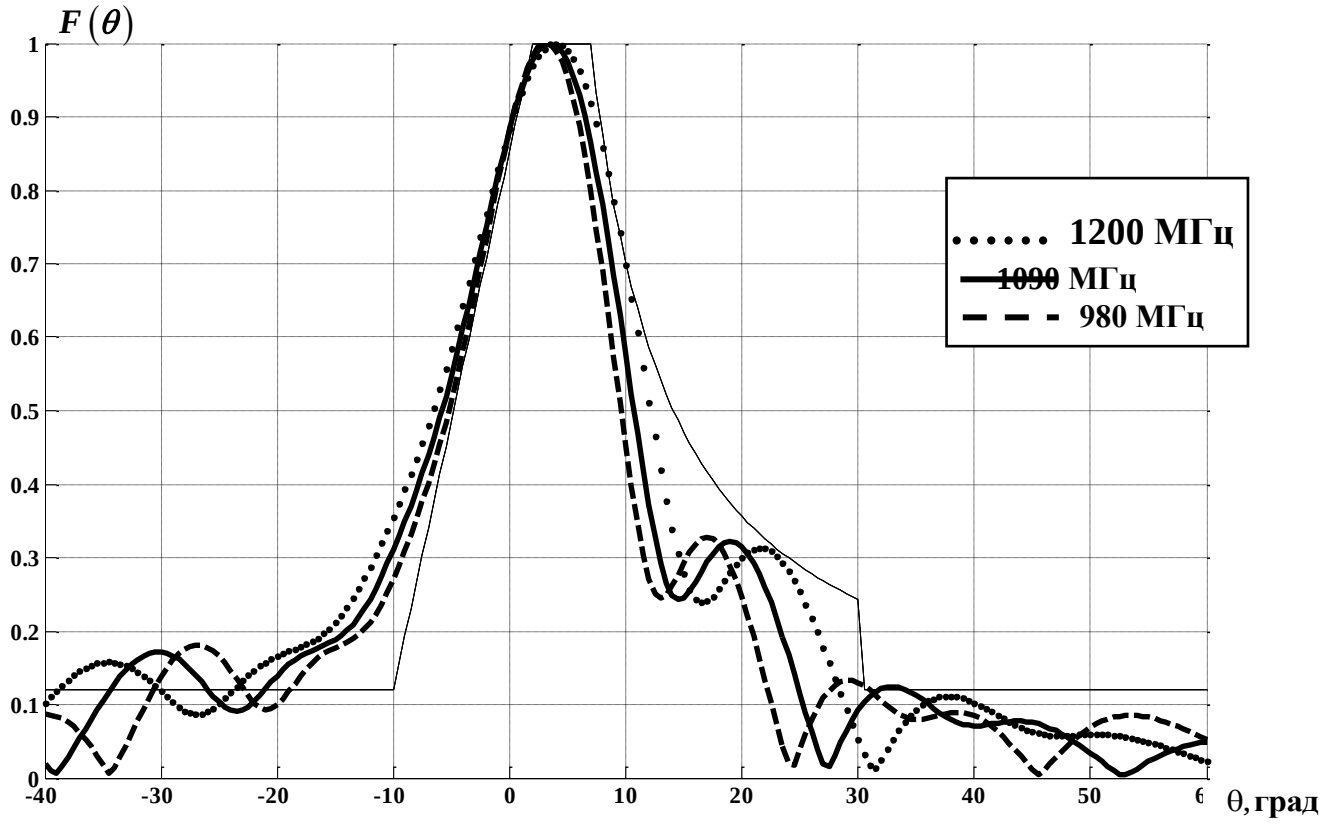


Рис. 1. Синтезированные ДН АС в вертикальной плоскости

На втором этапе будем решать задачу определения геометрии АС в плоскости поперечного сечения, что относится к внешним задачам синтеза [1]. Требования к ДН в горизонтальной плоскости предполагают введения в конструкцию АС рефлектора, форма и размеры которого должны быть определены с учетом заданных ограничений. Для заданной поляризации поля излучения с учетом основных результатов работ [5], [6] возможен переход к решению более простой двумерной задачи. Построение ММ АС в этом случае отличает меньшая размерность дискретного представления дифракционной задачи, к которой сводится взаимодействие излучающих элементов и рефлектора АС. Общий подход к решению дифракционных задач для сред с плоскостной симметрией (существует направление в пространстве, вдоль которого характеристики среды не меняются, все поверхности разрыва – цилиндрические бесконечно-протяженные поверхности с параллельными образующими) заключается в скаляризации исходной электродинамической задачи уже на этапе ее постановки. Такое понижение размерности задачи (переход от векторного интегрального уравнения по объему к скалярному по плоской области) очень эффективно, прежде всего, в вычислительном плане. Будем рассматривать ММ АС в горизонтальной плоскости в виде нити электрического тока I, расположенной над замкнутым контуром L (рис. 2). Пусть образующие контура параллельны оси z.

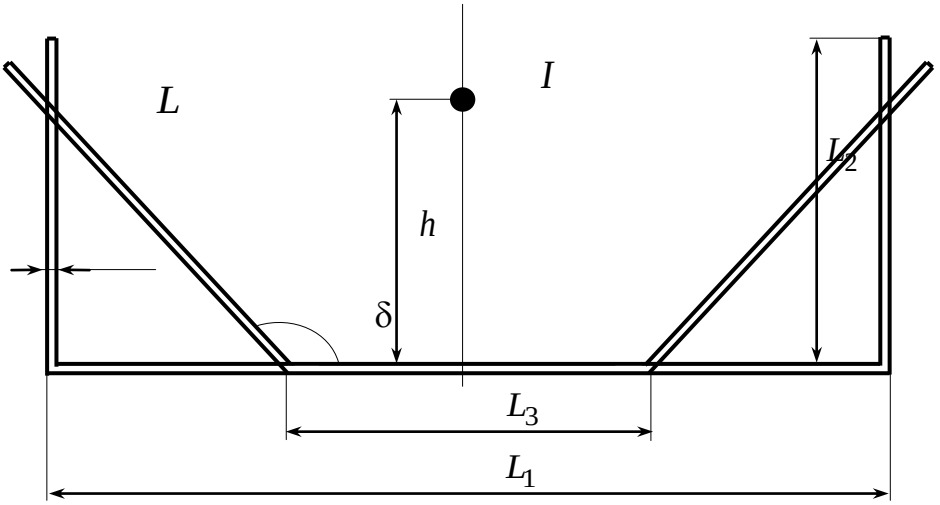


Рис. 2. Геометрия профиля рефлектора АС

Тогда для E-поляризации поля излучения с учетом граничных условий на контуре L получим следующее интегральное уравнение I рода:

$$\int_L j_s(q) H_0^{(2)}\left(kr_{pq}\right) dl_q = -IH_0^{(2)}\left(kr_{ps}\right), \qquad (4)$$

где $j_s(q)$ – z-составляющая распределения тока на контуре L; $H_0^{(2)}\left(kr_{pq}\right)$ – функция Ганкеля второго рода нулевого порядка аргумента kr_{pq};

$r_{pq} = \sqrt{\left(x_p - x_q\right)^2 + \left(y_p - y_q\right)^2}$ – расстояние между точками наблюдения p и интегрирования q, $p,q \in L$; I – АФР тока источника; s – точка, в которой расположен источник поля возбуждения. Численное решение уравнения (4), которое относится к классу некорректных задач, позволяет определить поле рассеяния на контуре L, которое совместно с полем источника дает возможность рассчитать ДН АС в горизонтальной плоскости.

Известные асимптотические оценки [7] позволяют получить общие квадратурные соотношения для редукции интегрального уравнения (4) к системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). В работе [7] предложен прямой численный метод обработки квадратурных выражений с особенностями на основе формул Гаусса-Лежандра, с повышенным (28…32) числом узлов, без использования асимптотических приближений ядра интегрального уравнения. Показано, что коэффициенты СЛАУ согласованы в смысле однородной процедуры численного интегрирования. Повышение эффективности численного решения (4) связано, в первую очередь, с рациональной организацией вложенных циклов при переборе точек и отсутствием логических операций при выделении особенности [4].

В качестве исходного варианта для синтеза формы рефлектора АС выберем плоский экран шириной $L_1 = 200$ мм, толщина $d_r = 3$ мм (рис. 2). Для такого рефлектора известно аналитическое решение в виде бесконечных рядов по функциям эллиптического цилиндра Матье, Матье-Бесселя, Матье-Ганкеля. Это решение может служить тестовым для численного решения уравнения (4) предложенным методом. На рис. 3 приведена ДН АС с таким рефлектором (штриховая линия).

Отличие численного решения (4) от аналитического решения при числе узлов дискретизации $N = 168$ контура L составляет 0,02 %. Результаты численного решения показывают, что такая конфигурация рефлектора не удовлетворяет заданным требованиям как по ширине ДН в горизонтальной плоскости, так и уровню излучения в обратном направлении. Одним из вариантов изменения ДН является трансформация профиля рефлектора к резонаторной форме в виде прямоугольного желоба (см. рис. 2).

На рис. 3 (сплошная линия) приведена ДН АС, которая уже значительно отличается от первоначального варианта, но еще не удовлетворяют заданным требованиям по ширине ДН. Расчеты проведены для размеров $L_1 = 210$ мм, $L_2 = 105$ мм при той же толщине рефлектора. Дальнейшая оптимизация формы рефлектора проводилась для следующих изменяемых параметров: размер L_1, угол δ между боковой стенкой и основанием рефлектора, так как размер L_2 удовлетворяет требованиям конструкторско-технологического проектирования. Использование программы *fminsearch* позволило получить результаты, приведенные на рис. 4. Расчеты ДН в горизонтальной

плоскости получены для следующих параметров: $L_З = 100$ мм; $\delta = 120^{\circ}$, эти параметры незначительно отличаются от оптимальных и приведены к значениям, соответствующих технологическим требованиям изготовления АС.

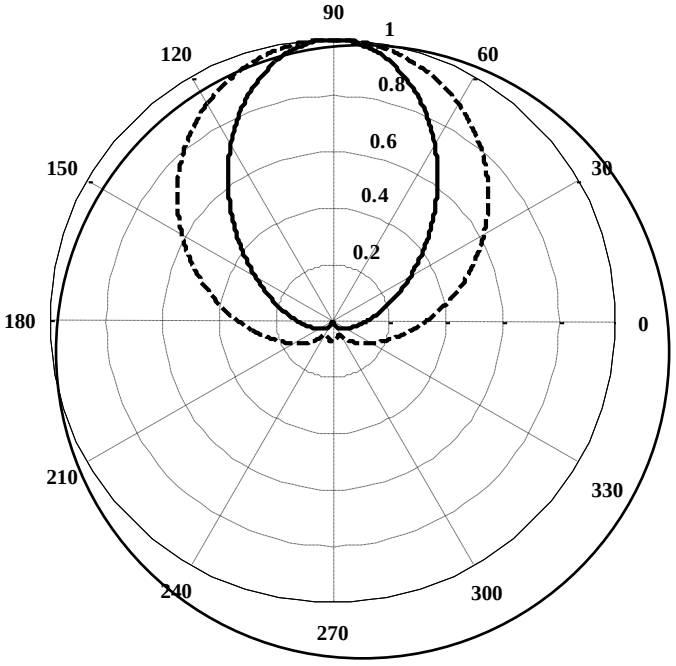


Рис. 3. ДН в горизонтальной плоскости

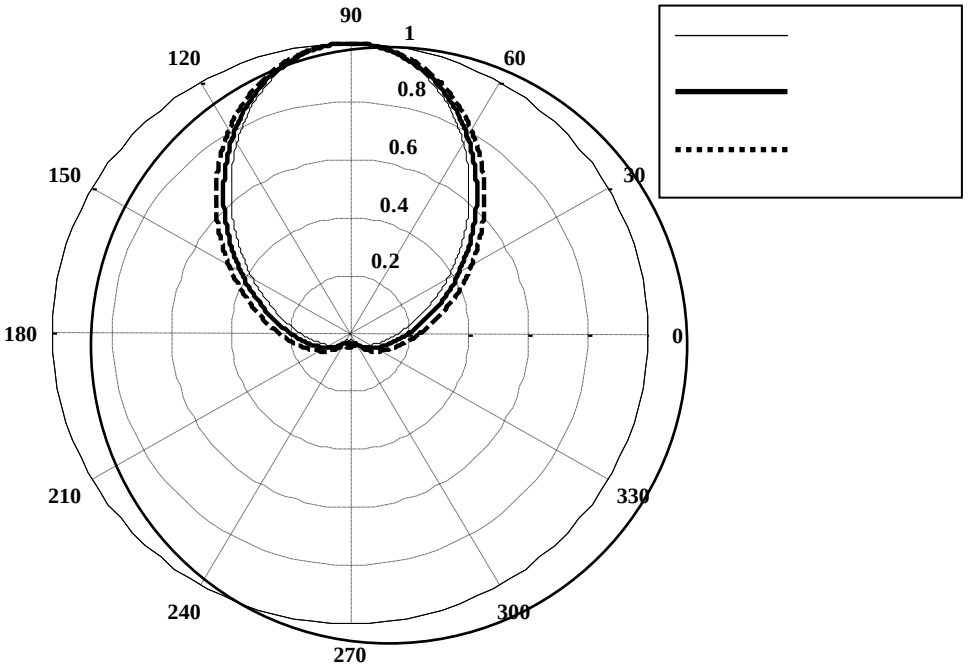


Рис. 4. ДН АС в горизонтальной плоскости

Сравнение ДН в горизонтальной плоскости (см. рис. 4) показывает, что заданные требования к полю излучения выполнены для всей рабочей полосы частот. Действительная ДН, соответствующая реальному излучателю АС, может незначительно отличаться от расчетных ДН, но основные характеристики поля излучения останутся стабильными для ММ. Это связано с регуляризирующим, сглаживающим характером интегральных операторов рассматриваемой задачи синтеза.

Библиографический список

1. Зелкин, Е.Г. Методы синтеза антенн. Фазированные антенные решетки и антенны с непрерывным раскрывом / Е.Г. Зелкин, В.Г. Соколов. – М.: Советское радио, 1980. – 296 с.

2. Хансен, Р.С. Фазированные антенные решетки / Р.С. Хансен. – М.: Техносфера, 2012. –560 с.

3. Неганов, В.А. Устройства СВЧ и антенны. Ч. II. Теория и техника антенн / В.А. Неганов, Д.С. Клюев, Д.П. Табаков – М.: ЛЕНАНД, 2014. – 728 с.

4. Ануфриев, И.Е. MATLAB 7 / И.Е. Ануфриев, А.Б. Смирнов, Е.Н. Смирнова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.

5. Войтович, Н.И. О соответствии асимптотических решений двумерных и трехмерных задач в антенной технике / Н.И. Войтович, А.Б. Хашимов // Радиотехника и электроника. – 2010. – Т. 55. – № 12. – С. 1471–1476.

6. Войтович, Н.И. Обобщенные математические модели антенн радионавигационных систем / Н.И. Войтович, А.Б. Хашимов // Антенны. – 2014. – № 1 (200). – С. 8–14.

7. Хашимов, А.Б. Применение вычислительных схем повышенной точности в проектировании антенных систем / А.Б. Хашимов, Р.Р. Салихов, Р.С. Альметов // Вестник Южно-Уральского университета. Сер. «Вычислительная математика и информатика». – 2014. – Т. 3. – № 2. – С. 77–91.

К содержанию

УДК 621.396.67

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА РЕЗОНАТОРНОЙ АНТЕННЫ

В.А. Бухарин, Н.И. Войтович

Исследованы поляризационные свойства оригинальной плоской резонаторной антенны. Приведены основные характеристики антенны в главных плоскостях. Указаны направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: антенная решетка; резонатор; поляризация; электромагнитное поле.

Введение

Плоские резонаторные антенны (РА) обладают высокими электродинамическими, массогабаритными и конструкторско-технологическими характеристиками [1, 2]. РА являются перспективными для применения в аэродромных радиотехнических системах. Одним из наиболее важных требований, предъявляемых к антенне, в указанных системах является требование по обеспечению линейного типа поляризации и стабильности характеристик антенны при изменении факторов окружающей среды.

Простая конструкция РА сочетается с высокой пространственно-временной избирательностью, обеспечивающей высокую помехозащищенность системы.

В РА нет сложной диаграммообразующей схемы, распределяющей электромагнитную энергию между излучателями. Роль делителя мощности выполняет резонатор. Внешняя поверхность одной из стенок резонатора, выполненная в виде частично прозрачной пластины, является излучающей апертурой. Принцип работы РА основан на синфазном возбуждении излучающих элементов частично прозрачной стенки резонансной модой основного колебания объемного резонатора антенны.

Применение плоской резонаторной антенны в аэродромных радиотехнических системах повышает точностные характеристики системы и создает множество преимуществ системам по сравнению с применением традиционных антенн в виде линейных вибраторных решеток с апериодическим рефлектором.

Постановка задачи

Целью работы является исследование поляризационных характеристик плоской резонаторной антенны.

Плоская резонаторная антенна выполнена из алюминиевого сплава в виде низкого объемного цилиндрического резонатора с частично прозрачной стенкой (рис. 1). Диаметр исследуемой РА равен $1{,}55\lambda$; высота резонатора $0{,}497\lambda$; где λ – длина волны, соответствующая середине диапазона рабочих длин волн: $\lambda \pm 0{,}01\lambda$.

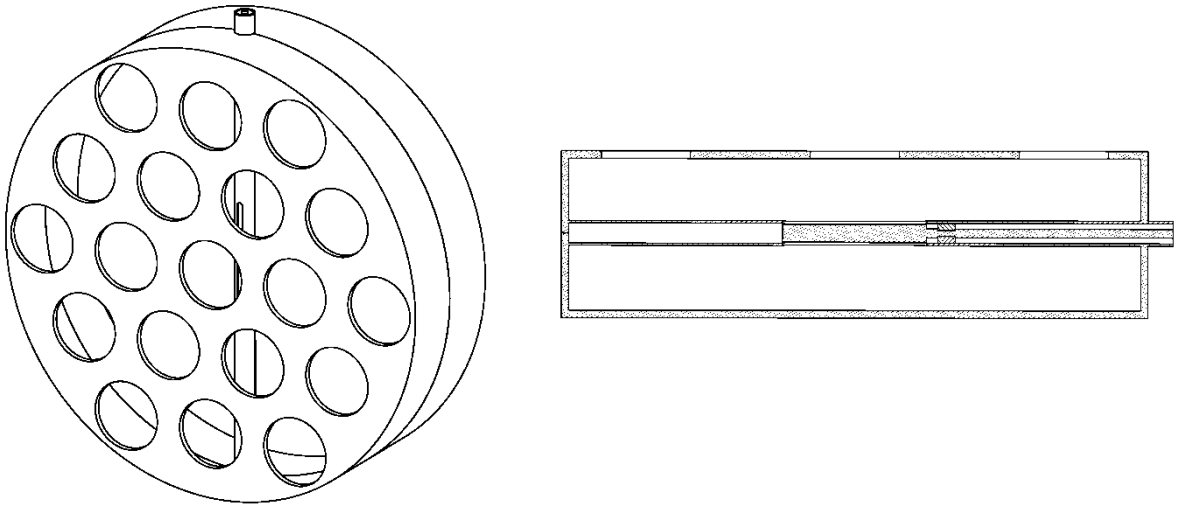


Рис. 1. Плоская резонаторная антенна

Резонатор возбуждается щелевыми излучателями, расположенными на расстоянии 0,235λ от частично прозрачной стенки. Щелевые излучатели вместе с коаксиальным волноводом образуют специальное устройство, обеспечивающее преобразование типов волн и согласование антенны в рабочей полосе частот. Коэффициент стоячей волны во всем диапазоне не превышает 1,083. Частично прозрачная стенка является излучающей апертурой антенны. Она изготовлена из металлической пластины с круглыми отверстиями. Диаметр отверстий 0,2724λ; расстояние между отверстиями 0,31λ; толщина металлической пластины 0,0033λ.

Требуется определить тип поляризации, отношение амплитуд главной компоненты электрического поля к кросс-составляющей компоненте и фазовый сдвиг между ортогональными компонентами.

Метод решения задачи

Электродинамическая задача сформулирована в строгой дифракционной постановке. Пространственно-временная нестационарная система уравнений Максвелла с заданными начальными и граничными условиями решается численно во временной области методом конечных интегралов (Finite Integration Technique, FIT). Метод конечных интегралов представляет собой последовательную схему дискретизации уравнений Максвелла в интегральной форме. Алгебраическая модель дискретной формулировки системы уравнений Максвелла (Maxwell’s Grid Equations, MGE) включает законы сохранения энергии и заряда. Электромагнитное поле определяется в данный момент времени на основании известных значений полей в предыдущие моменты времени при заданных начальных и граничных условиях. Вычислительная процедура выполняется последовательными шагами во времени, что позволяет создавать устойчивый алгоритм расчета и контролировать точность проводимых численных вычислений.

Прямой временной метод дает полную информацию об электромагнитном поле электродинамической системы в сверхширокой полосе частот.

Результаты

На рис. 2 показана структура электрического поля в плоскости апертуры РА [1, 2]. Силовые линии вектора напряженности электрического поля **E** в каждом отверстии имеют строение силовых линий электрического поля волны H_{11} – основной волны в круглом волноводе.

В центре апертуры антенны расположено начало 0 сферической системы координат. Ось 0*z* направлена по нормали к плоскости апертуры. Ось 0y параллельна продольной оси коаксиальной линии передачи. Ось 0*x* на рис. 2 направлена горизонтально. Меридиональный угол Θ отсчитывается от оси 0*z*. Картина поля полностью симметрична относительно оси 0*x* и относительно оси 0*y*.

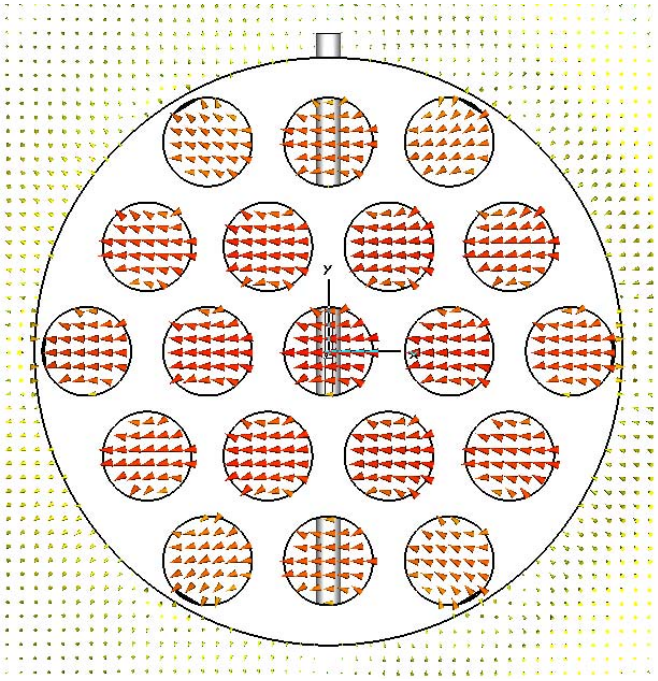


Рис. 2. Структура электрического поля в плоскости апертуры РА

Ширина ДН антенны в плоскости вектора напряженности электрического поля по уровню половинной мощности составляет 38,2 градуса, в плоскости вектора напряженности магнитного поля – 43,8 градусов. Ширина ДН по нулевому уровню, примерно, равна 55,8 градусов.

В таблице 1 представлены отношения амплитуды главной компоненты электрического поля к кросс-составляющей компоненте в плоскости вектора напряженности магнитного поля **H** в рабочем диапазоне длин волн; в таблице 2 – в плоскости напряженности электрического поля **E**. λ_{min}=0,99λ; λ_{max}=1,01λ. В пределах главного лепестка ДН отношения компо-

нент составляет, примерно, 53–71 дБ. Плоская резонаторная антенна в главных ортогональных плоскостях имеет линейную поляризацию.

В таблице 3 представлены отношения амплитуды главной компоненты электрического поля к кросс-составляющей компоненте в рабочем диапазоне длин волн в точках наблюдения в плоскости, проходящей через ось Oz и составляющей с осью O*x* угол 45 градусов.

Таблица 1

Отношение ортогональных компонент вектора напряженности электрического поля **E** в плоскости вектора **H**

Θ, град	Отношение ортогональных компонент, дБ		
	λ_{max}	λ	λ_{min}
0	60,30	60,80	59,11
22	53,70	59,10	56,72
45	44,67	51,30	53,74
90	19,80	27,60	30,71

Таблица 2

Отношение ортогональных компонент вектора напряженности электрического поля **E** в плоскости вектора **E**

Θ, град	Отношение ортогональных компонент, дБ		
	λ_{max}	λ	λ_{min}
0	60,30	60,80	59,11
19	58,90	65,87	71,40
45	57,32	57,19	48,54
90	56,78	55,91	55,33

В пределах главного лепестка ДН РА отношения компонент близки к единице, фазовый сдвиг составляет, примерно, 178–181 градусов. РА в этой плоскости имеет линейную поляризацию.

Таблица 3

Отношение ортогональных компонент вектора напряженности электрического поля **E** в плоскости под углом 45 градусов к оси O*x*

Длина волны	Θ, град	Отношение ортогональных компонент	Разность фаз, град
λ_{max}	0	1,00	-180,0
	20	1,09	-178,7
	45	1,88	-167,3
λ	0	1,00	-179,9
	20	1,11	-178,7
	45	2,36	195,9
λ_{min}	0	1,00	180,1
	20	1,13	181,2
	45	3,34	202,9

Полученные результаты подтверждают предположение о хороших поляризационных свойствах плоской резонаторной антенны.

Выводы

Плоская резонаторная антенна обладает уникальными электродинамическими характеристиками. В пределах рабочего полупространства не наблюдается изменения типа поляризации. Изменения в соотношении ортогональных компонент и фазовых сдвигах не имеют существенного значения. В диапазоне углов главного лепестка ДН РА поляризация строго линейная.

Плоская РА имеет низкий уровень кросс-поляризационного излучения. Она может быть использована в высокоточных радиофизических измерениях, где требуется высокая пространственно-временная избирательность и помехозащищенность радиотехнических систем.

В дальнейших исследованиях целесообразно провести анализ поляризационных характеристик РА в напряженно-деформированном состоянии в поле высоких температур и в условиях воздействий внешних факторов окружающей среды.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках комплексного проекта «Создание высокотехнологичного производства антенн и аппаратных модулей для двухчастотного радиомаячного комплекса системы посадки метрового диапазона формата ILS III категории ICAO для аэродромов гражданской авиации, включая аэродромы с высоким уровнем снежного покрова и сложным рельефом местности» по договору № 02.G25.31.0046 между Министерством образования и науки Российской Федерации и Открытым акционерным обществом «Челябинский радиозавод «Полет» в кооперации с головным исполнителем НИОКТР – Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет).

Библиографический список

1. Бухарин, В.А. Плоская резонаторная антенна / В.А. Бухарин, Н.И. Войтович, Н.Н. Репин // Сборник трудов Второй Всероссийской научно-технической конференции «РАДИОВЫСОТОМЕТРИЯ-2007». – Екатеринбург: ИД «Третья столица», 2007. – С. 160–164.

2. Бухарин, В.А. Влияние нагрева на параметры резонаторной антенны / В.А. Бухарин, Н.И. Войтович // Доклады V Всероссийской конференции «Радиолокация и радиосвязь». – М.: Издание JRE-ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, 2011. – С. 105–108.

К содержанию

УДК 621.396.67

ДИФРАКЦИЯ ВОЛНЫ НА КОНЦЕ ПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

И.А. Думчев, Н.И. Войтович

Проведены исследования согласования плоской резонаторной антенны с фидером. Изучен процесс перехода электромагнитной энергии от полосковой линии в область резонатора. Получено решение задачи о дифракции падающей Н-поляризованной плоской волны на идеально проводящую полуплоскость для произвольного угла падения волны.

Ключевые слова: резонаторная антенна; полосковая линия; объемный резонатор; согласование; дифракция.

Нарастающий прогресс в области развития беспроводных технологий вызвал необходимость в разработке антенн с малыми массогабаритными параметрами, большим коэффициентом усиления, высоким уровнем согласования антенны с фидером. Последние десятилетия специалисты многих зарубежных фирм активно разрабатывают плоские антенны, удовлетворяющие таким требованиям. Однако известные конструкции антенн имеют довольно существенные недостатки, обусловленные, например, применением в них печатных излучателей и микрополосковых линий передачи. Плоские антенны на основе объемного резонатора (резонаторные антенны) с частично прозрачными стенками обладают целым рядом конкурентных преимуществ в электродинамических, массогабаритных, конструкторских и технологических характеристиках по сравнению с антеннами известных типов [1].

Авторы занимаются исследованиями по изучению проблем создания плоских резонаторных антенн с частично прозрачной стенкой. Конечная ***цель работы*** – разработка конкурентноспособных отечественных антенн нового типа, свободных от недостатков известных аналогов.

Одним из объектов исследований является резонаторная антенна [2] для приема телевизионного сигнала со спутника в диапазоне 12 ГГц (рис. 1).

Данная антенна представляет собой прямоугольный металлический резонатор, на верхней стенке которого прорезана система прямоугольных излучающих отверстий 5. Антенна состоит из пяти областей, ограниченных металлическими стенками резонаторов, а также входными и выходными апертурами отверстий. Предполагается, что в модели антенны границы областей и поверхности конструктивных элементов являются идеально проводящими, а потери энергии в диэлектриках отсутствуют. Область 1 – резонатор с размерами a_1 x b_1 x h, высота h которого существенно меньше длины волны. В среднем сечении резонатора ($z = h/2$) размещена полосковая линия передачи. Область 2 – прямоугольный резонатор с размерами a_2 x b_2 x H, на верхней стенке которого размещены излучающие

отверстия 5, а на нижней – отверстие связи 4. Отверстие связи 4 ограничено металлическими стенками и окружено реактивными штырями. Область 3 – внешнее по отношению к антенне пространство.

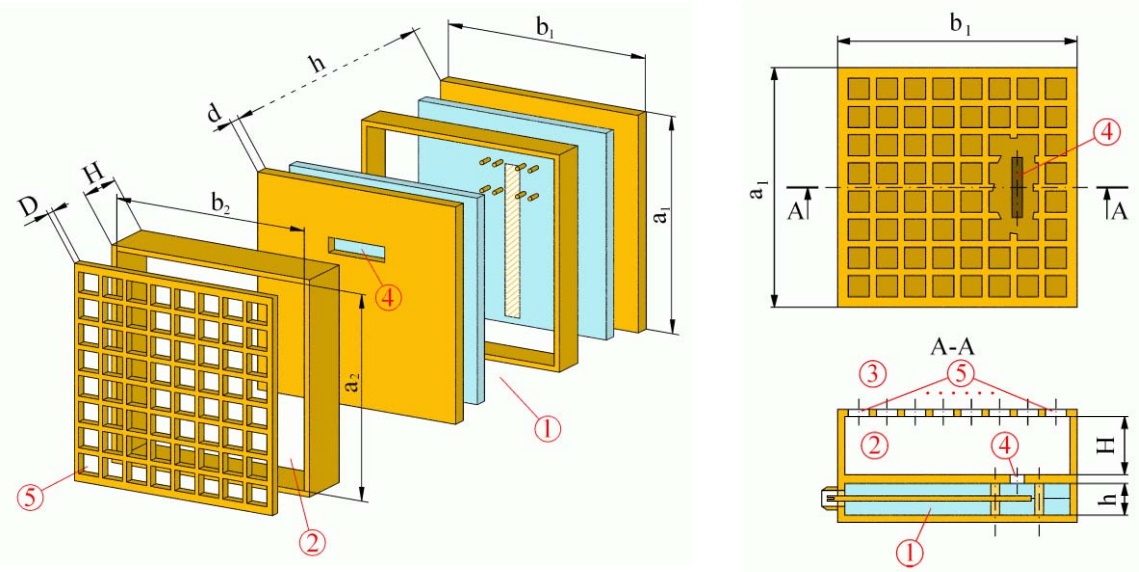


Рис.1. Плоская резонаторная антенна с частично прозрачной стенкой:
1 – проходной резонатор; 2 – прямоугольный резонатор,
на верхней стенке которого размещены излучающие отверстия 5
(частично прозрачная стенка), а на нижней – отверстие связи 4;
3 – внешнее по отношению к антенне пространство

В настоящей работе авторы продолжают исследование проблемы согласования антенны с фидером в диапазоне частот, являющейся одной из главных проблем при создании подобных антенн [3]. Для исследуемой антенны важным является понимание процесса перехода электромагнитной энергии от полосковой линии в область резонатора, позволяющий объяснить механизм возбуждения отверстия связи. Ранее было установлено, что при возбуждении объемного резонатора полосковой линией передачи реактивные штыри в антенне, окружающие отверстие связи и замыкающие экраны полосковой линии, не справляются со своей функцией – не локализуют электромагнитную энергию в области отверстия связи. В результате наблюдается распространение электромагнитной энергии в нижней области антенны, что приводит к нарушению согласования полосковой линии с антенной. Также было выяснено, что можно добиться узкополостного согласования за счет подбора выступа полосковой линии за центр щели [3].

Прежде чем начинать численные эксперименты по отработке согласования антенны, проанализируем полностью структуру электромагнитных полей во внутренней области антенны в случае хорошего согласования и в противном случае.

Для этого возьмем геометрию антенны, когда размер выступа полосковой линии за центр щели подобран такой, что в рабочем диапазоне частот обеспечено узкополостное согласование, и путем электродинамического моделирования [4] посчитаем анимационную картину поля во внутренней области антенны. Зависимость коэффициента отражения от частоты для данного случая приведена на рис. 2.

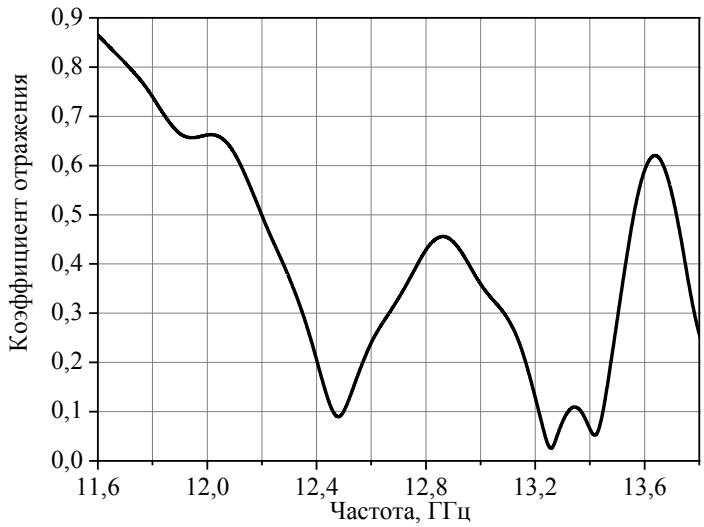


Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения
от частоты в случае узкополостного согласования

На рис. 3 приведена картина поля на частоте 12,48 ГГц в фиксированный момент времени для данной геометрии антенны.

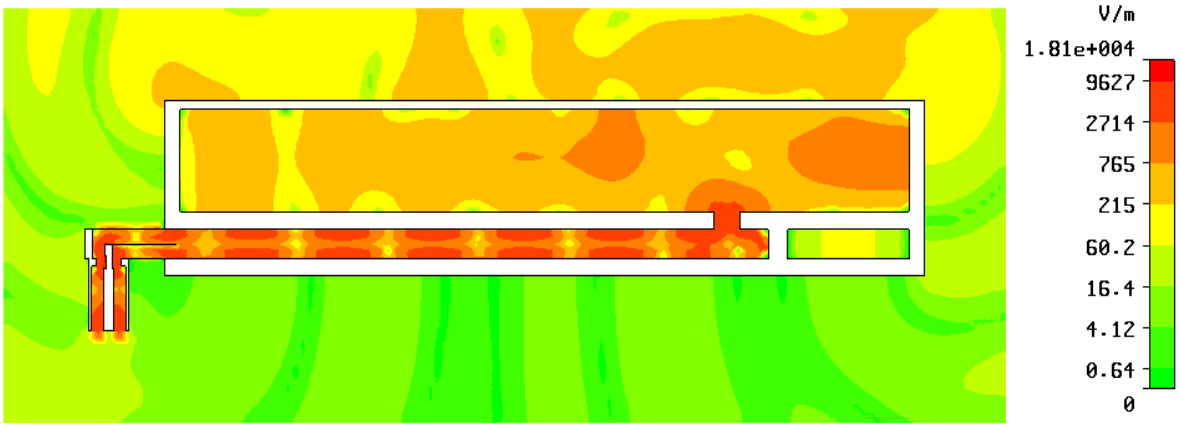


Рис. 3. Структура поля в фиксированный момент времени с фазой 2π
во внутренней области антенны на частоте 12,48 ГГц

На рис. 4 приведена картина поля в фиксированный момент времени для этой же геометрии на частоте 11,8 ГГц в случае плохого согласования (коэффициент отражения равен 0,74).

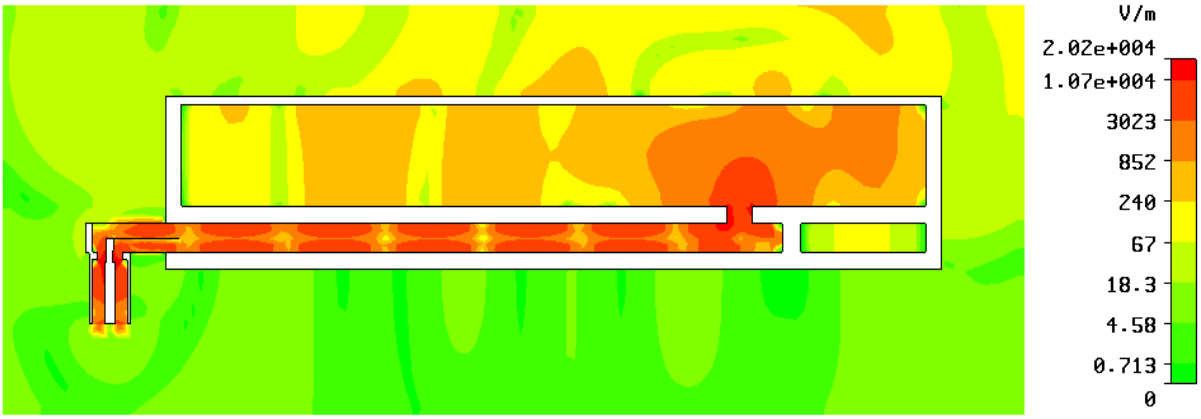


Рис. 4. Структура поля в фиксированный момент времени с фазой π/2 во внутренней области антенны на частоте 11,8 ГГц

Из рассмотрения полученных анимационных картин стает понятен процесс перехода электромагнитной энергии от полосковой линии в область резонатора, который позволяет объяснить тонкий электродинамический механизм возбуждения щели.

В случае хорошего согласования процесс возбуждения щели происходит таким образом, что в нижней области антенны наблюдается режим бегущих волн. При этом существует две волны: одна в области выше полосковой линии, а другая – ниже нее. Волна, распространяющаяся выше полоски, огибает нижнее ребро щели, а волна, распространяющаяся ниже полоски, распространяется дальше. Она огибает полоску и встречается с первой волной в фазе на средней линии щели. Суммарная волна проникает через щель в область верхнего резонатора.

А в случае плохого согласования наблюдается смешанный режим. Но поскольку часть мощности проникает в верхний резонатор, то в нем некоторое сложение двух волн все же наблюдается, но они уже значительно слабее по амплитуде.

Таким образом, можно заключить, что для хорошего согласования антенны необходимо обеспечить синфазность этих двух волн в среднем сечении щели. Синфазность можно обеспечить подбором геометрии полосковой линии в нижней области антенны.

Для того чтобы более точно ответить на вопрос о фазах верхней и нижней волн, воспользуемся строгим решением задачи о дифракции падающей H-поляризованной плоской волны на идеально проводящую полуплоскость [5], которое представлено в виде:

$$Hz = \frac{\exp\left(-\frac{1}{4}i\pi\right)}{\sqrt{\pi}} \exp(ikr)\left\{G(u)+G(v)\right\}, \qquad (1)$$

где $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число; λ – длина волны [мм]; r – расстояние до точки наблюдения в полярной системе координат; G(u) и G(v) – функции от u и v, где аргументы этих функций представлены в виде:

$$u = -\sqrt{2kr}\cos\frac{1}{2}(\theta - \alpha),\ v = -\sqrt{2kr}\cos\frac{1}{2}(\theta - \alpha), \quad (2)$$

где θ – полярный угол [град]; α – угол падения волны [град]; функция G выражается следующим образом:

$$G(a) = \exp(-ia^2)\,F(a), \quad (3)$$

где $F(a) = \int_a^{\infty} \exp(i\mu^2 d\mu)$ – комплексная форма интеграла Френеля.

В [5] приведены линии равных амплитуд и равных фаз компоненты Hz при дифракции нормально падающей H-поляризованной плоской волны на идеально проводящей полуплоскости. В нашем случае нужно решение задачи в тот момент, когда угол падения волны равен 0 градусов. Для этого воспользуемся программным продуктом MATLAB [6] и составим программу для вычисления линий равных амплитуд и равных фаз компоненты Hz для произвольного угла падения волны. На рис. 5 и 6 приведены линии равных амплитуд и равных фаз для угла падения волны 0 градусов.

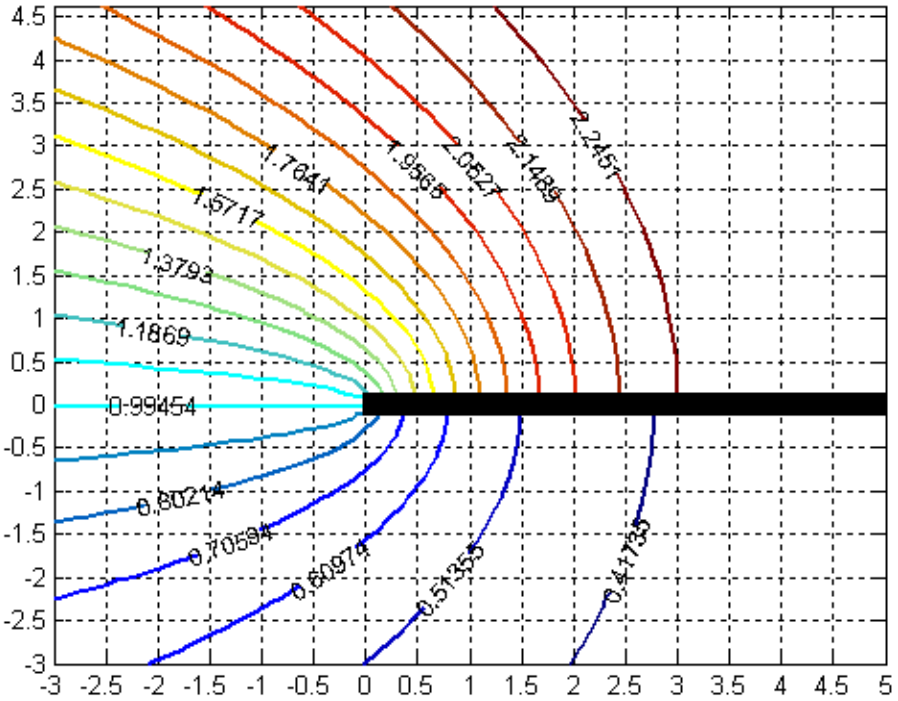


Рис. 5. Линии равных амплитуд компоненты Hz при дифракции падающей H-поляризованной плоской волны на идеально проводящей полуплоскости. Амплитуда падающей волны принята за единицу

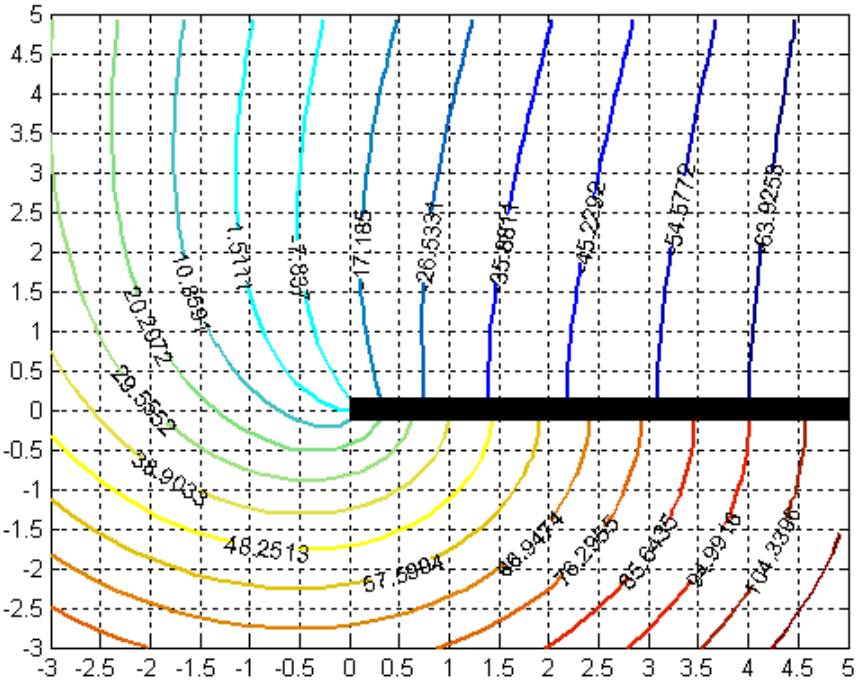


Рис. 6. Линии равных фаз компоненты Hz при дифракции падающей Н-поляризованной плоской волны на идеально проводящей полуплоскости. Фаза падающей волны в точке на ребре принята равной нулю

Теперь можно ответить на вопрос, насколько должны отличаться фазы первой и второй волны при их входе в щель. Воспользуемся полученной линией равных фаз и нанесем на нее границы нижней области антенны и щели в полном соответствии с реальной геометрией (рис. 7).

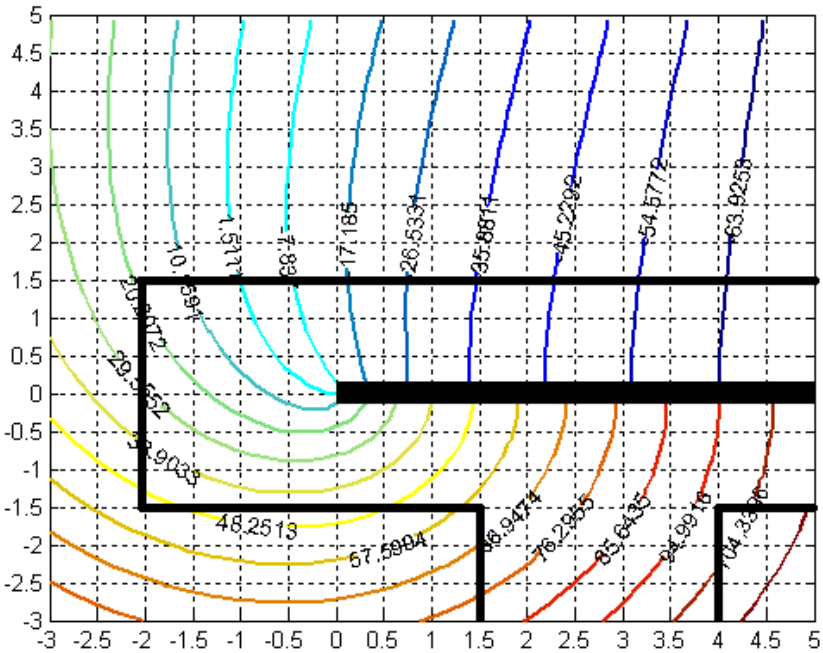


Рис. 7. Линии равных фаз компоненты Hz при дифракции падающей Н-поляризованной плоской волны на идеально проводящей полуплоскости

На рис. 5, 6 и 7 цифрами на линиях показаны значения амплитуд и фаз волн в градусах. Теперь ясно, что для достижения хорошего согласования полосковой линии с антенной волна, которая распространяется в области выше полосковой линии, и волна, которая огибает полосковую линию передачи, в момент входа в щель должны отличаться по фазе примерно на 40 градусов. Чтобы убедиться в правильности полученных данных, аналогичные линии вычислялись для разных углов падения волны. Для нормального падения волны полученные результаты совпали с известными теоретическими.

Таким образом, с целью решения проблемы согласования резонаторной антенны в полосе частот необходимо продолжить исследования. Далее необходимо решить следующие задачи: локализовать электромагнитную энергию в области отверстия связи в процессе запитки объемного резонатора полосковой линией передачи и предложить конкретные способы согласования, обеспечивающие описанный электродинамический режим работы антенны. Этим вопросам будут посвящены будущие исследования.

Библиографический список

1. Думчев, И.А. Плоская резонаторная антенна с частично прозрачной поверхностью / И.А. Думчев // Наука. Технологии. Инновации. Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых в 7-ми частях. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. – Часть. 1. – С. 228–230.

2. Planar antenna: евр. пат. 0489934: МКИ H 01 Q 13/18 / Voytovich N. I. and others.; the Research institute on measuring technology, Chelyabinsk, Russia. – НКИ RU 2016444.

3. Думчев, И.А. Возбуждение плоской резонаторной антенны полосковой линией [Электронный ресурс] / И.А. Думчев, Н.И. Войтович // Наука ЮУрГУ: материалы 66-й научной конференции. Секции технических наук. – Электрон. текст. дан. (46,3 Мб). – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – С. 724–729.

4. Курушин, А.А. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. Учеб. пособие / А.А. Курушин, А.Н. Пластиков. – М.: Издательство МЭИ, 2010. – 160 с.

5. Борн, М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф; Пер. с англ. С.Н. Бреуса, А.И. Головашкина, А.А. Шубина; Под ред. Г.П. Мотулевич. – 2-е изд., испр. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1973. – 720 с.

6. MATLAB 7. Самоучитель. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 256 с.

К содержанию

УДК 531.781.2 + 621.9.01

ТРЕХКОМПОНЕНТНЫЙ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИЙ СТЕНД

Д.А. Кацай

В статье рассматривается универсальный тензометрический стенд для одновременного измерения трех взаимно ортогональных компонент сил, прикладываемых к измерительной платформе. Стенд может использоваться для измерения сил резания, с которыми происходит обработка материалов малогабаритными мобильными фрезерными агрегатами в условиях, соответствующих реальному режиму их эксплуатации. Приведены уравнения измерений внешних сил, прикладываемых к платформе стенда. Представлена структурная схема подключения тензометрических датчиков.

Ключевые слова: измерительный стенд; силы резания.

Стенд предназначен для одновременного трехкомпонентного измерения усилий резания, возникающих при обработке материалов мобильными агрегатами. Один из вариантов реализации мобильного агрегата на базе стандартного снегоуборщика [1] защищен патентом на полезную модель [2]. Необходимость разработки стенда для мобильного фрезерного агрегата обусловлена сложным процессом взаимодействия режущего инструмента с материалом. Например, для ротационного инструмента, входящего в состав вышеуказанного фрезерного агрегата, математическая модель процесса взаимодействия режущего инструмента с материалом представляет собой в общем случае систему стохастических импульсных нелинейных дифференциальных уравнений. В статье [1] представлен частный случай взаимодействия инструмента с материалом по одной компоненте силы резания, совпадающей с направлением подачи инструмента. Обработка материала ротационным инструментом, перемещаемым вручную, сопровождается неравномерностью его подачи и прикладываемого усилия, неоднородностью обрабатываемого материала. В этой связи решение задачи о прочностном расчете требует проверки значений сил резания на измерительном стенде в условиях, соответствующих реальной эксплуатации фрезерного агрегата.

Известно устройство для трехкомпонентного измерения составляющих сил резания [3] режущие элементы в котором установлены на тензометрических датчиках. В предлагаемом устройстве стенда обрабатываемый материал, с помощью платформы, устанавливается на тензометрических датчиках. Суммарные реакции в датчиках уравновешивают воздействие режущих элементов. Предлагаемая конструкция является универсальной по отношению к применяемому инструменту.

Кинематическая схема 3-х компонентного тензометрического стенда (далее стенда) представлена на рис. 1. В состав стенда входят тензометрические датчики (далее датчики) 1–12 (показаны условно в виде упругих

элементов) и платформа 13, предназначенная для закрепления обрабатываемого материала. Предполагается, что платформа расположена в горизонтальной плоскости xy, а ось z направлена по вертикали места. Оси чувствительности датчиков 1 – 4 параллельны оси z и являются опорами для платформы, воспринимающими ее вес с обрабатываемым материалом. Оси чувствительности датчиков 5 – 8 параллельны оси y, а оси чувствительности датчиков 9 – 12 параллельны оси x.

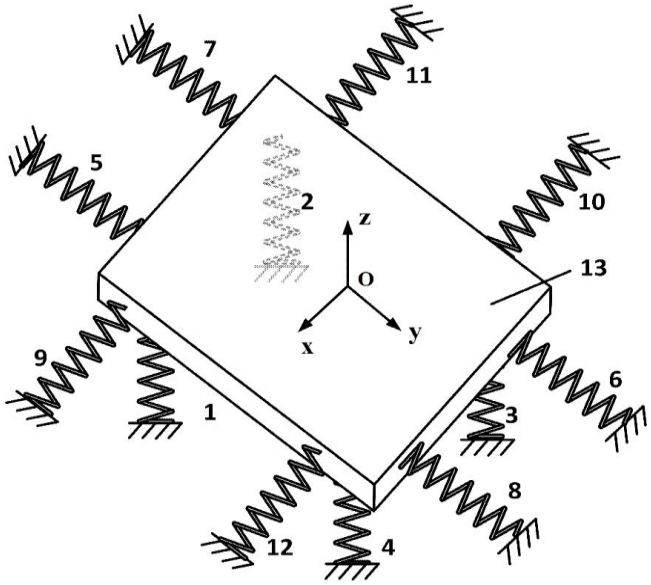


Рис. 1. Кинематическая схема 3-х компонентного стенда

На рис. 2а показана схема реакций в тензометрических датчиках, возникающих при воздействии на платформу внешней силы **F** и веса платформы с находящейся на ней материалом весом **P**.

Условия равновесия платформы в векторной форме имеют вид (1) и (2) для установившегося режима измерений:

$$\sum_{i=1}^{12} \boldsymbol{R}_i = \boldsymbol{F} + \boldsymbol{P}, \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{12} \boldsymbol{M}_{\mathrm{O}}(\boldsymbol{R}_i) = \boldsymbol{M}_{\mathrm{O}}(\boldsymbol{F} + \boldsymbol{P}). \quad (2)$$

На рис. 2б показана схема реакций в тензометрическом стенде при развороте платформы на угол α, обусловленный упругими деформациями датчиков. Максимальное значение угла α при расстоянии между датчиками b=0,4 метра и деформации датчика Δ=0,4 мм определяется выражением α = Δ/(2b) и составляет 0,002 радиана. Проекции реакций связей одних датчиков на перекрестные оси чувствительности других датчиков будут пропорциональны углам α и представляют собой погрешности измерения усилий в рассматриваемой схеме стенда. Максимальные значения погрешностей измерений соответствуют максимальному значению α и составляют 0,2 %. Такой точности измерений достаточно для оценки сил резания, воз-

никающих при поверхностной обработке дорожных покрытий. Все реакции $\boldsymbol{R}_i$, (i=1,..,12) сохраняют свои направления относительно координатных осей x,y и z, благодаря сферической форме кинематических пар в зоне контактов датчиков с платформой.

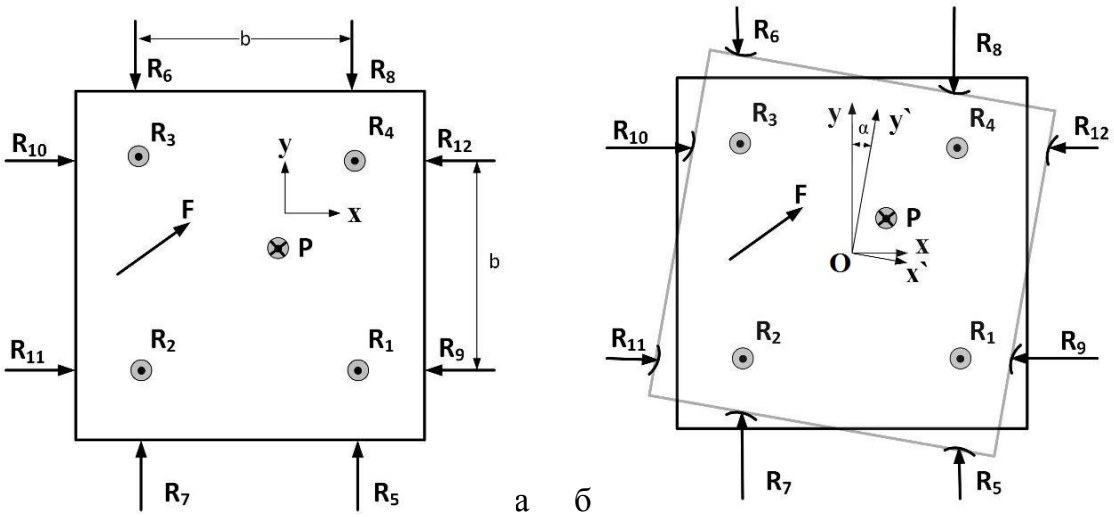


Рис. 2. Схема реакций в стенде

На рис. 3 показан вариант установки платформы 1 на тензометрические датчики 2 через сферические опорные элементы 3, причем тензометрические датчики также имеют сферические поверхности, но меньшего радиуса.

Тензометрические датчики имеют специфическую особенность применения, заключающуюся в создании в них предварительной нагрузки. Обусловлено это отклонением характеристики датчика от линейной вблизи нулевой нагрузки. В датчиках 1–4, показанных на рис. 1, предварительная нагрузка формируется благодаря суммарному весу платформы с обрабатываемым материалом. Датчики 5–12 должны устанавливаться по схеме для датчиков 4, показанных на рис. 3. С помощью упругих элементов 5 в датчиках 4 создаются предварительные натяжения, достаточные для измерения знакопеременных усилий. Предварительные натяжения по абсолютной величине должны быть больше измеряемых реакций, чтобы в процессе измерений не произошло обнуление суммарной реакции в датчике. С другой стороны, максимальное измеряемое датчиком усилие не должно превышать допустимое значение для максимального паспортного значения датчика. Предлагаемая конструкция опорных узлов датчиков обеспечивает относительные угловые движения элементов кинематических пар без проскальзывания. Следовательно, относительные движения элементов подвесов датчиков сопровождаются трением качения, которое существенно

меньше трения скольжения. Силы и моменты трения в подвесе датчиков являются источниками измерительных погрешностей, и чем они меньше, тем точнее будут производиться измерения.

На рис. 4 показана схема установки фрезерного агрегата 1 на стенд 2: а) – вид спереди; б) – вид сбоку. На виде сбоку показан аналоговый ультразвуковой датчик расстояний УЗД. Выходной сигнал УЗД пропорционален расстоянию x до щитка 3, находящегося на корпусе агрегата. Наличие информации о мгновенном положении агрегата относительно стенда позволяет путем прямой оценки его перемещения за единицу времени оценить величину и скорость подачи режущего инструмента относительно обрабатываемого материала.

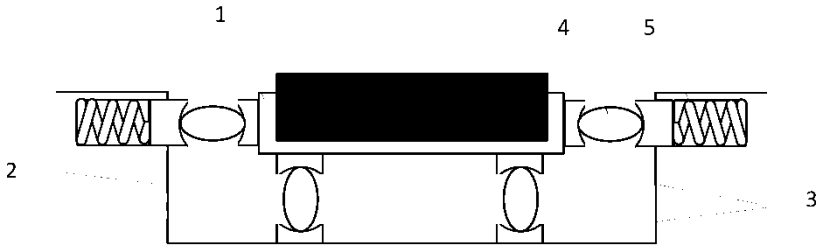


Рис. 3. Схема установки платформы
на тензометрические датчики

На рис. 5 представлена структурная схема измерительной части стенда для измерения усилий. Чувствительные элементы стенда – 12 тензометрических датчиков – собраны в группы по 4 датчика. Датчики $ТД_1$,..,$ТД_4$ подключены к усилителю $У_1$. Они образуют 4-точечную схему измерения вертикального усилия резания. Датчики $ТД_5$,..,$ТД_8$ подключены к усилителю $У_2$. Они образуют 4-точечную схему измерения продольного усилия резания. Датчики $ТД_9$,..,$ТД_{12}$ подключены к усилителю $У_3$. Они образуют 4-точечную схему измерения поперечного усилия резания.

Усиленные сигналы датчиков подаются на входы аналого-цифрового преобразователя (АЦП), подключенного к компьютеру, например, через порт USB. В компьютере данные обрабатываются и выводятся на экран монитора в виде графиков и таблиц, содержащих значения сил резания.

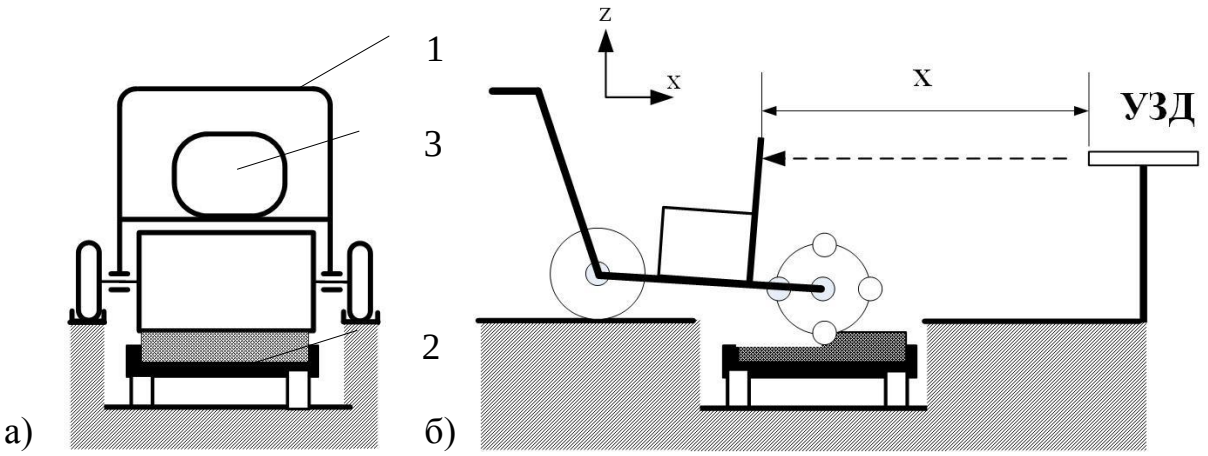


Рис. 4. Схема установки фрезерного агрегата на стенд:
а – вид спереди; б – вид сбоку

Уравнения измерений получаются из уравнения (1) путем проектирования векторов на соответствующие координатные оси системы координат Oxyz:

$$\sum_{i=1}^{4} R_{iz} = F_z + P, \quad (3)$$

$$\sum_{i=5}^{8} R_{iy} = F_y + 4 \cdot F_0, \quad (4)$$

$$\sum_{i=9}^{12} R_{ix} = F_x + 4 \cdot F_0. \quad (5)$$

где в уравнения (4) и (5) вместо нулевых проекций силы тяжести P подставлены значения предварительной нагрузки датчиков от упругих элементов F_0 – силы, создаваемой упругими элементами 5, показанными на рис. 3. В уравнениях (3)–(5) имеются нулевые проекции реакций, обусловленные расположением основания стенда в плоскости горизонта, а также сферической формой опор:

$$R_{ix} = 0, R_{iy} = 0, \text{для } i = 1,..,4;$$

$$R_{ix} = 0, R_{iz} = 0, \text{для } i = 5,..,8;$$

$$R_{iy} = 0, R_{iz} = 0, \text{для } i = 9,..,12.$$

Из уравнений (3)–(5) находим выражение для составляющих силы резания по схеме, показанной на рис. 5:

$$F_z = \sum_{i=1}^{4} R_{iz} - P, \quad (6)$$

$$F_y = \sum_{i=5}^{8} R_{iy} - 4 \cdot F_0, \quad (7)$$

$$F_x = \sum_{i=9}^{12} R_{ix} - 4 \cdot F_0. \quad (8)$$

Уравнения (6)–(8) справедливы для случая, когда платформа стенда выставлена в плоскости горизонта.

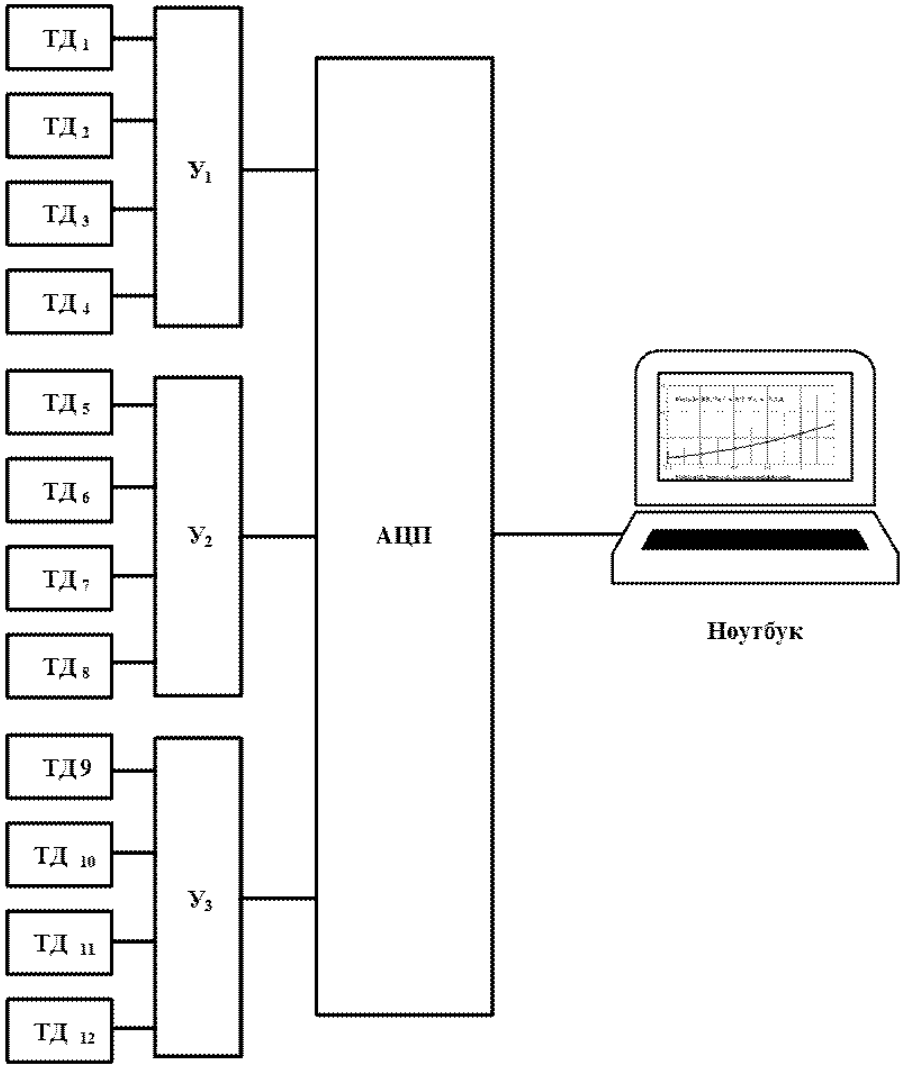


Рис. 5. Структурная схема электрической части стенда

По кинематической схеме стенда, представленной на рис. 1, разработана конструкция стенда. На рис. 6а показана измерительная платформа 1 с опорными узлами 2 для тензометрических датчиков $ТД_1$,.., $ТД_{12}$. Платформа предназначена для закрепления на ней испытуемого образца. Она выполнена из стального листа толщиной 10 мм с целью обеспечения необходимой жесткости и прочности. Обрабатываемый материал закрепляется на платформе 1 с помощью подвижной перегородки, приводимой в движение двумя винтовыми механизмами 3. Опорные узлы 2 платформы выполнены в форме подпятников со сферическими гнездами, в которые устанавливаются сферические цапфы датчиков. Кинематическая схема установки датчиков на сферические опоры показана на рис. 3.

На рис. 6б показано основание стенда, выполненное из стального швеллера № 12. Жесткостные свойства швеллера обеспечивают стабильность и точность измерения усилий резания в условиях ударных нагрузок, возникающих во время резания материала ротационным способом. Удары

возникают в момент захода режущего лезвия ротационного инструмента на материал с большой подачей. На основании стенда установлены тензометрические датчики 4 и усилители 5.

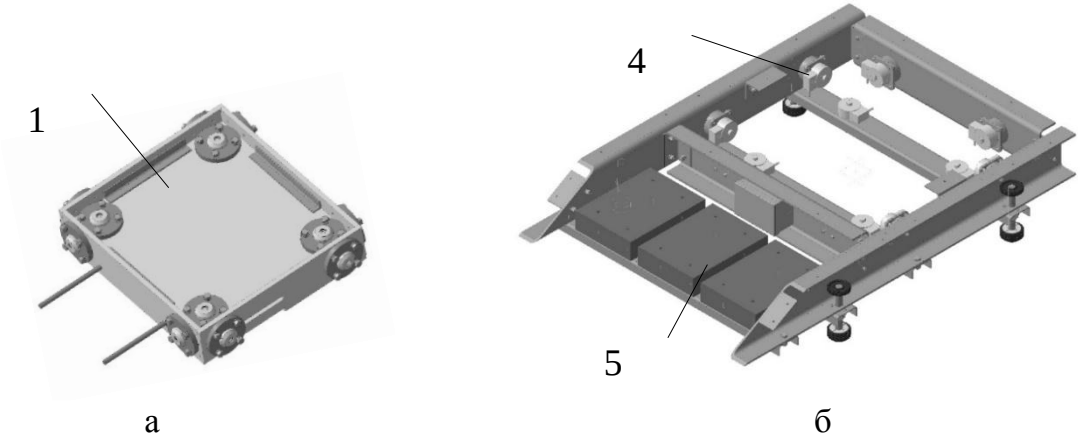


Рис. 6. Стенд в сборе с датчиками: а – измерительная платформа с опорными узлами для датчиков (вид снизу); б – основание стенда

Программное обеспечение позволяет анализировать силы резания как в процессе эксперимента, так и после него, по значениям, сохраняемым в файлах данных. Результаты измерений можно использовать при дальнейшей разработке агрегатов ротационного резания материалов, применяемых, например, в качестве навесных устройств для дорожных строительных машин. Измерительный стенд может использоваться для обучения начинающих операторов рациональным приемам работы с агрегатами для поверхностной обработки.

Библиографический список

1. Кацай, Д.А. Математическая модель автоматизированной системы управления мобильным агрегатом повышенной энергоэффективности / Д.А. Кацай // Труды научно-практической конференции «Актуальные проблемы автоматизации и управления». – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2013. – С. 35–39.

2. Патент на полезную модель № 96875, Российская Федерация, МПК E 01H 5/12. Устройство для разрушения ледяных и твердых образований на дорожных покрытиях / Д.А. Кацай, И.А. Баранова. – Заявка № 2010113856/21; заявл. 08.04.2010; опубл. 20.08.2010.

3. А.с. 453594 СССР, М.Кл. G 01 L 1/04. Трехкомпонентный динамометр / В.И. Локай, Д.В. Пологих, М.П. Набатян, А.А. Тютерева. – № 178968/18-10; заявл. 29.05.72; опубл. 15.12.74; Бюл. № 46.

К содержанию

УДК 007.52 + 004.896

ПОДСИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ РОБОТА АНДРОИДНОГО ТИПА КАК ОБЪЕКТА ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Д.А. Кацай, Т.Д. Исупова

В статье изложены результаты исследования робота андроидного типа на примере робота NAO, производимого французской компанией Aldebaran. Предлагается использовать андроидные роботы по двойному назначению. Цель исследований состоит в установлении границ применимости робота для решения задач общественной безопасности. Проанализированы возможности предустановленной в роботе программы NAOqi для решения задач обнаружения и распознавания людей. Рассматриваются перспективы расширения функциональных свойств системы видеонаблюдения с использованием ресурсов внешнего компьютера, подключения к базам данных через интернет.

Ключевые слова: робот андроидного типа, видеокамеры, обеспечение общественной безопасности.

Опыт применения в ярморочно-выставочной деятельности и учебном процессе робота-андроида NAO, производимого французской компанией Aldebaran, показал, что он вызывает доверие к нему посетителей и учащихся как доброго и даже разумного существа. NAO имеет привлекательный внешний вид и как ассистент преподавателя постоянно находится в учебной аудитории. Это качество может оказаться ключевым для введения в заблуждение социально опасных людей. Армейские и специальные роботы имеют порой явно выраженный агрессивный вид, и на их фоне робот-андроид имеет психологическое преимущество.

NAO оснащен двумя видеокамерами, расположенными на его голове и являющимися подсистемой технического зрения робота. Поворачивая голову, робот может следить за людьми и движущимися объектами в аудитории. Обмен данными между компьютером и роботом реализуется двумя способами: через сетевой кабель и по беспроводному каналу связи Wi-Fi. При соединении через сеть Wi-Fi можно получить одновременный доступ к роботу с нескольких устройств и запустить программы для обработки информации с его сенсоров.

Целью работы системы является формирование для оператора видеоизображения в режиме «дополненной реальности». В этом режиме на видеопоток накладывается полученная из него в реальном времени дополнительная информация об окружающей обстановке. Если в аудитории находится неизвестный человек или из «черного списка», то для оператора будет сформировано автоматическое оповещение. По команде оператора или

в автономном режиме робот может повернуть голову на объект, например, источник повышенного голоса, или перенастроить камеру на более высокое разрешение. В некоторых случаях может оказаться целесообразным предупредительное действие робота, например, он может выдать оповещающий голосовой сигнал или выполнить другие действия, чтобы привлечь внимание окружающих или предостеречь потенциального злоумышленника о том, что его видят, его запомнили и за его действиями могут последовать санкции.

На рисунке показана схема интерфейса робота в минимальной конфигурации при его использовании по двойному назначению. В основном режиме работы робот может выполнять свои действия – как ассистента преподавателя – даже без связи с компьютером. В любом случае по внешним признакам сложно определить факт применения робота по двойному назначению и это обстоятельство является положительным с точки зрения скрытного обеспечения безопасности в аудитории.

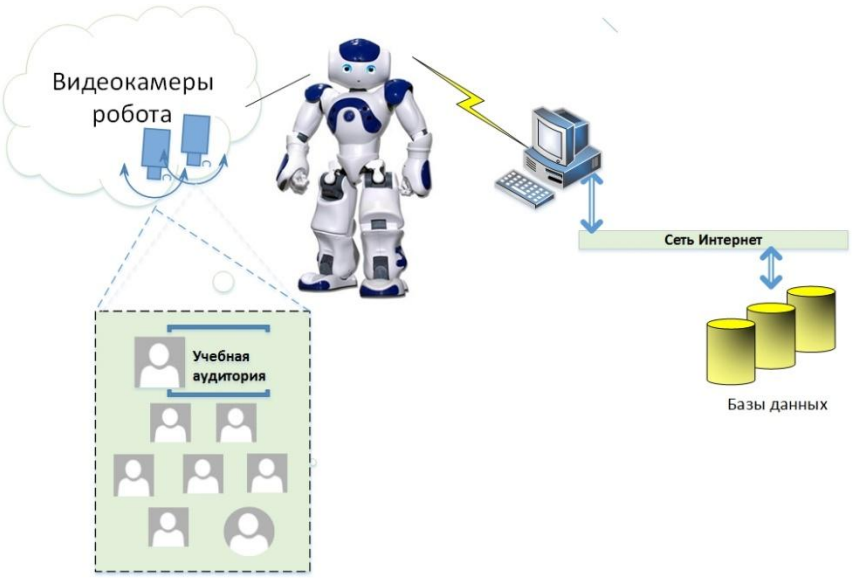


Схема интерфейса робота

Программы для слежения могут работать параллельно со штатным для робота NAO приложением Choreographe. Если роботу поступают запросы на активные действия, конфликтующие с основной программой, оператор может принудительно прервать выполнение соответствующей программы.

Оптимальное разрешение видеоизображения для его передачи и последующей обработки с целью получения дополнительных данных об окружающей обстановке не должно превышать размер 320x240 пикселей. При больших разрешениях существенно снижается скорость обработки видеопотока. Обработка информации с видеокамер происходит как на самом

роботе, так и на внешнем компьютере. Первичный анализ информации, поступающей с камер, может проводиться с помощью встроенного программного обеспечения самого робота. Сложные алгоритмы целесообразно реализовать на внешнем компьютере с более мощными вычислительными и информационными ресурсами. Например, можно воспользоваться базами данных опасных лиц, находящихся как на локальных, так и на сетевых ресурсах.

Алгоритмы обработки данных с сенсоров, реализованные в программе NAOqi [1], возвращают данные с укрупненной детализацией информации об окружающем пространстве, которые могут использоваться для управления движением робота по заданной траекторией с автономным обходом препятствий. С другой стороны, получаемые данные представляют собой предварительную обработку информации с сенсоров, по результатам которой можно выделить участок видеокадра для последующей детализированной обработки изображения на компьютере оператора.

С помощью встроенных функций программы NAOqi робот может:

- обнаруживать и сопровождать людей взглядом, оценивать расстояние до них, распознавать примерный цвет одежды (модуль *ALPeoplePerception*); дальность обнаружения людей в поле зрения составляет до пяти метров, если человек движется; задержка обнаружения человека составляет в среднем около трех секунд;
- обнаруживать лица и распознавать эмоции, пол, приблизительную возрастную категорию людей, у которых стабильно и полностью видно лица (модули *ALFaceDetection, ALFaceCharacteristics*);
- прослеживать направление взгляда (модуль *ALGazeAnalysis*);
- распознавать положение человека: сидит он или стоит (модуль *ALSittingPeopleDetection*); алгоритм распознавания работает с людьми старше 8–10 лет;
- обнаруживать цветовые пятна и круглые объекты (модули *ALColorBlobDetection* и *ALRedBallDetection*);
- обнаруживать движение в поле зрения (модуль *ALMovementDetection*);
- запоминать и распознавать отдельные объекты (модуль *ALVisionRecognition*).

Взаимодействие программы с соответствующими модулями происходит через ключи памяти (memory keys) и события (events), определенные в модулях. По умолчанию все отслеживающие системы на роботе (trackers) включены. Робот генерирует события в зависимости от сцены, находящейся в его поле зрения, – программа перехватывает эти события вместе с прикрепленной к ним информацией. Также робот создает в оперативной памяти временные списки обнаруженных людей, состоящие из идентификаторов. Так, NAOqi присваивает новому человеку определенный номер

(идентификатор), после чего записывает в ключи памяти ряд характерных черт человека. Доступ к этим данным можно получить, зная сопоставленный с человеком номер.

В памяти робота существуют три списка людей:

1) список людей, находящихся в поле зрения (любое его обновление вызовет событие *PeoplePerception/VisiblePeopleList*);

2) список людей, находящихся вне поля зрения (обновление вызовет событие *PeoplePerception/NonVisiblePeopleList*);

3) совмещенный список, состоящий из двух первых (его обновление вызывает событие *PeoplePerception/PeopleList*).

Вышеуказанные события возвращают соответствующий текущий список людей. Неудобством работы с перечисленными списками является то, что получить список напрямую как переменную из памяти робота нельзя, требуется синхронно обновлять списки по факту их изменения. Помимо событий, вызываемых изменением соответствующего перечня людей, генерируются события, которые соответствуют появлению нового человека (*PeoplePerception/JustArrived*) или удалению человека, долго отсутствующего в поле зрения робота, из списка невидимых и из полного списка (*PeoplePerception/JustLeft*). Вместе с удалением человека из полного списка также удаляются и присвоенные ему ключи памяти, содержащие его характерные данные. В дальнейшем человек, удаленный по факту долгого нахождения вне поля зрения, будет воспринят роботом, как только что прибывший. Ему будет присвоен другой номер, который будет возвращен вместе с оповещающим событием, а также созданы заново под этим номером соответствующие ключи в памяти.

Ключи памяти модуля PeoplePerception имеют следующие виды:

1) *PeoplePerception/<ID>/<keyname>*;

2) *PeoplePerception/Person/<ID>/<keyname>*,

где <ID> – идентификатор человека, <keyname> – наименование характеристики.

Ключи динамически меняются в течение всего времени существования идентификатора человека <ID>. В этих ключах содержится следующая информация: рост человека, дистанция до него, цвет его одежды, положение в пространстве относительно робота, угол, под которым робот видит человека, видимость его лица и ряд других данных. Некоторые из свойств недоступны, если человек еще не удален из полного списка, но находится вне поля зрения. Часть информации (такая как пол, возраст, эмоции, направление взгляда) по умолчанию не генерируется в роботе. Для ее получения необходим вызов соответствующей процедуры (например, *ALFaceCharacteristicsProxy::analyzeFaceCharacteristics()*), которая запишет в память соответствующие ключи, если робот в данный момент отчетливо

видит лицо человека. Данные характеристики обновляются не динамически, для их обновления требуется повторный вызов процедуры и успешное ее выполнение.

Контакты в подошвах робота [2] позволяют установить несанкционированные действия (например, подъем робота), совершаемые по отношению к нему. Анализ данных со встроенного гироскопа и акселерометра может дополнить информацию о характере его перемещения в пространстве. Применяя голосовое оповещение, робот может попросить злоумышленника поставить его на место. Одновременно, робот через каналы связи сообщает оператору о несанкционированных по отношению к нему действиях.

В роботе предустановлена система слежения, которая позволяет поворачивать голову при перемещениях обнаруженного человека в его сторону. Эта система также реагирует на громкие звуки, резкую смену изображения, освещения и другие раздражители.

Встроенная система распознавания образов неудобна по ряду причин:

1) идентификаторы, которые присваиваются одному и тому же человеку, могут быть разными;

2) система обработки видеоизображения робота имеет ограниченные возможности в распознавании лиц и требует, зачастую, несколько секунд на стабилизацию изображения и анализ лица, первый раз появившегося в поле зрения;

3) алгоритм распознавания лица не всегда корректно определяет пол и приблизительный возраст; данные легко могут быть искажены, если человек носит очки или его лицо засвечено или видно не полностью;

4) не во всех случаях у видимого лица можно распознать черты, если человек быстро движется или далеко находится;

5) иногда происходит зависание программы обработки видеоизображения при распознавании запомненных предметов.

Система идентификаторов NAOqi, присваиваемых роботом людям, которые попали в поле зрения, используется для внутренних функций NAOqi (разворот головы в сторону отслеживаемого объекта, нахождения расстояния до человека, выделения ряда его характерных черт), однако, она непригодна для запоминания людей – образы быстро удаляются из оперативной памяти. Решением этой проблемы может быть создание списков уже найденных признаков на компьютере оператора.

Последующая фильтрация и обработка данных может выполняться с целью их уточнения. Например, в случае обнаружения роботом человека и его лица он передает сигнал о событии на компьютер оператора, где производится дальнейший анализ кадра. Результат обработки может подтвердить или опровергнуть предварительные выводы, сделанные предустановленной системой обнаружения на роботе. Так, с помощью встроен-

ных средств самого робота можно выявить эмоции на анализируемом лице, а дальнейший анализ на компьютере с помощью других алгоритмов позволит установить надежность и точность выводов. Зная координаты объекта на изображении, можно сузить область обработки и получить более детализированный ответ об объектах при меньших временных затратах. Полученную информацию можно использовать для формирования обратной связи с роботом с целью наведения его камер на интересующий объект. Двойная обработка данных позволит разгрузить ресурсы как робота, так и компьютера оператора, поскольку действия производятся параллельно на двух независимых вычислителях.

Приложение, запускаемое на компьютере, получает информацию и действует независимо от штатного приложения Choreographe и программ, созданных с его помощью и загруженных в робота. Пока NAO выполняет свою основную работу, оператору будет поступать изображение с видеокамер и предварительно обработанная информация.

Таким образом, робот может «следить молча» за обстановкой в учебной аудитории, не выдавая ничем тот факт, что он передает информацию на внешний компьютер, пока выполняет основные действия как ассистента преподавателя.

Библиографический список

1. An Introduction To NAO Robotics. Aldebaran Robotics, 2012. – 204 p.
2. Using NAO: Introduction To Interactive Humanoid Robots. Aldebaran Robotics & NT Research, INC, 2012. – 276 p.

К содержанию

УДК 004.032.26 + 681.5.01

ВЛИЯНИЕ ИСКАЖЕНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СИГНАЛА НА ДИНАМИКУ ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА С НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ

Я.О. Анисимов

В работе рассматривается вопрос о влиянии искажений измерительного сигнала на динамику гироскопического стабилизатора. Приводятся виды искажений с их описанием. Даны результаты моделирования.

Ключевые слова: нейронные сети, системы управления, гироскопический стабилизатор.

Из теории управления известно [2], что увеличение порядка системы может привести к повышению колебательности системы, а также оказать влияние на устойчивость замкнутой динамической системы. В случае, если на этапе синтеза в систему закладывались запасы устойчивости, то незначительное отклонение может не привести к катастрофическим последствиям. Однако данное замечание по отношению к нейронным сетям имеет слабое отношение. Ввиду того, что настройка весов нейронной сети происходит с использованием поисковых алгоритмов, задание каких либо свойств нейронной сети на этапе проектирование на сегодняшний день является проблематичным. В этой связи возникает вопрос о робастности динамической системы, содержащей в контуре обратной связи нейронную сеть.

Рассматривается индикаторный гироскопический стабилизатора, движение которого можно описать системой линейных дифференциальных уравнений (рис. 1) [3].

На платформе установлен чувствительный элемент. В идеальном случае ЧЭ должен реализовывать функцию:

$$\beta_i = h\left(\Delta\alpha_i\right), i = 1,2,3, \quad (1)$$

где h – идеализированное уравнение измерителя, $\Delta\alpha_i$ – приращение абсолютного угла платформы.

Управлением гиростабилизатором происходит по закону $M_{Cl} = u\left(\beta_1, \beta_2, \beta_3\right)$, где β_i – сигнал, снимаемый с датчиков углов прецессии, u – функция, реализующаяся нейронной сетью [1]. Также сделаем допущение о том, что нейронная сеть была обучена в случае идеального чувствительного элемента, представляющего собой идеальное интегрирующее звено. Основные параметры переходного процесса отражены на рис. 2.

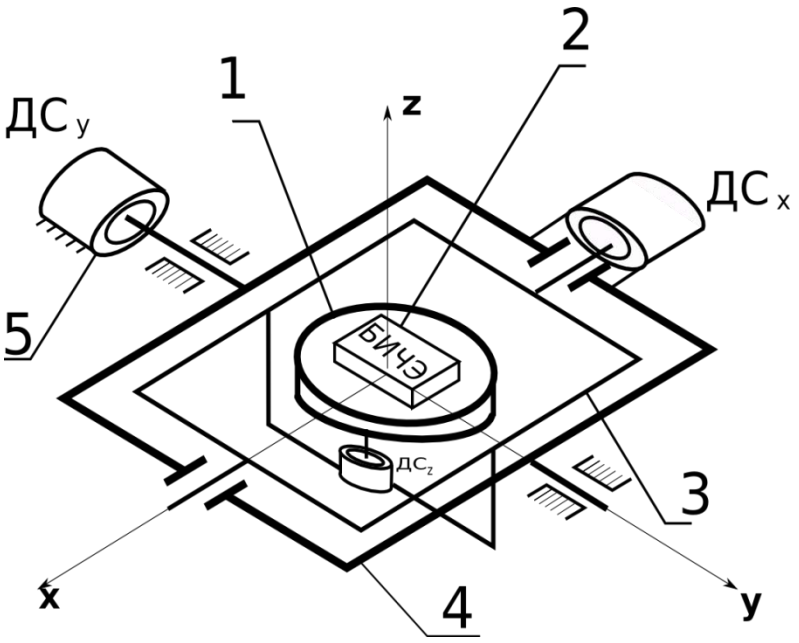


Рис. 1. Кинематическая схема трехосного гиростабилизатора:
1 – наружная рамка; 2 – внутренняя рамка; 3 – платформа,
4 – блок инерциальных чувствительных элементов;
5 – двигатель стабилизации

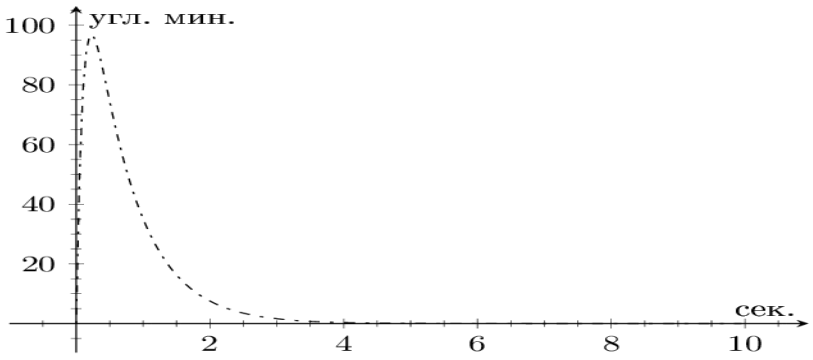


Рис. 2. Поведение гироскопического стабилизатора
при идеальном измерительном сигнале

В реальных системах модель измерений (1), в силу физических свойств, на практике не реализуем [2]. Поэтому устройства можно принять допущения, что сигнал, снимаемый с гироскопа подвержен искажению. При этом искажения могут быть:

- динамическими, когда связь между реальным сигналом и идеальным описывается системой линейных дифференциальных уравнений;
- статические линейные искажения, когда связь между реальным сигналом и идеальным описывается линейным равенством;

- статические нелинейные искажения, когда связь между реальным сигналом и идеальным описывается нелинейным равенством;
- комбинация различных описанных выше искажений.

Рассмотрим поведение гироскопического стабилизатора при различных видах искажений сигнала. Рассмотрим три варианта искажений.

1. Прохождение сигнала через апериодическое звено с частотой среза 8 Гц.

2. Последовательное прохождение сигнала через звено «зона нечувствительности» с параметром нечувствительности в 5 и 7 угловых минут и через апериодическое звено с частотой среза 8 Гц.

При проведении моделирования будем ту же использовать нейронную сеть, что и использовалась при проведении моделирования без всяких искажений. Как видно из графиков в динамике появились высокочастотный колебания, который обусловливаются наличием нелинейности. Также происходит изменение величины максимального угла прокачки и времени успокоения системы.

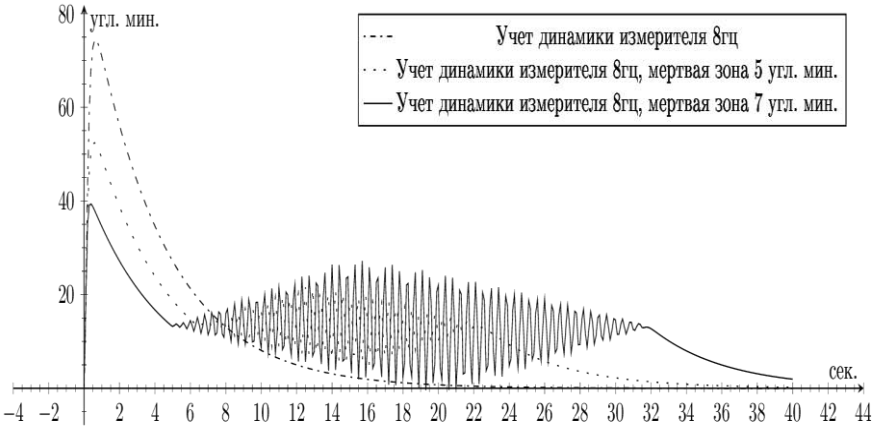


Рис. 3. Поведение гироскопического стабилизатора
при наличии нелинейностей в измерительном канале

Выводы

В работе было рассмотрено влияние искажений измерительного сигнала на динамику гироскопического стабилизатора. В ходе эксперимента было выявлено, что при обучении НС, выполняющей роль устройства управления, возможно использование моделей сигналов, которые не подвержены искажениям. Было показано, что внесение нелинейностей в измерительный канал приводил к появлению высокочастотных колебаний в переходном процессе, но при этом позволял нейронной сети выполнять свои функции по стабилизации платформы.

Библиографический список

1. Анисимов, Я.О. Описание подходов к синтезу управления трехосного индикаторного стабилизатора с использованием аппарата нейронных сетей / Я.О. Анисимов, Д.А. Кацай // В мире научных открытий. Серия Математика. Механика. Информатика. – 2011. – № 8.1(20). – С. 125–134.

2. Бессекерский, В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бессекерский, Е.Н. Попов. – СПб.: «Профессия», 2004. – 747 с.

3. Лысов, А.Н. Теория гироскопических стабилизаторов. Учебное пособие / А.Н. Лысов, А.А. Лысова. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2009. – 116 с.

К содержанию

УДК 519.216

О ВЛИЯНИИ СЛУЧАЙНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ НА ЕЕ ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Е.А. Алешин

Рассматриваются вопросы оценки влияния случайного разброса параметров модели системы на ее вероятностные характеристики с помощью аналитических и численных методов.

Ключевые слова: случайный разброс параметров, вероятностные характеристики, оценка, модель системы.

Оценки влияния случайного разброса параметров модели системы на ее вероятностные характеристики обычно проводятся на всех этапах проектирования: сначала при выборе структуры и параметров системы, чтобы система была мало чувствительной к этим разбросам, а на конечном этапе – для получения вероятностных характеристик системы с учетом разброса параметров.

Согласно [1], под оценкой влияния случайного разброса параметров на вероятностную характеристику λ модели системы будем понимать определение зависимости изменения $\delta\lambda$ вероятностной характеристики от вероятностных характеристик случайного разброса параметров. Методы оценки влияния случайного разброса параметров на вероятностные характеристики модели системы основываются на использовании априорной информации о малости этого влияния, что позволяет применить аналитические методы, рассматривать упрощенную систему, а также ограничится оценкой сверху влияния разброса параметров [2].

Если в результате упрощения исходной системы оказывается, что для поучения вероятностной характеристики системы при конкретных значениях ее параметров применимы аналитические методы, то это означает,

что для любого вектора случайного отклонения параметров системы $\Delta\alpha$ может быть получено условное значение $\mu(\Delta\alpha)$ вероятностной характеристики упрощенной системы. Тогда, используя $\mu(\Delta\alpha)$, по формуле:

$$\mu = \int \mu(\Delta\alpha) f(\Delta\alpha) d\Delta\alpha, \quad (1)$$

можно найти значение μ вероятностной характеристики упрощенной системы. В соответствии с [1] изменение $\delta\lambda$ вероятностной характеристики исходной системы можно приближенно вычислить как изменение $\delta\mu$ соответствующей вероятностной характеристики упрощенной системы, т.е.:

$$\delta\lambda = \int \mu(\Delta\alpha) f(\Delta\alpha) d\Delta\alpha - \mu(0). \quad (2)$$

При малом влиянии разброса параметров на вероятностные характеристики системы функция $\mu(\Delta\alpha)$ может быть разложена в ряд по степеням компонент вектора $\Delta\alpha$ и ограничиться членами минимального порядка. Так как $M[\Delta\alpha] = 0$, то минимальный порядок разложения равен двум и:

$$\delta\lambda = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^{n} \sum_{q=1}^{n} \left. \frac{\partial^2 \mu(\Delta\alpha)}{\partial\Delta\alpha_p \partial\Delta\alpha_q} \right|_{\Delta\alpha=0} K_{\alpha_p \alpha_q}, \quad (3)$$

где $K_{\alpha_p \alpha_q}$ – корреляционный момент случайных величин $\Delta\alpha_p$ и $\Delta\alpha_q$.

Формула (3) определяет изменение $\delta\lambda$ вероятностной характеристики за счет случайного разброса параметров. Для вычисления $\delta\lambda$ необходимо знать корреляционные моменты $K_{\alpha_p \alpha_q}$ разбросов параметров и вычислять вторые производные $\frac{\partial^2 \mu(\Delta\alpha)}{\partial\Delta\alpha_p \partial\Delta\alpha_q}$. Возможны два варианта представления функции $\mu(\Delta\alpha)$. В первом варианте считаем, что функция $\mu(\Delta\alpha)$ представляется аналитически, тогда вторые производные в принципе могут быть вычислены, а значит, получена оценка влияния разброса параметров на вероятностные характеристики системы. Во втором варианте для нахождения $\delta\lambda$ можно применить численный метод определения коэффициентов разложения через значение $\mu(\Delta\alpha)$ при конкретных значениях вектора параметров $\Delta\alpha$.

Идея численного метода заключается в следующем. Предварительно вектор $\Delta\alpha$ коррелированных случайных величин путем линейного преобразования, характеризуемого матрицей B [2], приводится к вектору $\Delta\beta$ некоррелированных величин $\Delta\beta = B\Delta\alpha$. Базируясь на (3), получаем:

$$\delta\lambda = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^{m} a_q \sigma_{\beta_q}^2, \quad (4)$$

где a_q – вторые производные (коэффициенты); σ_{β_q} – средние квадратические отклонения случайной величины $\Delta\beta_q$. При этом величины $\sigma^2_{\beta_q}$ будут диагональными членами матрицы $K_{\beta\beta}$, определяемой как:

$$K_{\beta\beta} = BK_{\alpha\alpha}B^{\mathrm{T}}, \tag{5}$$

где $K_{\alpha\alpha}$ – корреляционная матрица вектора $\Delta\alpha$.

Для любых реально возможных значений вектора $\Delta\beta$ можно найти $\Delta\alpha$, а по нему $\mu(\Delta\alpha)$ и $\delta\mu(\Delta\alpha) = \mu(\Delta\alpha) - \mu(0)$.

Обозначим через $\delta\mu_q(\Delta\beta_q)$ значение $\delta\mu(\Delta\alpha)$ при $\Delta\beta_q \neq 0$ и $\Delta\beta_i = 0$ для $i \neq q$. Тогда, как показано в [2]:

$$a_q = \frac{1}{(\Delta\beta_{q0})^2}\left[\delta\mu_q(\Delta\beta_{q0}) + \delta\mu_q(-\Delta\beta_{q0})\right], \tag{6}$$

где $\Delta\beta_{q0}$ – конкретное значение $\Delta\beta_q$, лежащее в пределах реально возможных значений $\Delta\beta_q$ (например, $\Delta\beta_{q0} = \sigma_{\beta_q}$).

Подставляя коэффициенты a_q в (4) и используя (5), получим оценку влияния случайного разброса параметров на вероятностную характеристику системы:

$$\delta\lambda = \frac{1}{2}\sum_{q=1}^{m} a_q BK_{\alpha\alpha}B^{\mathrm{T}}. \tag{7}$$

Пусть вероятностная характеристика представляет собой дисперсию установившегося случайного процесса в системе. Определим изменение дисперсии δD за счет случайно разброса параметров для передаточных функций:

$$K_1(p) = \frac{k(1+p\tau)}{p(1+pT)} \text{ и } K_2(p) = \frac{k(1+p\tau)}{p^2(1+pT)}. \tag{8}$$

Для нахождения дисперсий $D_1(\alpha)$ и $D_2(\alpha)$ при конкретном значении вектора α параметров k, τ и T воспользуемся таблицами [1]:

$$D_1(\alpha) = \pi G k\frac{T + k\tau^2}{T(1+k\tau)},\ D_2(\alpha) = \pi G\frac{1+k\tau^2}{\tau - T}. \tag{9}$$

Путем непосредственного вычисления вторых производных получаем искомые изменения дисперсий:

$$\delta D_1(\alpha) = \pi G\left\{\frac{\tau_0(\tau_0 - T_0)}{T_0(1+k_0\tau_0)^3}\sigma_k^2 + \frac{k_0^2\tau_0^2}{T_0^3(1+k_0\tau_0)^2}\sigma_T^2 + \frac{k_0^2(1+k_0T_0)}{T_0(1+k_0\tau_0)^3}\sigma_\tau^2\right\}, \tag{10}$$

$$\delta D_2(\alpha) = \pi G \left\{ \frac{1 + k_0 \tau_0^2}{(\tau_0 - T_0)^3} \sigma_T^2 + \frac{1 + k_0 T_0^2}{(\tau_0 - T_0)^3} \sigma_\tau^2 \right\}. \qquad (11)$$

Предположим, что относительные средние квадратические отклонения случайного разброса всех параметров одинаковы и равны σ. Поэтому $\sigma_k = k_0 \sigma$, $\sigma_T = T_0 \sigma$, $\sigma_\tau = \tau_0 \sigma$. Для номинальных значений параметров $k_0 = 1\,\text{с}^{-1}$, $\tau_0 = 0{,}6\,\text{с}$, $T_0 = 1{,}3\,\text{с}$ из (10) получаем $\delta D_1 = 0{,}46 G \sigma^2$.

Библиографический список

1. Пугачев, В.Н. Комбинированные методы определения вероятностных характеристик / В.Н. Пугачев. – М.: «Советское радио», 1973. – 256 с.

2. Лившиц, Н.А. Вероятностный анализ систем автоматического управления / Н.А. Лившиц, В.Н. Пугачев. – М.: «Советское радио», 1963. – Т. 1. – 634 с.

К содержанию

УДК 681.5.013

ДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МНОГОСВЯЗНОЙ САР С НЕМИНИМАЛЬНО-ФАЗОВЫМ ОБЪЕКТОМ УПРАВЛЕНИЯ

Г.В. Зырянов

Рассмотрен способ расчета управляющего устройства многосвязным объектом с «правыми» передаточными нулями.

Ключевые слова: многосвязные САР, динамический синтез, неминимальная фазовость, автономность.

Вводные замечания

Интенсификация процессов функционирования сложных технических систем (ТС), их комплексная автоматизация и повышение требований к эффективности и качеству управления ими, приводят к необходимости рассматривать ТС как *многосвязные* динамические объекты управления (МОУ). Характерной их особенностью является то, что изменение *каждого* из входных управляющих воздействий $\{u_i\}$ оказывает влияние на несколько управляемых переменных $\{y_j\}$.

Наличие *перекрестных связей* (ПС) между каналами передачи воздействий в МОУ создает ряд проблем при синтезе многосвязных систем автоматического регулирования (МСАР). В рамках линейной теории одна из них – учет неминимальной фазовости МОУ, которая, аналогично транспортному запаздыванию, ухудшает и ограничивает достижимое качество МСАР. Эта проблема столь же актуальна и для *одномерных* САР, где для ее решения используют как аналитические (алгебраические), так и частотные методы динамического синтеза.

При этом алгебраические методы (например, метод порядковых отображений [1]) позволяя, в принципе, обеспечить выполнение требований к качеству переходных процессов, сложны для инженерных применений (требуют составления и решения полиномиальных уравнений).

Частотные методы расчета последовательных корректирующих звеньев (компенсаторов), просты и наглядны, но применение их, как правило, накладывает ряд жестких ограничений на величины модулей «правых» нулей передаточных функций ОУ и/или на их количество [2].

От таких ограничений свободен инженерный метод «минимально-фазового» прототипа [3], использующий комбинацию параллельного и последовательного компенсаторов в одномерных САР. Он ориентирован на применение типовых ЛАХ при расчете последовательного корректирующего звена, гарантируя устойчивость и заданные запасы устойчивости замкнутого контура САР. Далее рассматривается обобщение этого метода применительно к синтезу САР неминимально-фазовым *многосвязным* ОУ.

1. Особенности неминимально-фазовых МОУ

Все особенности и проблемы динамического синтеза МСАР обусловлены наличием перекрестных связей в МОУ (точнее – в неизменяемой, заданной части контура управления). Для определенности будем полагать, что все ПС в МОУ структурными преобразованиями приведены к *прямым* связям и известна его передаточная матрица (ПМ), представленная в виде:

$$\mathbf{W}_0(p)=\{W_{ij}(p)\}_{n\times n}= \mathbf{S}_d(p) + \mathbf{S}_m(p), \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{S}_d(p)$ – диагональная часть ПМ, а $\boldsymbol{S}_m(p)$ – матрица с *нулевыми* диагональными элементами (т.е. матрица перекрестных связей).

В общем случае ПМ МОУ не является минимально-фазовой, т.е. некоторые корни $\{p_k\}$ уравнения $\det \mathbf{W}_0(p)=0$ имеют положительные вещественные части. Эти корни называются *передаточными* нулями МОУ и они могут не совпадать с нулями передаточных функций $W_{ij}(p)$. В традиционных методах проектирования МСАР принято выделять два этапа: а) динамическая развязка каналов в МОУ (автономизация) и б) расчет передаточных функций *сепаратных* регуляторов $Wij(p)$, обеспечивающих требуемые динамические свойства каждого из *n автономных* каналов регулирования.

Обычно для развязки каналов *перед* МОУ включают *предкомпенсатор* (ПК) – специально вводимое многосвязное динамическое звено (МДЗ) с ПМ $\mathbf{W}_к(p)$. Совместно с МОУ такой ПК образует *расширенный объект управления* (РОУ) с передаточной матрицей $\mathbf{W}_{роу}(p)=\mathbf{W}_0(p)\mathbf{W}_к(p)$, в которой $\mathbf{W}_к(p)$ выбирается из условия диагональности: $\mathbf{W}_{роу}(p)$ = diag. При этом применяют два вида ПК: а) с прямыми и б) с обратными перекрестными связями (рис. 1).

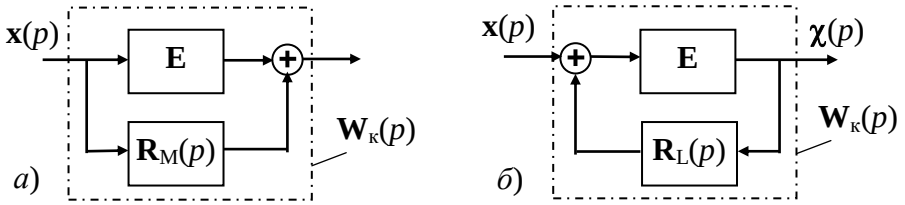


Рис. 1. Структурные схемы ПК

Передаточные матрицы этих ПК определяются выражениями:

$$\text{а) } \mathbf{W}_{\text{к}}(p) = \mathbf{E} + \mathbf{R}_{\text{M}}(p), \qquad \text{б) } \mathbf{W}_{\text{к}}(p) = [\mathbf{E} - \mathbf{R}_{\text{L}}(p)]^{-1}, \tag{2}$$

где $\mathbf{R}_{\text{M}}(p)$ и $\mathbf{R}_{\text{L}}(p)$ – матрицы прямых и обратных (соответственно) перекрестных связей в компенсаторе с *нулевыми диагональными элементами*.

Следуя методике [4], для обеспечения диагональности $\mathbf{W}_{\text{роу}}(p)$ матрицы $\mathbf{R}_{\text{M}}(p)$ и $\mathbf{R}_{\text{L}}(p)$ рассчитываются по формулам:

$$a)\ \mathbf{R}_{\text{M}}(p) = \mathbf{L}_{\text{M}}(p)[\mathbf{L}_{\text{D}}(p)]^{-1}; \qquad б)\ \mathbf{R}_{\text{L}}(p) = -[\mathbf{S}_d(p)]^{-1}\mathbf{S}_m(p), \tag{3}$$

где $\mathbf{L}_{\text{D}}(p)$ – *диагональная* часть ПМ $\mathbf{L}(p) = [\mathbf{W}_0(p)]^{-1}$, а $\mathbf{L}_{\text{M}}(p) = \mathbf{L}(p) - \mathbf{L}_{\text{D}}(p)$.

При таком выборе ПС в ПК передаточная матрица *расширенного* объекта управления (РОУ) будет диагональной следующего вида:

$$a)\ \mathbf{W}_{\text{роу}}(p) = [\mathbf{L}_{\text{D}}(p)]^{-1}; \quad б)\ \mathbf{W}_{\text{роу}}(p) = \mathbf{S}_d(p). \tag{4}$$

Исследуем особенности реализации ПС и МСАР в случаях, когда МОУ является устойчивым неминимально-фазовым динамическим звеном. Сначала рассмотрим вариант прямых ПС в ПК, обращая внимание на устойчивость ПК и на свойство минимальной фазовости РОУ.

Для этого при определении $[\mathbf{L}_{\text{D}}(p)]^{-1}$ воспользуемся следующим выражением для $\mathbf{L}(p) = [\mathbf{W}_0(p)]^{-1}$:

$\mathbf{L}(p) = \dfrac{\{\Delta_{ji}\}_{n\times n}}{\Delta(p)}$, где $\{\Delta_{ji}\}_{n\times n}$ – транспонированная матрица алгебраических дополнений (присоединенная матрица), а $\Delta(p) = \det \mathbf{W}_0(p)$. Тогда получим:

$$\mathbf{L}_{\text{D}}(p) = \frac{\{\Delta_{ii}\}_{n\times n}}{\Delta(p)}; \qquad \mathbf{L}_{\text{M}}(p) = \frac{\{\Delta_{ji}(p)\}_{n\times n}}{\Delta(p)},\ \Delta_{jj} = 0; \tag{5}$$

$$\mathbf{W}_{\text{роу}}(p) = \mathbf{L}_{\text{D}}^{-1}(p) = diag\left\{\frac{\Delta(p)}{\Delta_{ii}(p)}\right\}; \tag{6}$$

$$\mathbf{R}_{\text{M}}(p) = \mathbf{L}_{\text{M}}(p)\mathbf{L}_{\text{D}}^{-1}(p) = \left\{\frac{\Delta_{ji}(p)}{\Delta_{jj}(p)}\right\}_{n\times n}, i \neq j. \tag{7}$$

Из приведенных формул следует, что применение ПК с прямыми ПС развязывает каналы РОУ *без компенсации* передаточных нулей МОУ и по-

этому их *не будет* среди полюсов ПМ $\mathbf{W}_{к}(p)$. При наличии «правых» нулей в $\mathbf{W}_0(p)$ передаточная матрица ПК $\mathbf{W}_{роу}(p)$ будет также неминимально-фазовой и при расчете сепаратных регуляторов в каждом автономном канале МСАР нужно применять специальные методы теории одномерных САР, обеспечивающие выполнение свойства «грубости» [1, 2].

Проведем аналогичное исследование для *второго* варианта ПК (с обратными ПС). При этом используются следующие формулы:

$$\mathbf{R}_{L}(p) = -[\mathbf{S}_d(p)]^{-1}\mathbf{S}_m(p);\ \ \mathbf{W}_{роу}(p) = \mathbf{S}_d(p); \qquad (8)$$

$$\mathbf{W}_{к}(p) = [\mathbf{E} - \mathbf{R}_{L}(p)]^{-1} = [\mathbf{S}_d(p)+\mathbf{S}_m(p)]^{-1}\mathbf{S}_d(p) = \mathbf{L}(p)\mathbf{S}_d(p). \qquad (9)$$

Из формулы (8) следует, что нули диагональной передаточной матрицы $\mathbf{W}_{роу}(p)$, в рассматриваемом случае – это корни уравнения $\det \mathbf{S}_d(p) = 0$, равны нулям *диагональных* элементов ПМ $\mathbf{W}_0(p)$. Но они, вообще говоря, не совпадают с корнями уравнения $\det \mathbf{W}_0(p) = 0$. Следовательно, ПК с обратными ПС изменяет спектр нулей ПФ МОУ путем компенсации некоторых из них. Если среди скомпенсированных оказались «правые» нули, то применение последовательного компенсатора с обратными перекрестными связями нарушит условия «грубости» МСАР, а сам ПК будет неустойчивым. При этом все «правые» нули *диагональных элементов* $\mathbf{W}_0(p)$ сохраняются в элементах ПФ $\mathbf{W}_{роу}(p)$ и РОУ будет неминимально-фазовым.

Таким образом, применение компенсаторов как с прямыми, так и с обратными ПС перед неминимально-фазовым МОУ с целью его «автономизации» приводит к неминимально-фазовому «диагональному» РОУ. При этом из формул (6) и (8) следует, что вариант ПК с прямыми ПС является значительно более трудоемким для следующего второго этапа – расчета *сепаратных* регуляторов в автономных каналах МСАР методами теории одномерных САР из-за более сложного вида $\mathbf{W}_{роу}(p)$.

2. Матричный вариант метода минимально-фазового прототипа

После решения задачи «автономизации» многомерного РОУ (см. п.1), приступают непосредственно к расчету сепаратных регуляторов в *каждом* из n автономных *одномерных* каналов регулирования. Суть возникающей при этом проблемы в том, что «правые» нули элементов д*иагональной* ПМ $\mathbf{W}_{роу}(p)$ компенсировать нельзя, а потому они должны входить в число нулей передаточных функций соответствующих замкнутых автономных каналов регулирования.

Для решения этой проблемы воспользуемся технологией метода минимально-фазового прототипа [3], позволяющего применять типовые ЛАХ при синтезе одномерной САР *устойчивым* объектом управления, передаточная функция которого $W_0(p)$ содержит «правые» нули.

• Рассмотрим обобщение метода [3] на случай САР многосвязным неминимально-фазовым объектом управления (рис. 2).

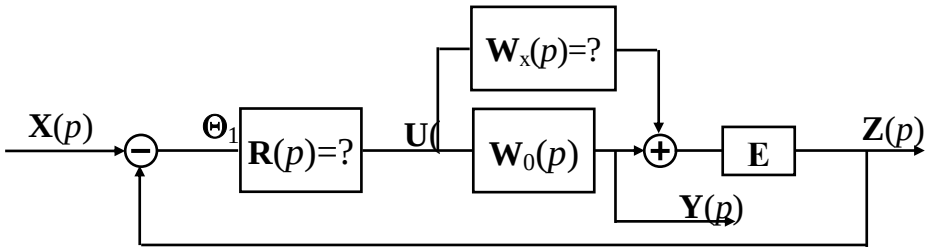


Рис. 2. Структурная схема скорректированной МСАР

Здесь $\mathbf{W}_0(p)$ – ПМ многосвязного *устойчивого* объекта управления МОУ (точнее – это ПМ неизменяемой части), имеющая, в общем случае «правые» передаточные нули (корни $\det \mathbf{W}_0(p)= 0$) и, возможно, нули некоторых элементов $W_0^{ij}(p)$ в правой полуплоскости; $\mathbf{R}(p)=\mathrm{diag}\{R_{ii}(p)\}$ – ПМ последовательного корректирующего звена (регулятора), а $\mathbf{W}_x(p)$ – ПМ параллельного компенсатора (шунта); $\mathbf{E}$ – единичная матрица.

Обозначив $\mathbf{W}_0(p)+\mathbf{W}_x(p)=\mathbf{W}_ж(p)$, потребуем, чтобы соответствующим выбором $\mathbf{W}_x(p)$ передаточная матрица «желаемого объекта» $\mathbf{W}_ж(p)$ приобрела специальный вид – была *диагональной и минимально-фазовой*. Тогда требуемая ПМ параллельного компенсатора равна $\mathbf{W}_x(p) = \mathbf{W}_ж(p) – \mathbf{W}_0(p)$.

Очевидно, что замкнутый относительно сигнала $\mathbf{Z}(p)$ контур МСАР будет автономный и для расчета каждого сепаратного регулятора с ПФ $R_{ii}(p)$ можно использовать методы синтеза одномерных САР, например метод типовых ЛАХ. При этом передаточные матрицы замкнутой МСАР и выходные сигналы $\mathbf{Y}(p)$ и $\mathbf{Z}(p)$ будут связаны следующими формулами:

$$\mathbf{G}_{zx}(p)=\mathbf{W}_ж(p)\mathbf{R}(p)[\mathbf{E}+\mathbf{W}_ж(p)\mathbf{R}(p)]^{-1};\ \mathbf{G}_{yx}(p)= \mathbf{W}_0(p)\mathbf{R}(p)[\mathbf{E}+\mathbf{W}_ж(p)\mathbf{R}(p)]^{-1}; \quad (10)$$

$$\mathbf{Y}(p)=\mathbf{W}_0(p)[\mathbf{W}_ж(p)]^{-1}\,\mathbf{Z}(p);\quad \mathbf{Z}(p)=\mathbf{W}_ж(p)[\mathbf{W}_0(p)]^{-1}\mathbf{Y}(p). \quad (11)$$

Эквивалентными структурными преобразованиями схема (рис. 2) приводится к следующему виду:

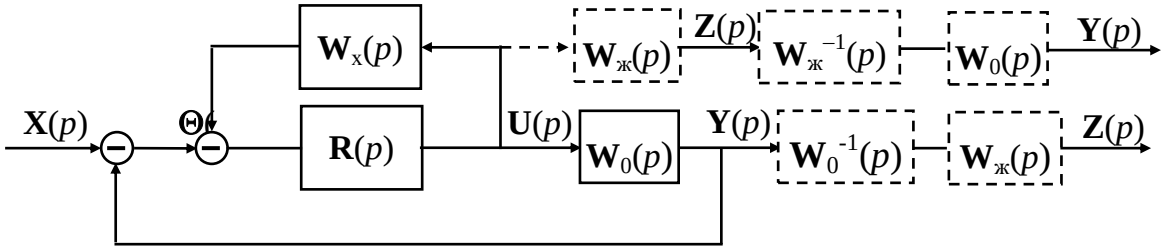


Рис. 3. Эквивалентная структурная схема скорректированной МСАР

Из формул (11) и рис. 3 следует, что $\mathbf{Z}(p)\neq \mathbf{Y}(p)$. Поэтому МСАР, автономная относительно промежуточного выхода $\mathbf{Z}(p)$ не будет автономной относительно выхода МОУ $\mathbf{Y}(p)$. Однако (при устойчивом МОУ!) устойчивость, запасы устойчивости замкнутого контура определяются корнями характеристического уравнения $\det [\mathbf{E}+\mathbf{W}_ж(p)\mathbf{R}(p)]=0$ и они будут одинако-

выми как для автономной, так и для неавтономной САР. Степень связности каналов регулирования будет определяться величиной модулей недиагональных элементов матрицы $\mathbf{Q}(p) = \mathbf{W}_0(p)[\mathbf{W}_ж(p)]^{-1}$. Особенностью метода является то, что «нежелательная» часть динамики МОУ формально «выносится» из замкнутого контура. В частности, это могут быть и звенья транспортного запаздывания, и неминимально-фазовые сомножители в диагональных и недиагональных элементах ПМ МОУ. В любом случае, указанные выше действия позволяют получить устойчивую МСАР.

Библиографический список

1. Ким, Д.П. Синтез неминимально-фазовых систем управления с заданным временем регулирования / Д.П. Ким // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. - №4. – С. 5-10.

2. Бесекерский, В.А. Динамический синтез систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский. – М.: Наука, 1970. – 575 с.

3. Зырянов, Г.В. Инженерный метод синтеза САР с неминимально-фазовым объектом / Г.В. Зырянов // Наука на рубеже тысячелетий: Сб. материалов 6-й научно-практической конференции. 26–27 октября 2009. – Тамбов, 2009. – С. 82–84.

4. Соболев, О.С. Методы исследования линейных многосвязных систем / О.С. Соболев. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 464 с.

К содержанию

УДК 62.004.19 + 62.001.6

О МЕТОДАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

О.О. Павловская

Рассмотрены различные подходы к обеспечению живучести технических систем. Описаны способы реализации защитного управления, направленного на снижение опасности эксплуатации системы под влиянием возмущений. Приведена формализация задачи синтеза комплексных систем обеспечения безопасности.

Ключевые слова: технические системы; живучесть; защитное управление; комплексная система безопасности; формализация задачи синтеза.

В ходе технического прогресса такие технические системы, как летательные аппараты, корабли, транспортные машины, становятся все более совершенными и энергонасыщенными, решают все более сложные задачи. Учитывая, что эти системы во время функционирования подвергаются действию внешней среды, непреднамеренно и преднамеренно стремящейся помешать реализации основных функций, особенно актуальны задачи обеспечения живучести таких систем [3].

Живучесть технической системы в широком смысле – ее способность выполнять свои функции с требуемым качеством в условиях преднамеренного воздействия средств поражения или чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

В более узком смысле под живучестью системы понимают ее способность адаптироваться к условиям функционирования (временно или постоянно отказываясь от выполнения менее важных функций, выполняя новые функции) при безусловной реализации основной функции.

Эволюция систем обуславливает эволюцию их механизмов обеспечения живучести.

В первую очередь живучесть систем обеспечивается технически за счет совершенствования ее конструкции (применения высокопрочных конструкций и материалов, резервирования, защиты от поражения и радиоэлектронного подавления, радиоэлектронной защиты) и организационно, в том числе за счет повышения уровня натренированности субъекта управления. Все эти мероприятия имеют профилактическую направленность, воздействуя на уровень живучести через снижение возможности проявления различных неблагоприятных факторов.

Недостаточная результативность только профилактических подходов к обеспечению живучести обусловило реализацию управленческо-ситуационных подходов, направленных на реализацию защитных реакций системы на опасные изменения условий эксплуатации.

И профилактические, и управленческо-ситуационные подходы существуют вместе (профилактика – необходимое, а защитное управление – достаточное условие обеспечения безопасности эксплуатации системы) [1].

Интегральным показателем выживаемости (живучести) технической системы является средняя наработка на отказ данного вида систем в заданных условиях. Интегральность показателя в том, что он характеризует приспособленность системы к решению двух противоречивых задач:

1) выполнение целевых задач;

2) самосохранение системы (противодействие внутренним и внешним носителям опасности).

Теперь о способах реализации защитного управления.

Самый простой подход – оснащение технической системы (например, ЛА) бортовой системой безопасности (СБ), принцип работы которой показан на рис. 1 [2].

Рис. 1. Принцип работы бортовой СБ

В такой СБ на основе информации о параметрах состояния системы (на рис. обозначена ОУ) осуществляется распознавание типовых опасных событий (признаков); при распознавании таких событий включаются заранее подготовленные алгоритмы управления, а человек-оператор из контура управления выключается; по завершению работы алгоритма управление возвращается человеку-оператору.

Следующая ступень развития систем безопасности – так называемые комплексные системы безопасности (КСБ), принцип работы которых показан на рис. 2.

Рис. 2. Принцип работы комплексной СБ

В отличие от простых СБ (см. рис. 1) здесь есть контур выработки защитных управляющих сигналов (контур управления по опасности). В этом контуре выполняется три операции:

1) получение информационной модели полетной ситуации**,** где $M_{тс}$ – модель функционирования технической системы, $M_{ц}$ – модель цели управления, $M_{вс}$ – модель внешней среды, $M_{но}$ – модель носителей опасности (отказы техники, потеря работоспособности человеком-оператором, выход системы за ограничения по параметрам движения, воздействие метеоявлений, воздействие средств противника);

2) определение опасности текущей ситуации $Q_{с}$;

3) выбор наименее опасного способа достижения цели (принципы выбора могут быть разные: параметрический, событийный ситуационный, многоцелевой, многозадачный).

Выработка и реализация защитных управляющих воздействий может осуществляться как автономно КСБ, так и человеком-оператором совместно с КСБ (КСБ просто подсказывает наименее опасный способ достижения цели).

Поскольку цель КСБ – управление по опасности с минимизацией вероятности гибели эргатической системы, то формализация задачи синтеза КСБ будет выгладить так: при известных характеристиках исходной эргатической системы сформировать такой вариант КСБ, который обеспечит минимум вероятности гибели системы при выполнении заданной совокупности типовых заданий, т.е.:

$$B_{КСБ}(X^*) = \min(P_{гi}(X_j)), i = 1...n, j = 1...m,$$

где $B_{КСБ}(X^*)$ – наилучший при заданных ограничениях X^* вариант КСБ; $P_{гi}$ – вероятность гибели системы (опасность) при выполнении i-го типового задания; X_j – множество характеристик КСБ.

Ограничения X^* выглядят так:

$$\begin{cases} P_i \geq P_{зi}, \\ C \leq C_{\max}, \\ X_{j\min} \leq X_j \leq X_{j\max}, \end{cases}$$

где P_i и $P_{зi}$ – соответственно фактические и заданные (требуемые) значения средней вероятности выполнения типового задания; С и C_{max}– фактическая и предельно-допустимая стоимости КСБ.

Дополнительное ограничение с операцией выбора наименее опасного способа достижения цели:

$$x \in S, y \in S, z \in S,$$

т.е. координаты технической системы (*x, y, z*) должны принадлежать допустимой области решения задачи *S*.

Итак, управление по опасности, совмещенное с целевым управлением – один из видов оптимального управления, где критерий оптимизации – минимизация опасности достижения цели. Последняя количественно определяется по формуле:

$$Q = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i Q_i,$$

где *N* – множество возможных способов достижения цели (СДЦ) (характеризует жизнеспособность системы); Q_i – вероятность гибели системы при реализации *i*-го СДЦ (характеризует одновременно опасность внешней и внутренней среды и жизнестойкость); λ_i – вероятность выбора системой *i*-го СДЦ (характеризует уровень качества управления (способность системы осуществлять выбор и реализацию наилучших СДЦ)).

Для практических целей формула принимает вид:

$$Q = 1 - P_г.$$

Основная сложность при синтезе КСБ – определение опасности ситуации, которую необходимо постоянно оценивать в процессе функционирования системы и в случаях повышения (или не уменьшения) ее уровня срочно принимать защитные меры.

Дальнейшее развитие КСБ связано с созданием интеллектуальных КСБ, которые способны прогнозировать развитие ситуации, активно препятствовать попаданию системы в особые ситуации, помогающих выполнить поставленную задачу наиболее безопасным способом.

Библиографический список

1. Анцелиович, Л.Л. Надежность, безопасность и живучесть самолета / Л.Л. Анцелиович. – М: Машиностроение, 1985. – 296 с.

2. Жмеренецкий, В.Ф. Активное обеспечение безопасности полета летательного аппарата: Методология, модели, алгоритмы / В.Ф. Жмеренецкий. – М.: ЛЕНАНД, 2014. – 320 с.

3. Кирилин, А.Н. Методы обеспечения живучести низкоорбитальных КА зондирования Земли / А.Н. Кирилин, Р.Н. Ахметов, А.В. Соллогуб, В.П. Макаров. – М.: Машиностроение, 2010. – 384 с.

К содержанию

УДК 007.52 + 004.896

МНОГОСВЯЗНАЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА МАНИПУЛЯЦИОННОГО РОБОТА

Н.В. Плотникова

При управлении роботами возникает ряд проблем, обусловленных взаимным влиянием степеней подвижности, способами размещения приводов на подвижных элементах манипулятора. Облегчить решение данных проблем можно на этапе проектирования исполнительной системы всего манипуляционного механизма путем решения задач кинематики и динамики.

Ключевые слова: манипуляционный механизм, многосвязная исполнительная система.

Главным источником возникновения проблем управления роботами является основное преимущество – универсальность. Роботы, как правило, не создают для выполнения конкретной технологической операции. Даже в тех случаях, когда вид операций заранее известен, например операции точечной сварки, необходимо выбирать траекторию движения, возможные ориентации рабочего инструмента, законы движения во времени, включая законы изменения скоростей и ускорений. В ряде случаев предъявляют требования к закону изменения сил [1]. Например, при механической обработке сложных поверхностей необходимо управлять силой резания.

Чтобы манипулятор мог свободно перемещать и ориентировать в пространстве твердое тело, удерживаемое в схвате, он должен иметь не менее шести степеней подвижности.

Движение в каждом сочленении манипулятора обеспечивается с помощью двигателей различного типа – электрических, гидравлических (электрогидравлических) или пневматических.

Двигатель обычно выполняют в виде модуля, включающего также механизм передачи движений (редуктор), датчики обратной связи (потенциометры, тахомашины, вращающиеся трансформаторы, цифровые датчики), сигналы с которых обрабатываются с помощью микропроцессоров или аналоговых устройств, вырабатывающих управляющие воздействия на двигатель. Система управления, образованная этими устройствами, представляет собой привод степени подвижности манипулятора.

Манипулятор в целом можно рассматривать как систему управления, образованную приводами, работающими на общую механическую нагрузку, – манипуляционный механизм. Входом этой системы является многокомпонентный сигнал, поступающий с устройства управления роботом, а выходом – требуемое перемещение манипулятора и, соответственно, схвата с нагрузкой или рабочим инструментом. Такую систему называют исполнительной системой манипуляционного робота [2].

Для проектирования исполнительной системы манипуляционного робота нужно решить задачи кинематики и динамики.

Задачи кинематики решаются и на различных этапах проектирования. Практически всегда рассматривают следующие 2 задачи [3]:

1. Прямая задача кинематики состоит в определении по заданным обобщенным координатам манипулятора положения его некоторого звена. Необходимость решения прямой задачи возникает в вязи с невозможностью определения положения захватного устройства путем непосредственного измерения, в то время как текущие значения обобщенных координат манипулятора измеряются достаточно просто с помощью соответствующих датчиков.

2. Обратная задача кинематики представляет собой задачу нахождения обобщенных координат манипулятора по заданным значениям положения и ориентации его звеньев.

Проектирование промышленного робота обычно начинается с изучения операций и условий производства, в которых предполагается использовать роботы. Изучаются перемещение, скорости, ускорения объекта: эти условия движения объекта определяют требования к исполнительному механизму робота – манипулятору. Все эти требования учитываются при решении задач динамики манипулятора.

Важной конструктивной характеристикой манипуляторов является способ расположения двигателей относительно приводимых ими в движение звеньев. От выбранного варианта компоновки во многом зависят технические характеристики роботов, их быстродействие, управляемость и возможные области применения.

Существуют три типа расположения приводов: непосредственно в шарнирах механизма, на основании, и комбинированное на подвижных и неподвижных звеньях [3]. Создаются также конструкции и механизмы, в которых все движения манипулятора осуществляются от одного двигателя через муфты переключателя.

Наиболее распространенным является тип исполнительного механизма с комбинированным расположением двигателей. При комбинированном расположении двигателей часть двигателей расположена на основании, а часть на подвижных звеньях, причем, как правило, на звеньях с меньшим числом степеней свободы по сравнению со звеньями, к которым передается движение.

Расположение двигателей на подвижных звеньях (в шарнирах) механизма является наиболее простым с точки зрения передачи движения от двигателей к звеньям. Протяженность кинематической цепи от двигателя к приводному звену в этом случае минимальна, что позволяет уменьшить кинематические ошибки передачи движения. В то же время такое расположение приводов значительно увеличивает габариты и массу подвижных звеньев, что приводит к уменьшению доли полезного груза. Этот недостаток частично может быть устранен путем разработки новых конструкций силовых электроприводов с уменьшенной массой.

На некоторых производствах расположение приводов на подвижных звеньях, так же как и комбинированное, нежелательно с точки зрения технологии. В таких случаях все двигатели необходимо выносить на основание.

Компоновка приводов на основании позволяет уменьшить массу подвижных звеньев, но в то же время требует применения многозвенных передаточных кинематических цепей. Это приводит к увеличению ошибок передачи движения от двигателей: при передаче движения через промежуточные подвижные звенья возникает так называемый эффект кинематического взаимовлияния приводов, который необходимо устранять путем введения особого дифференциального привода, осуществляющего развязку движений; в многозвенных кинематических цепях возникают люфты, требующие специальных мер по их выборке.

При размещении приводов на основании, так же как и в комбинированных схемах, передача движения через промежуточные звенья в кинематические пары может осуществляться роликоленточным или зубчато-рычажным дифференциальным механизмом, состоящим как из цилиндрических, так и из конических колес.

Задачей работы на этом этапе является определение требуемых энергетических характеристик привода. Необходимо проанализировать работу объекта управления и определить рабочие нагрузки на проектируемый привод.

Анализ различных схем манипуляционных механизмов показывает, что для каждой степени подвижности нужно выбирать привод с индивидуальными характеристиками. Соединение исполнительных систем каждой степени подвижности в одну общую систему образует многосвязную исполнительную систему манипуляционного робота (рис.), связь между отдельными подсистемами обусловлена кинематическими соотношениями между степенями подвижности.

Многосвязная исполнительная система манипуляционного механизма

При управлении манипулятором обычно последовательно воздействуют на каждую степень подвижности, поскольку одновременное управление может привести к нестабильности механизма. В любом случае, связь между исполнительными системами каждой из степеней подвижности приводит к изменению тех координат, которые не должны изменяться.

Компенсировать это влияние можно, добавляя компенсационные элементы в перекрестные связи между исполнительными подсистемами.

Библиографический список

1. Юревич, Е.И. Основы робототехники: учеб. пособие для вузов по направлению 652000 «Мехатроника и робототехника» специальность 210300 «Роботы и робототехн. системы» / Е.И. Юревич. – СПб.: БХВ-Петербург , 2010. – 359 с.

2. Зенкевич, С.Л. Управление роботами: Основы управления манипуляционными роботами: Учебник для вузов по специальности «Роботы и робототехн. системы» / С.Л. Зенкевич. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 399 с.

3. Корендясев, А.И. Теоретические основы робототехники. Моногр. В 2 кн. Кн. 1 / А.И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес; Под общ. ред. С.М. Каплунова; Рос. акад. наук, Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова. – М.: Наука, 2006. – 382 с.

К содержанию

УДК 378.14 + 378.016:007.52

ОБ УСИЛЕННОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКЕ НА ФАКУЛЬТЕТЕ

Н.В. Плотникова

При управлении роботами возникает ряд проблем, обусловленных взаимным влиянием степеней подвижности, способами размещения приводов на подвижных элементах манипулятора. Облегчить решение данных проблем можно на этапе проектирования исполнительной системы всего манипуляционного механизма путем решения задач кинематики и динамики.

Ключевые слова: манипуляционный механизм, многосвязная исполнительная система.

Состояние инженерного образования и уровня подготовки специалистов в области техники и технологии существенно влияет на состояние инженерного дела в любой стране. Россия не является исключением. Российское инженерное образование имеет более чем 300-летнюю историю и богатые традиции [1]. Однако текущее состояние инженерного образования вызывает серьезную озабоченность как у руководителей и работников высших учебных заведений, так и представителей власти.

Современное понимание инженерного дела подразумевает целенаправленное использование научных знаний в создании и эксплуатации инженерных технических устройств, являющихся результатом преобразовательной деятельности инженера, и охватывает три вида инженерно-технической деятельности [2]:

1) исследовательская (научно-техническая) деятельность – прикладные научные исследования, технико-экономическое обоснование планируемых капиталовложений, планирование;

2) конструкторская (проектная) деятельность – конструирование (проектирование), создание и испытание прототипов (макетов, опытных образцов) технических устройств; разработка технологий их изготовления (сооружения), упаковки, перевозки, хранения и проч.; подготовка конструкторской/проектной документации;

3) технологическая (производственная) деятельность – организационная, консультационная и иная деятельность, направленная на внедрение инженерных разработок в практическую деятельность экономических субъектов с их последующим сопровождением (технической поддержкой) и/или эксплуатацией по поручению заказчика.

Современное инженерное образование предполагает необходимость регулярного (хотя бы раз в три года) обновления практической части учебной программы с учетом новейших тенденций развития соответствующей отрасли. За 4–5 лет, проходящих с момента зачисления студента в вуз и

получения им диплома об окончании (бакалавра или магистра), любая академическая программа, даже учитывающая самые новые на момент поступления технологии, существенно устаревает. В итоге студент получает знания, устаревшие на несколько лет и вынужден самостоятельно ликвидировать пробелы в знаниях и умениях. Конечно, введение блока дисциплин по выбору позволяет скомпенсировать некоторым образом этот недостаток, но полностью его устранить не удается.

В [3, 4] приводится ряд предложений, направленных на модернизацию инженерного образования: от совершенствования законодательной базы и принятия закона об инженерной деятельности до подготовки новой генерации вузовского менеджмента, привлечения работодателей и ученых к процессу подготовки специалистов и переподготовки ППС до специфических способов формирования инженерной элиты.

Современные стандарты третьего поколения ФГОС 3+ предполагают подготовку студентов «прикладников» и «академиков» с разным количеством часов практических аудиторных занятий и практик.

Выбрать из только что поступивших абитуриентов «прикладников» и «академиков» на первом курсе затруднительно, т.к. трудно оценить уровень их подготовки и степень усвоения ими теоретического материала. Такое деление можно проводить в конце второго или начале третьего курсов, когда будут известны результаты их успеваемости по освоению профессиональных дисциплин. Поэтому, имеет смысл предусмотреть в учебных планах возможность одинакового обучения студентов прикладной и академической квалификаций до второго курса включительно. Разницу в часах/зачетных единицах для бакалавров разных квалификаций можно компенсировать за счет дисциплин по выбору.

В настоящее время основной проблемой, тормозящей развитие системы образования, является отсутствие мотивации основной массы студентов в достижении повышенных результатов в учебе. Для пробуждения и поддержания интереса студентов к успехам в учебе целесообразно создать состязательную среду в рамках отдельных образовательных программ. Одним из способов может быть назначение повышенных стипендий (на 100–300 %) особо хорошо успевающим студентам.

Сами программы повышенной подготовки могут формироваться на основе различных принципов, среди которых можно выделить [2]: изучение углубленных курсов дисциплин с использованием более сложного теоретического материала; изучение дополнительных дисциплин, повышающих уровень подготовки студентов, как в академическом, так и в прикладном направлениях; целевая подготовка по индивидуальным программам обучения, согласованным с конкретными предприятиями-работодателями; реализация международных программ подготовки с преподаванием ряда дисциплин на иностранном языке и получением двойных дипломов и другие подходы.

Библиографический список

1. Арефьев, А.Л. Об инженерно-техническом образовании в России / А.Л. Арефьев, М.А. Арефьев. – URL: http://www.socioprognoz.ru/files/File/publ/Inkzenerno_technicheckoe.pdf.

2. Плотникова, Н.В. Инженерное образование сегодня: проблемы модернизации / Н.В. Плотникова, Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015. – Т. 15. – № 1. – С. 145–151.

3. Похолков, Ю.П. Печально, но факт. Тезис о лучшем в мире российском образовании сегодня звучит неубедительно / Ю.П. Похолков. – URL: http://www.poisknews.ru/theme/edu/923/.

4. Яминский, А.В. Инженерная элита России: понятие, концепция и школа совершенствования / А.В. Яминский, А.В. Мышаков. – URL: http://technomag.edu.ru/doc/230463.html.

К содержанию

УДК 622.276:681.5

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ УСТАНОВКОЙ ДОБЫЧИ НЕФТИ СО ШТАНГОВЫМ ГЛУБИННЫМ НАСОСОМ

В.Б. Садов

В статье рассматриваются вопросы синтеза современной системы управления установкой со штанговыми глубинными насосами. Сформулированы требования к таким системам управления, определены задачи, решаемые на этапе их разработки.

Ключевые слова: установка со штанговым глубинным насосом, управление, разработка системы управления.

Исходя из задач, которые ставятся в системах нефтедобычи, системы управления приводами штанговых глубинных насосов (ШГН), в принятой терминологии часто называемые станциями управления, выпускаемые серийно, имеют совершенно разные возможности. Существует целый класс систем управления, которые имеют в своем составе только силовую часть управления приводами (как правило, пусковая аппаратура для электродвигателей), минимально необходимый набор электроники для управления и простое индикационное табло, на которое выводится только самая простая информация о параметрах системы. Часто приводы ШГН не содержат систем управления, а выполняются в виде просто пускозащитного устройства с функциями старт/стоп.

Современной тенденцией является использование систем управления нефтедобычей с функциями «интеллектуальной скважины», которая должна решать задачи диагностики системы нефтедобычи и выработки оптимальных управляющих воздействий на привод ШГН в соответствии с выбранным критерием. Поэтому система управления «интеллектуальной скважины» с ШГН, исходя из современных подходов к диагностике, должна осуществлять съем и анализ динамограмм и ваттметрограмм, содержать интеллектуальные и адекватные физическим процессам нефтедобычи алгоритмы автоматического управления приводом ШГН, предоставлять развитые средства коммуникаций для связи с цеховыми системами. Кроме того, система управления должна быть удобной в эксплуатации и обеспечивать режимы ее работы, необходимые как при постоянной эксплуатации, так и при обслуживании и ремонте. Отсюда можно сформулировать основные требования к интеллектуальным системам управления. Они должны обеспечивать:

– режимы автоматического, ручного и контрольного работы системы управления;

– режим автоматического управления должен позволять управлять установкой как с постоянной величиной количества двойных ходов, так и в режиме периодической эксплуатации и в режиме автоматического управления процессом нефтедобычи с переменным числом количества двойных ходов, определяемых по результатам анализа данных нефтедобычи (производительность установки, уровень жидкости в скважине, процессы в скважине и т.п.), динамограмм и ваттметрограмм. Должно быть предусмотрено управление в автоматическом режиме с заданием его параметров и с наружной системы коммуникаций. Это позволит интегрировать данную систему управления как элемент в общую систему управления нефтедобычей с единым управляющим элементом, расположенным вне системы управления приводом штангового глубинного насоса. Алгоритмы управления в автоматическом режиме могут учитывать экономические составляющие нефтедобычи [1] и иметь связь с системой диагностики для выбора режима откачки и определения его параметров [2];

– использование ручного режима работы установки целесообразно только на начальном этапе эксплуатации установки или после проведения плановых ремонтных или исследовательских работ;

– контрольный режим работы установки подразумевает отсутствие движения, но выдачу части управляющих воздействий и прием сигналов от датчиков для проверки и регулировки электрической части привода (может и отсутствовать);

– получение динамограмм и ваттметрограмм;

– наличие системы диагностики, включающей анализ динамограмм и ваттметрограмм в контроллере с целью выявления дефектов глубинного

оборудования, выдача рекомендаций оператору и передача этих данных в алгоритмы автоматического управления. Результаты диагностики должны сохраняться в энергонезависимой памяти контроллера и быть доступны к чтению с наружной системы коммуникаций. Окончательный анализ данных должен производиться в цехе с использованием специализированного программного обеспечения;

– архивирование ваттметрограмм и динамограмм в контроллере привода ШГН с фиксацией даты и времени их получения и возможностью просмотра их на экране встроенного дисплея. Данные и результаты их анализа должны быть доступны на чтение с наружной системы коммуникаций;

– получение и выдача на встроенный экран контроллера всех параметров процесса нефтедобычи. При этом информация должна быть четко локализована на экране с выделением критических или опасных значений;

– при необходимости архивирование данных по текущей производительности или других параметров установки и нефтедобычи;

– задание и хранение необходимых параметров установки и глубинного оборудования, обеспечивающих правильное функционирование модулей индикации и управления. Эти параметры должны быть доступны на чтение и запись и с наружной системы коммуникаций;

– задание и хранение критических параметров установки и глубинного оборудования для системы диагностики;

– хранение архива аварийных ситуаций с фиксацией даты и времени их появления;

– запоминание текущей наработки системы управления;

– возможно получение и вывод эталонных характеристик установки и глубинного оборудования, например, расчетной динамограммы;

– возможность сохранения параметров установки и глубинного оборудования, включая динамограммы и ваттметрограммы на внешних носителях для их переноса в системы верхнего уровня или дальнейшего анализа;

– наличие коммуникаций системы управления привода ШГН с наружным оборудованием и системами автоматизации верхнего уровня с использованием стандартных интерфейсов и протоколов, включая как проводные, так и беспроводные линии связи.

Общая задача синтеза систем управления с ШГН с включением интеллектуальных возможностей может быть разбита на ряд работ:

– разработка моделей системы скважина – штанговый глубинный насос;

– синтез алгоритмов автоматического управления нефтедобычей;

– синтез алгоритмов диагностической системы;

– разработка электронных блоков имитационного стенда и программная реализация работы его составляющих;

– разработка структуры системы управления нефтедобычей;

– выбор датчиков системы управления;

– выбор и обоснование требований к информационным потокам системы управления нефтедобычей;

– разработка электронных блоков системы управления и программная реализация контроллера системы управления;

– стендовая отладка алгоритмов и программ;

– промысловые испытания системы управления.

Взаимосвязь работ и последовательность их решения показана на рисунке. На этом рисунке кроме работ показан также итоговый продукт – система управления приводом ШГН (в двойных линиях). Важным в этой последовательности является наличие связей блока алгоритмов автоматического управления нефтедобычей и блока алгоритмов диагностической системы. Это следует из того, что сформулированные принципы управления должны включать в себя элементы, получаемые диагностической системой (например, вывод о наличии недостаточного притока жидкости в скважину, обрыва колонны штанг и т.п.). В структуру работ включен также блок разработки моделей системы скважина – ШГН. Это необходимо для стендовой отладки алгоритмов управления приводом при моделировании различных технологических состояний скважины и глубинного оборудования.

Взаимосвязь задач разработки систем управления нефтедобычей

Промысловые испытания являются итоговым этапом разработки системы управления нефтедобычей. По итогам как стендовых, так и промысловых испытаний возможен переход на верхние уровни, например, для доработки алгоритмов диагностической системы (на схеме не показаны).

Библиографический список

1. Садов, В.Б. Автоматическое управление установкой скважинного штангового насоса / В. Б. Садов, А. Л. Шестаков // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 98–101.

2. Садов, В.Б. Структура системы управления приводом штангового глубинного насоса с использованием прогнозирующего управления / В.Б. Садов // Современные тенденции в образовании и науке. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. 28 ноября 2014 г. – Тамбов: UCOM, 2014. – Ч. 5. – С. 126.

К содержанию

УДК 62-752

ОБ ОЦЕНКЕ ГАРМОНИК ВЕЙВЛЕТ-СПЕКТРОВ

В.О. Чернецкий

Рассмотрены вопросы обнаружения и оценки параметров последовательностей гармоник вейвлет-спектров вибросигналов применительно к диагностике промышленного оборудования.

Ключевые слова: вейвлет, спектр, вибродиагностика.

При диагностике самого разнообразного оборудования широко используется анализ вибраций. Он может проводиться как во временной, так и в частотной областях. Как правило, наиболее информативным с точки зрения раннего обнаружения дефектов агрегатов, является анализ вибросигналов в частотной области. Основой спектрального анализа являются интегральное и дискретное преобразование Фурье [1]. В случае анализа стационарных сигналов их значение просто невозможно переоценить. Однако, на ранних стадиях развития дефектов агрегатов, вибросигналы могут иметь нестационарный характер. Вибрации с характерным для дефекта набором гармоник могут возникать лишь эпизодически, с той или иной периодичностью. В этом случае использование преобразования Фурье позволит получить лишь усредненный во времени спектр. Характерные для дефекта гармоники в нем могут оказаться «смазаны», что не позволит их обнаружить в процессе анализа.

Относительно недавно для анализа таких нестационарных сигналов стали использовать вейвлет-анализ. В настоящее время математическим основам вейвлет-анализа посвящено значительное количество работ, например, [2–4].

Интегральное комплексное вейвлет-преобразование задается соотношением:

$$W(t,a)=\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{1}{a}g^{*}\left(\frac{\tau-t}{a}\right)s(\tau)d\tau=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty}e^{i\omega t}G^{*}(a\omega)S(\omega)d\omega, \quad (1)$$

где $s(\cdot),S(\cdot)$ – сигнал и его комплексный спектр, $g(\cdot),G(\cdot)$ – вейвлет и его спектр, a – безразмерный масштабный фактор.

В зависимости от задачи, безразмерный масштабный фактор может иметь разный смысл. При анализе вибродиагностических данных обычно используют физическую частоту, связанную с ним соотношением:

$$a=f/f_w, \quad (2)$$

где f_w – характерная частота вейвлета.

В этом случае:

$$W(t,f)=\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{f}{f_w}g^{*}\left(\frac{f(\tau-t)}{f_w}\right)s(\tau)d\tau=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty}e^{2\pi i\varphi t}G^{*}\left(\frac{\varphi f_w}{f}\right)S(\varphi)d\varphi. \quad (3)$$

Будем полагать, что в качестве вейвлета используется вейвлет Морле с характерной частотой $f_w=1$, определяемый во временной и частотной областях соотношениями:

$$\begin{aligned} g(t)&=e^{2\pi it}e^{-t^2/(2\sigma^2)}\\ G(f)&=\sigma e^{-2\pi^2\sigma^2(f-1)^2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Исходя из (3), дискретное комплексное вейвлет-преобразование может быть получено в виде:

$$W[n,m]=\sum_{k=1}^{N}S[k]G^{*}\left(\frac{f_k}{f_m}\right)e^{\frac{2\pi ikn}{N}}, \quad (5)$$

где $S[\cdot]$ – дискретный спектр сигнала, $f_k=\frac{kf_0}{N}$, f_0 – частота дискретизации, N – количество отсчетов в выборке вибросигнала.

Каждая строка матрицы $W[n,m]$ представляет собой «мгновенный» комплексный вейвлет-спектр $W_n[m]$, соответствующий моменту времени:

$$t_n=n/f_0. \quad (6)$$

В диагностике обычно используют амплитудные спектры, которые могут быть получены из комплексных с помощью очевидного соотношения:

$$A_n[f_m] = \sqrt{\mathrm{Re}\{W_n[f_m]\}^2 + \mathrm{Im}\{W_n[f_m]\}^2}\,. \qquad (7)$$

Задачей диагностики является обнаружение гармоник, соответствующих тому или иному дефекту, и оценка их амплитуд. Сделать это можно следующим образом. Предположим, что в вейвлет-спектре (7) имеются гармоники с частотами jf_h и амплитудами B_j. При использовании вейвлета Морле с единичной частотой им соответствуют вейвлет-спектры:

$$A_n^j[f_m] = B_j \cdot S_j[f_m] = B_j \cdot \exp\left(-\frac{2\pi^2\sigma^2(f_m - jf_h)^2}{f_m^2}\right). \qquad (8)$$

Тогда оценки амплитуд B_j могут быть найдены путем минимизации целевой функции:

$$E_j = \sum_{j\cdot f_h - \frac{f_h}{2} < f_m \le j\cdot f_h + \frac{f_h}{2}} \left(A_n[f_m] - B_j S_j[f_m]\right)^2, \qquad (9)$$

что позволяет получить следующие оценки для амплитуд гармоник:

$$B_j = \frac{\sum\limits_{j\cdot f_h - \frac{f_h}{2} < f_m \le j\cdot f_h + \frac{f_h}{2}} A_n[f_m]\cdot S_j[f_m]}{\sum\limits_{j\cdot f_h - \frac{f_h}{2} < f_m \le j\cdot f_h + \frac{f_h}{2}} S_j[f_m]^2}\,. \qquad (10)$$

На практике частоты гармоник $j \cdot f_h$ известны лишь приближенно. Это связано как с тем, что частоты вращения валов механизма измеряются с погрешностью, так и с тем, что формулы для расчета частот гармоник, соответствующих дефектам, носят приближенный характер. Так, например, формулы расчета частот подшипников качения не учитывают проскальзывание тел качения, износ тел качения и колец, изменение угла контакта в зависимости от осевой нагрузки. Поэтому в действительности требуется оценить не только амплитуды гармоник, но и их фактические частоты. Для этого в окрестностях исследуемой частоты f_h следует найти минимум целевой функции:

$$E = \sum_{j=1}^{N_h} E_j\,, \qquad (11)$$

где N_h – количество учитываемых при анализе гармоник.

Минимизация (11) может быть выполнена путем перебора возможных значений f_h с достаточно малым шагом. В результате кроме оценки амплитуд B_j будет получена оценка частоты f_h'.

Поскольку каждый механизм характеризуется своим индивидуальным уровнем вибраций, по абсолютным значениям оценок амплитуд гармоник нельзя судить ни о наличии соответствующих дефектов, ни об уровне их развития. Однако, для этого можно использовать отношение энергий исследуемых гармоник к энергии остальной части вейвлет-спектра. В данном случае его можно оценить по формуле:

$$R_{SN} = \frac{\sum_{j=1}^{N_h} \sum_{j\cdot f_h - \frac{f_h}{2} < f_m \le j\cdot f_h + \frac{f_h}{2}} \left(B_j^2 \cdot S_j[f_m]\right)}{\sum_{\frac{f_h}{2} < f_m \le N_h \cdot f_h + \frac{f_h}{2}} A_n[f_m] - \sum_{j=1}^{N_h} \sum_{j\cdot f_h - \frac{f_h}{2} < f_m \le j\cdot f_h + \frac{f_h}{2}} \left(B_j^2 \cdot S_j[f_m]\right)}. \quad (12)$$

Если значение $R_{SN} \le 1$, то можно считать, что данная последовательность гармоник в вейвлет-спектре не выражена и соответствующий дефект отсутствует. В остальных случаях величина R_{SN} позволяет сделать вывод как о наличии подозрения на дефект, так и о степени его развития.

В качестве примера на рисунке приведен мгновенный вейвлет-спектр виброускорения, полученный в процессе диагностики подшипникового узла промышленного агрегата. Диагностике подвергались подшипник качения и ведущая шестерня редуктора, находящаяся на данном валу. Там же нанесены оценки гармоник, найденные в результате анализа.

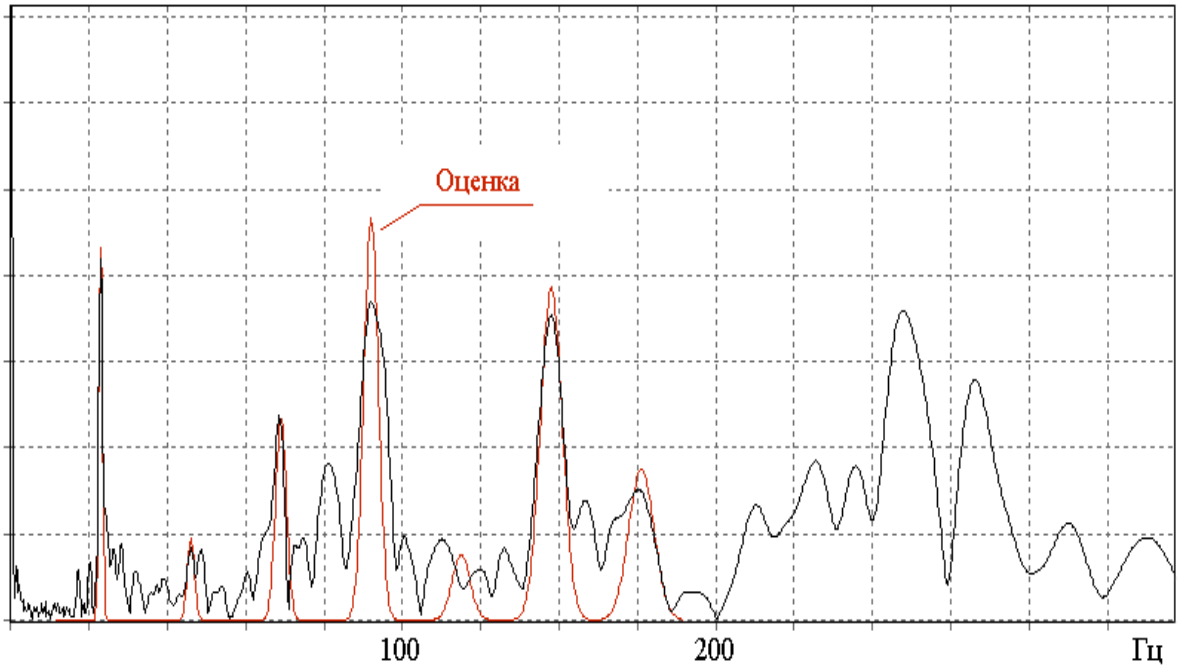


Рис. 1. Пример мгновенного вейвлет-спектра
виброускорения с оценкой гармоник

Данные гармоники соответствуют частоте зацепления шестерни и имеют значительную интенсивность ($R_{SN} > 2$). Это позволяет сделать вывод о наличии ее износа.

Библиографический список

1. Солонина, А.И. Основы цифровой обработки сигналов: курс лекций / А.И. Солонина, Д.А. Улахович, С.М. Арбузов, Е.Б. Соловьева. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 768 с.

2. Астафьева, Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения / Н.М. Астафьева // Успехи физ. наук. – 1996. – Т. 166. – № 11. – С. 1145–1170.

3. Дремин, И.М. Вейвлеты и их использование / И.М. Дремин, О.В. Иванов, В.А. Нечитайло // Успехи физ. наук. – 2001. – Т. 171. – № 5. – С. 465–561

4. Новиков, Л.В. Основы вейвлет-анализа сигналов: учеб. пособие / Л.В. Новиков. – СПб.: МОДУС+, 1999. – 152 с.

К содержанию

УДК 62-519 + 004.738.5

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЕМ

В.П. Щербаков

В статье рассматривается способ управления оборудованием с использованием передовых интернет-технологий, позволяющих дистанционно в режиме реального времени контролировать и регулировать протекающие технологические процессы.

Ключевые слова: оборудование, контроллер, сервер, сайт.

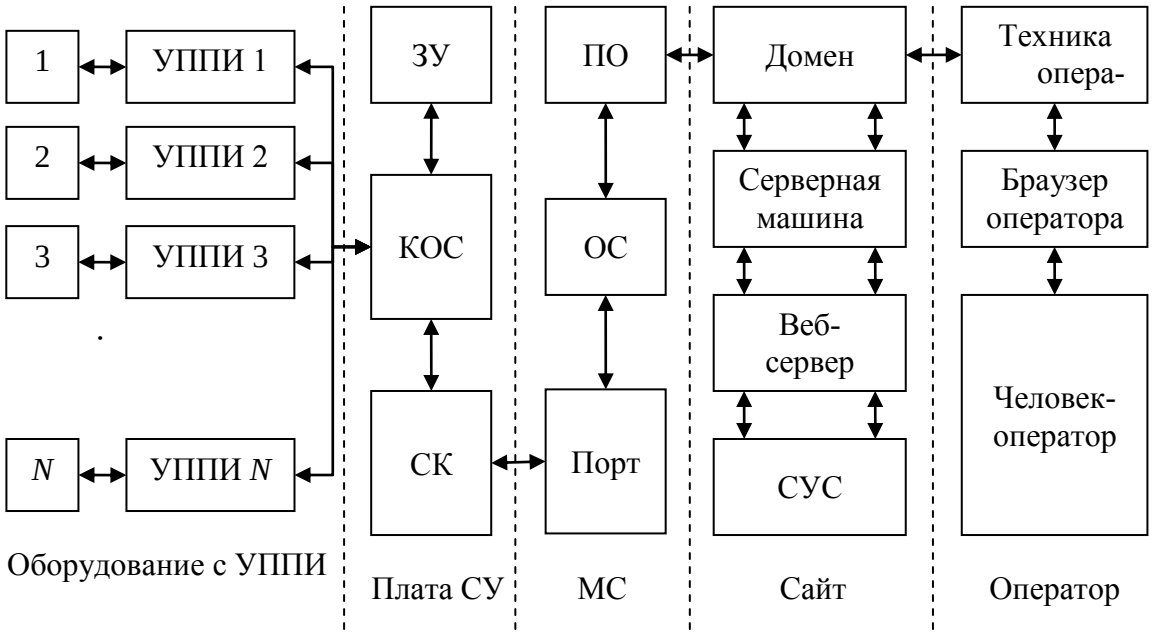
В настоящее время происходит активное внедрение передовых вычислительных элементов и сетевых технологий с целью автоматизации процесса управления оборудованием и аппаратурой различного назначения. Это позволяет не только существенно сократить затраты на ручное контролирование технологических процессов, но и снизить вероятность возникновения рисков и ошибок за счет уменьшения влияния человеческого фактора на объективность получаемой информации. Кроме того, применение интернет-технологий позволит осуществлять контроль над оборудованием практически с любой вычислительной техники и из любого местоположения, где имеется покрытие сетью Интернет.

К настоящему моменту имеется целый ряд отечественных и зарубежных компаний, выпускающих комплексы, состоящие из специализированных

контроллеров для оборудования, программного серверного обеспечения и предоставляющие услуги веб-хостинга для управления оборудованием через Интернет. Однако существенным недостатком такого подхода является узкая направленность аппаратуры, закрытость исходного кода, отсутствие технической поддержки со стороны других компаний и, соответственно, высокая цена производителя аппаратуры на внедрение и поддержку.

После проведения анализа существующих процессов управления оборудованием, таких как TINI компании Rainbow Electronics [1], следует отметить, что затраты на проектирование подобной автоматизированной системы управления (АСУ) можно существенно снизить за счет использования бесплатного программного обеспечения и оптимизации процесса обработки и передачи информации.

Типовая функциональная схема управления оборудованием представлена на рисунке и состоит из следующих подсистем. Основным элементом рассматриваемой схемы является оборудование, выполняющее требуемый технологический процесс и которое может состоять из N частей различного назначения, имеющих собственные устройства приема-передачи информации (УППИ). Далее каждое из устройств обработки информации подключается к аппаратной части разрабатываемой АСУ, плата системы управления которой состоит из запоминающего устройства (ЗУ) и контроллера обработки событий (КОС), который выполняет функции регистрации сигналов оборудования, передачу им управляющих воздействий, а также позволяет осуществлять выборку требуемых параметров из ранее записанной в запоминающее устройство информации.



Функциональная схема процесса управления оборудованием

Кроме того, на плате системы управления (плата СУ) размещается связующий контроллер (СК) для взаимодействия аппаратной части и машины-сервера (МС) по проводному или беспроводному интерфейсу в зависимости от типа СК и возможностей МС.

На машине-сервере размещается операционная система (ОС) и разрабатываемое программное обеспечение (ПО), которое работает с соответствующим подключенным к СК портом, а также осуществляет обмен данными с сайтом.

Для функционирования сайта необходимо наличие зарегистрированного домена, вычислительной машины с поддержкой сетевых подключений (Серверная машина), программного серверного обеспечения (Веб-сервер), а также системы управления содержимым сайта (СУС), причем существует несколько видов реализации связи МС и сайта, которые позволят выбрать оптимальный вариант. Кроме того, контроль и управление оборудованием осуществляет человек-оператор, который при помощи браузера и техники, на которой он исполняется, взаимодействует только с сайтом через домен.

Необходимо отметить, что каждый из разрабатываемых блоков рассмотренной функциональной схемы выполняет целый ряд функций.

Оборудование. Широкое применение в составе оборудования микроконтроллеров, датчиков и регулирующих устройств позволяет качественно и эффективно управлять технологическими процессами, существенно уменьшая влияние человеческого фактора. Как правило, управление оборудованием подобного типа осуществляется путем подачи соответствующих сигналов, формируемых встроенной системой управления оборудованием (ВСУО). Следовательно, входными сигналами ВСУО являются определенные команды, поступающие извне, а выходными сигналами является результирующий ответ на пришедшие команды.

Устройства приема-передачи информации. В зависимости от типа ВСУО устройства могут как содержать аналого-цифровой преобразователь (АЦП), так и совсем не использовать преобразование, если ВСУО и подключенный контроллер КОС осуществляют обработку сигналов в цифровом виде. УППИ решают задачи взаимодействия ВСУО и КОС, обеспечивая между ними бесперебойную передачу информации.

Контроллер обработки событий. Передача команд оператора оборудованию и предоставление информации о времени и качестве работы оборудования за требуемый интервал времени являются основной задачей КОС, расположенного на разрабатываемой плате СУ. Для хранения информации о функционировании оборудования имеется постоянное запоминающее устройство ЗУ, представляющее собой простой и компактный flash-накопитель. КОС сохраняет в ЗУ интервалы работы и основные параметры оборудования в этот промежуток времени, и при первом запро-

се от оператора КОС отправляет управляющие воздействия в УППИ, а также систематизирует и выдает информацию по работе оборудования.

Связующий контроллер. Для связи машины-сервера МС с КОС следует использовать один из вариантов:

1. Проводное соединение через последовательный COM-порт (RS-232).
2. Проводное соединение при помощи USB.
3. Проводное соединение с использованием технологии Ethernet.
4. Беспроводное соединение при помощи инфракрасного порта IrDA.
5. Беспроводное соединение при помощи сети Bluetooth.
6. Беспроводное соединение при помощи сети Wi-Fi.

Часто при проектировании систем управления оборудованием используют первый вариант, который обеспечивает стабильность и безошибочность передачи информации. Однако в современной вычислительной технике отсутствует поддержка COM-порта, что приводит к трудностям использования первого варианта. В этом случае прибегают к программной эмуляции COM-порта при помощи, например, микросхемы FT232, и тогда плата СУ связывается с машиной-сервером при помощи USB, однако в операционной системе МС устройство будет фигурировать обычным COM-портом, что позволит не изменять программное обеспечение.

Программное обеспечение. Исполняемая в ОС машины-сервера программа связывает сайт с платой СУ при помощи двух модулей. Первый модуль периодически подает GET-запрос на сайт для проверки наличия новой команды на сайте. Если команда с сайта получена, то второй модуль формирует управляющий пакет для платы СУ, отправляет его и ожидает результат. После того, как ответ с платы СУ поступит во второй модуль, первый модуль незамедлительно отправляет полученный ответ на сайт по заданному URL-адресу и проверяет наличие на сайте следующей команды.

Система управления сайтом. Функционирование любого интерактивного сайта с динамическим содержимым невозможно без серверной машины, серверного программного обеспечения и системы управления сайтом. В состав СУС входят HTML-страницы с использованием JavaScript, исполняемые программные коды на поддерживаемом языке программирования, например, на PHP. Кроме того, для организации многопользовательской работы с сайтом желательно использовать базу данных, например, MySQL. Требования к СУС минимальны, поэтому в качестве СУС может быть использована как общедоступная система, например, Joomla, Drupal, WordPress, HostCMS, так и система, разработанная собственноручно. Основным требованием к СУС является обеспечение удобного графического представления состояния оборудования, поддержка асинхронной передачи данных, автоматизированная регистрация и назначение прав пользователям-операторам. В основу работы СУС положен механизм формирования запросов оператора в виде файлов с уникальными именами или в виде запи-

сей в базе данных. Дополнительный скрипт, который будет запускать ПО МС, должен выбрать из списка запросов наиболее ранний, сформировать для него идентификатор и передать в ответ ПО требуемую команду. После того, как ПО обработает команду, выполнится другой скрипт на сервере, который обновит содержимое объектов страницы пользователя сайта.

Заключение. Разработка автоматизированной системы управления оборудованием с использованием интернет-технологий позволит человеку-оператору в режиме реального времени удаленно контролировать и управлять оборудованием с любой удобной техники: персонального компьютера, ноутбука, телевизора Smart-TV, планшета или со смартфона, а благодаря наличию свободного ПО и возможности объединения МС и веб-сервера, затраты на разработку и обеспечение АСУ не только не превысят стоимость внедрения аналогичных решений, но и будут существенно ниже.

Библиографический список

1. TINI – интерфейс для управления встроенными системами, приборами и оборудованием через Интернет [Электронный ресурс] // Rainbow Electronics, 2010. – URL: http://www.rtcs.ru/article_detail.asp?id=7.

К содержанию

ФИЗИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УДК 669.017.3 + 661.865.4 + 544.015.3 + 544.015.4

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАНТАНА, КРЕМНИЯ И УГЛЕРОДА С КИСЛОРОДОМ В ЖИДКОЙ СТАЛИ

Г.Г. Михайлов, Л.А. Макровец, Л.Е. Дресвянкина

Определены энергетические параметры теории субрегулярных ионных растворов для расчета активностей компонентов диаграммы состояний системы La_2O_3–SiO_2, подобраны теплоты плавления и образования соединений оксида лантана с кремнеземом. Выполнено термодинамическое моделирование оксидной диаграммы FeO–La_2O_3–SiO_2. На основании полученных термодинамических данных построены поверхности растворимости компонентов (ПРКМ) для систем Fe–La–Si–O и Fe–La–Si–O–C при температуре сталеварения. Установлена значительная раскислительная способность лантана.

Ключевые слова: диаграмма состояний, фазовые равновесия, лантан, термодинамика

При производстве низколегированных конструкционных марок сталей, а также трубных сталей, существенного улучшения качества удается добиться в результате финишного модифицирования жидкого металла редкоземельными элементами [1, 2]. Редкоземельные сплавы для модифицирования стали или чугуна получаются либо в результате металлотермической плавки или электропечной. При этом обычно используются концентраты цериевые, иттриевые, либо, более редких случаях, металлические церий и иттрий. Фирма НПП «Технология» разработала целый комплекс сплавов-модификаторов под общей маркой INSTEEL с различным содержанием РЗМ, а так же кальцием и барием. В комплекс РЗМ этих сплавов входят обычно Ce, La, Nd, Pr, Pm, Sm, причем, несмотря на близкие химические свойства этих элементов, представляет интерес рассмотреть индивидуальное модифицирующее действие редкоземельных элементов, входящих под общую марку – РЗМ.

При проведении термодинамических расчетов исходили из того, что состав образующихся неметаллических включений в стали определяется видом оксидной диаграммы состояний, сопряженной с областью существования металлических расплавов. В настоящей работе рассмотрена термодинамика взаимодействия лантана, кремния и углерода с кислородом, растворенным в металлическом расплаве. Вначале следует рассмотреть термодинамическую системы без углерода, т.е. систему Fe–La–Si–O. В этой четырехкомпонентной системе состав равновесных с жидким металлом оксидных фаз определяется на диаграмме состояний FeO–La_2O_3–

SiO_2. При проведении расчетов использовали теорию субрегулярных растворов [3]. Предварительно необходимо рассмотреть диаграмму состояний системы La_2O_3–SiO_2, так как двойные диаграммы состояний FeO–SiO_2 и FeO–La_2O_3 изучены нами ранее. Значения энергетических параметров субрегулярных ионных растворов устанавливались с использованием координат диаграммы состояний La_2O_3–SiO_2, приведенной на рис. 1. Определение проводилось по координатам характерных точек диаграммы, приведенных в табл. 1. Одновременно проводилось сравнение расчетных точек линии ликвидус и экспериментальных данных, приведенных в справочнике [4]. Видно, что и по составам, и по температурам приведенных превращений результаты расчетов достаточно хорошо соответствуют экспериментальным данным. При проведении расчетов были так же подобраны теплоты плавления и образования для соединений оксидов лантана с оксидом кремния и рассчитаны константы реакций образования данных соединений:

$|La_2O_3 \cdot SiO_2| = (La_2O_3) + (SiO_2)$ $\quad \lg K = -2615/T + 0{,}118;$

$|2La_2O_3 \cdot 3SiO_2| = 2(La_2O_3) + 3(SiO_2)$ $\quad \lg K = -1952/T - 1{,}559;$

$|La_2O_3 \cdot 2SiO_2| = (La_2O_3) + 2(SiO_2)$ $\quad \lg K = -1188/T - 0{,}725.$

Энергетические параметры теории для двойных оксидных систем приведены в табл. 2.

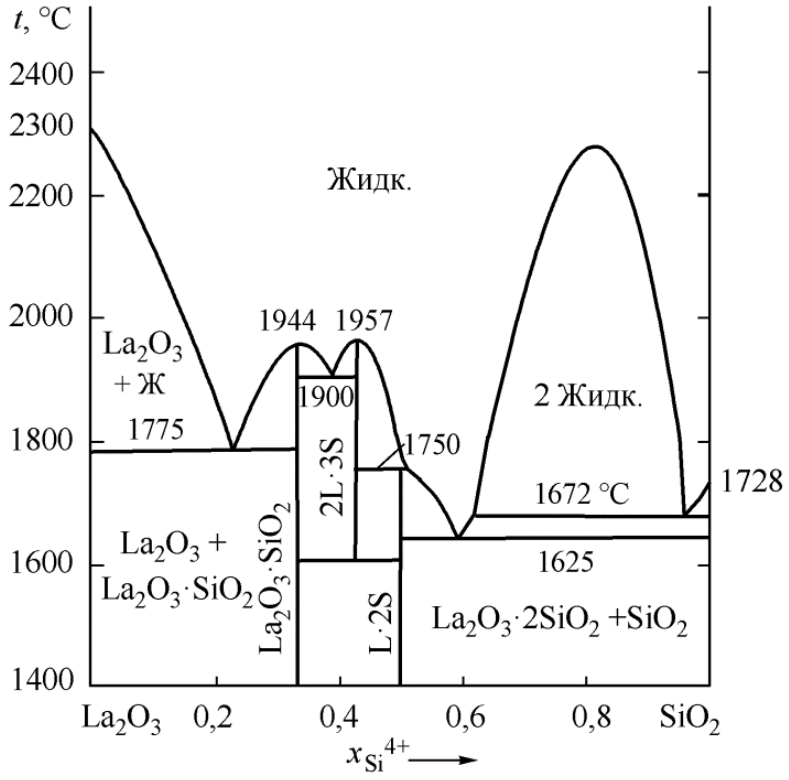


Рис. 1. Диаграмма состояний системы La_2O_3–SiO_2

Таблица 1

Инвариантные точки системы La_2O_3–SiO_2

Фаза	Процесс	Состав, мол. % SiO_2		Температура, °С	
		расчет	[4]	расчет	[4]
La_2O_3+$La_2O_3 \cdot SiO_2$+жидкость	Эвтектика	37,3	37,6	1775	1775
$La_2O_3 \cdot SiO_2$+жидкость	Плавление	50,0	50,0	1944	1930
$La_2O_3 \cdot SiO_2$+ $2La_2O_3 \cdot 3SiO_2$ + жидкость	Эвтектика	56,5	54,6	1900	1900
$2La_2O_3 \cdot 3SiO_2$ + жидкость	Плавление	60,0	60,0	1957	1975
$2La_2O_3 \cdot 3SiO_2$ + $La_2O_3 \cdot 2SiO_2$ + жидкость	Перитектика	67,2	67,8	1750	1750
$La_2O_3 \cdot 2SiO_2$ +α-кристобалит + жидкость	Эвтектика	75,0	75,3	1625	1625
α-кристобалит + $Ж_1$+$Ж_2$	Монотектика	76,0	77,0	1672	1675
α-кристобалит + $Ж_1$+$Ж_2$	Монотектика	97,8	98,0	1672	1675

Таблица 2

Параметры теории субрегулярных ионных растворов FeO–La_2O_3–SiO_2

Система	Энергетические параметры, кал/моль		
FeO–La_2O_3	0	0	0
FeO– SiO_2	229	–8162	12088
La_2O_3– SiO_2	–7520	–5319	8835
FeO– La_2O_3– SiO_2	–5000	–10 000	15 000

На рис. 2 приведена расчетная диаграмма состояний системы FeO–La_2O_3–SiO_2. Сведений о строении этой диаграммы до настоящего времени в литературе отсутствовали. Тройная диаграмма построена с учетом строения двойных диаграмм состояния. Из вида этой диаграммы несложно установить основные реакции, протекающие при взаимодействии лантана и кремния с кислородом, растворенным в жидком железе. Одновременно с учетом тепловых эффектов плавления, перехода соединений в жидкое состояние были рассчитаны температурные зависимости констант равновесия для исследуемых реакций. Эти данные приведены в табл. 3.

Активности компонентов металлического расплава рассчитывались с помощью параметров взаимодействия, приведенных в табл. 4.

По данным табл. 1–4 удалось построить и координаты поверхности растворимости компонентов в металлическом расплаве (ПРКМ) системы Fe–La–Si–O. Изотермическое сечение этой поверхности представлено на рис. 3. Тонкими линиями здесь нанесены изокислородные сечения поверхности, контрастными – заданы составы металла, равновесного с двумя оксидными фазами. Точки *b*, *f*, *e* определяют составы металла, равновесного с тремя оксидными фазами. Металл состава точки *b* находится в равнове-

сии с оксидным расплавом (FeO, La_2O_3, SiO_2), кремнеземом и соединением $La_2O_3 \cdot 2SiO_2$. Металл состава точки *f* находится в равновесии с оксидным расплавом (FeO, La_2O_3, SiO_2) и соединениями $La_2O_3 \cdot SiO_2$ и $La_2O_3 \cdot 2SiO_2$. Металл состава точки *e* находится в равновесии с оксидным расплавом (FeO, La_2O_3, SiO_2), $La_2O_3 \cdot SiO_2$ и La_2O_3. Из рис. 3 следует, что кремний даже при концентрации порядка 1 мас. % может повлиять только на активность кислорода в металле. Начиная от стотысячных долей процента, раскислять и модифицировать будет только лантан.

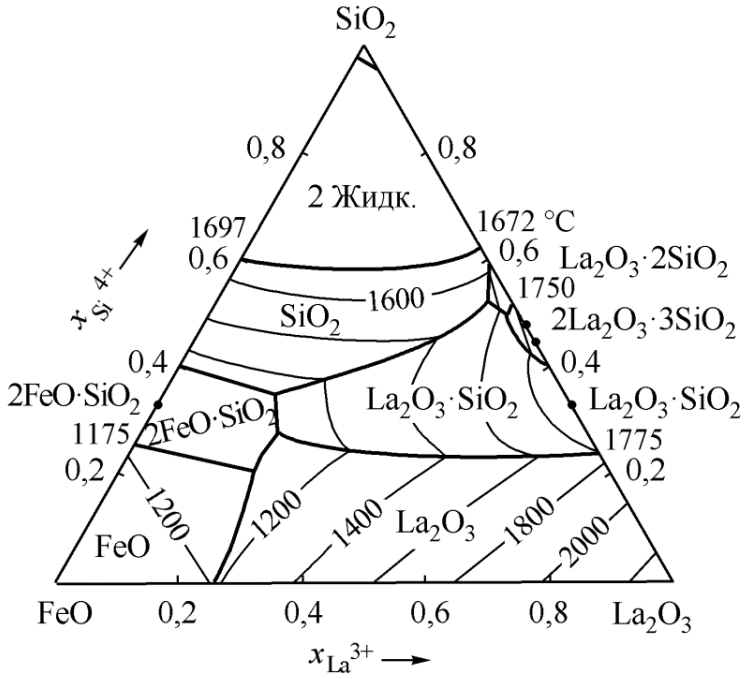


Рис. 2. Расчетная диаграмма состояний системы FeO–La_2O_3–SiO_2

Таблица 3

Зависимость констант равновесия от температуры

Реакция	lg *K* = –*A*/*T* + *B*	
	A	*B*
(FeO) = [Fe] + [O]	6320	4,734
(La_2O_3) = 2[La] + 3[O]	58 115	12,57
(SiO_2) = [Si] + 2[O]	30 225	11,56
|La_2O_3| = 2[La] + 3[O]	62 050	14,10
|SiO_2| = [Si] + 2[O]	31 100	12,00
|La_2O_3 SiO_2| = 2[La] + [Si] + 5[O]	90 955	24,248
|$2La_2O_3$ $3SiO_2$| =4[La] +3 [Si] + 12[O]	208 857	58,261
|La_2O_3 $2SiO_2$| = 2[La] + 2[Si] + 7[O]	119 753	34,965
{CO} = [C] + [O]	1168	–2,07
{CO_2} = [C] + 2[O]	9616	2,51

Таблица 4

Параметры взаимодействия e_i^j, T = 1600 °С, растворитель – жидкое железо

Элемент *i*	Элемент *j*			
	La	Si	O	C
La	–0,0078	–0,351	–5,0134	–1,248
Si	–0,0674	0,14	–0,176	0,187
O	–0,57	–0,1	–0,2	–0,45
C	–0,1039	0,08	–0,34	0,14

На рис. 4 представлена ПРКМ для системы Fe–La–Si–O–C при температуре 1600 °С, давлении 1 атм и [C] = 0,1 мас. %. Видно, что при очень низких значениях концентрации лантана возможно появление области составов металла, равновесного с газовой фазой. При введении лантана в металл на уровне тысячных долей процента окисленность стали будет определяться только содержанием в ней лантана.

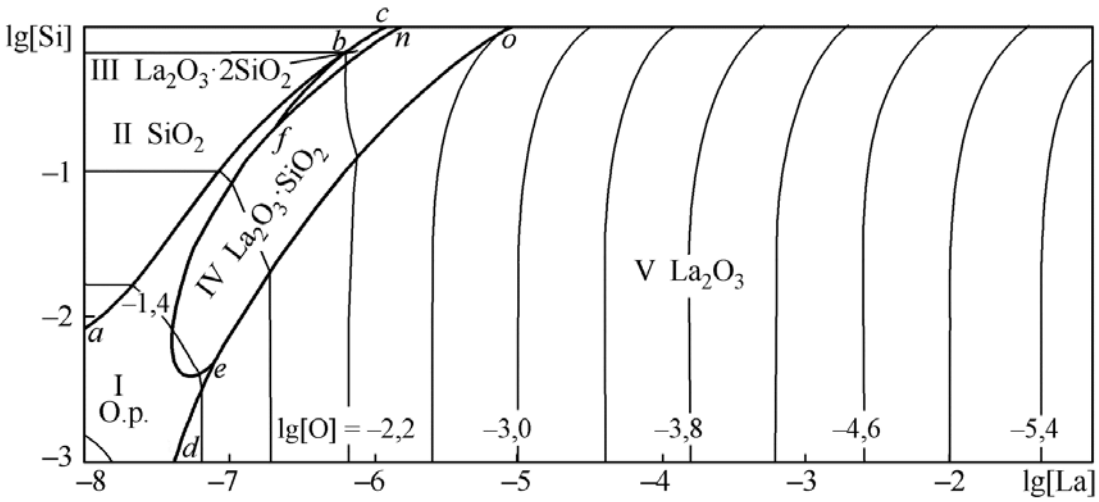


Рис. 3. ПРКМ системы Fe–La–Si–O–C при 1600 °С

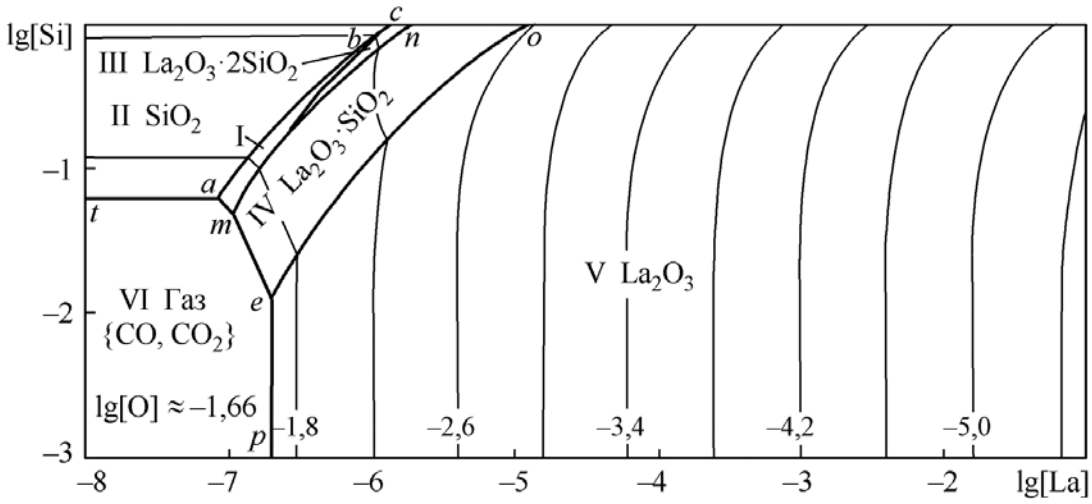


Рис. 4. ПРКМ системы Fe–La–Si–O–C при 1600 °С и [C] = 0,1 мас. %

Системные сведения о фазовых равновесиях в жидкой стали, содержащей углерод, кислород, лантан и кремний представлены впервые и соответствуют практике использования комплексных сплавов, содержащих РЗМ.

Заключение

1. Впервые путем термодинамического моделирования построена диаграмма состояний системы $FeO–La_2O_3–SiO_2$.

2. Установлены теплоты образования и плавления для соединений $La_2O_3 \cdot SiO_2$, $2La_2O_3 \cdot 3SiO_2$, $La_2O_3 \cdot 2SiO_2$, образующихся из компонентов жидкой стали.

3. Впервые построены поверхности растворимости компонентов в металлических расплавах систем Fe–La–Si–O и Fe–La–Si–O–C.

Работа поддержана грантом РФФИ № 13-08-12167.

Библиографический список

1. Рябчиков, И.В. Модификаторы и технологии внепечной обработки железоуглеродистых сплавов / И.В. Рябчиков. – М. ЭКОМЕТ, 2008. – 400 с.

2. Топоров, В.А. Опыт производства непрерывнолитых заготовок из трубных сталей, легированных РЗМ / В.А. Топоров, А.И. Степанов, А.В. Мурзин и др. // Металлург. – 2014. – № 7. – С. 56–59.

3. Михайлов, Г.Г. Термодинамика металлургических процессов и систем / Г.Г. Михайлов, Б.И. Леонович, Ю.С. Кузнецов. – М.: Издат. Дом МИСИС, 2009. – 519 с.

4. Торопов, Н.А. Диаграммы состояния силикатных систем. Справочник. Выпуск первый. Двойные системы / Н.А. Торопов, В.П. Барзаковский, В.В. Лапин, Н.Н. Курцева. – Л.: Изд. «Наука», Ленингр. отд., 1969. – 822 с.

К содержанию

УДК 669.293 + 536.7

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИТРИДА НИОБИЯ

В.М. Жихарев

С помощью термодинамической модели, основанной на методе параметров взаимодействия, получены уравнения зависимостей упругости диссоциации нитридов NbN_x и Nb_2N_y от их состава и температуры. Рассчитаны стандартные энергии Гиббса образования стехиометрических нитридов при 1773…2023 K. Работа основана на данных высокотемпературного эксперимента по изучению равновесия с азотом нитридов ниобия в их областях гомогенности и в гетерогенной системе $NbN – Nb_2N$.

Ключевые слова: нитриды ниобия, равновесное давление азота, термогравиметрия, параметры взаимодействия, термодинамические расчеты.

Термодинамические свойства нитридов переходных металлов как соединений переменного состава зависят от температуры, давления азота и их состава. Приводимые в справочной литературе термодинамические характеристики нитридов отражают лишь их температурные зависимости без указания состава нитрида. Использование их для анализа взаимодействий с участием нестехиометрических нитридов приводит к неверным расчетам.

Задача настоящей работы – установить зависимость состава нитридов ниобия от давления и температуры с целью получения стандартных функций образования нитридов различного состава.

Анализы исследований ряда авторов с использованием аттестованных по составу препаратов нитридов ниобия [1–5] выполнены в работах [6–8]. На их основе для решения вышеуказанной задачи были выбраны экспериментальные данные работы [5], отличающиеся наиболее тщательной методикой их получения. Опыты проведены на специально изготовленной установке с микровесами, манометрами и системой прецизионной очистки и и электрохимического контроля очищения азота от примесей [9]. При определении состава нитрида весовым методом был учтен эффект псевдоизменения массы образца. Исходным материалом служила ниобиевая фольга зонной очистки, подвергаемая азотированию. Истинность установления равновесных состояний проверялась путем достижения равновесия как со стороны диссоциации нитрида, так и со стороны его азотирования, то есть при откачке и напуске азота, либо в условиях повышения или понижения температуры. Граничные равновесные давления находились методом сужения, то есть по знаку изменения массы образца при изменении давления или температуры вблизи их граничных значений для гетерогенной смеси нитридов.

Опыты проведены в интервалах температур 1500 – 1750 ºС и давлений от 3 до 760 мм рт. ст. Для оценки воспроизводимости результатов в каждом опыте использовали 2-3 образца. Результаты исследования графически представлены на рис. 1.

Наклонные участки изотермических зависимостей соответствуют областям гомогенности нитридных фаз δ-NbN и β-Nb_2N , горизонтальные – области гетерогенного равновесия моно- и низшего нитрида ниобия, что подтверждается также данными рентгеноструктурного анализа быстро охлажденных образцов. Результаты эксперимента показывают, что упругость диссоциации нитридов ниобия в зависимости от их состава в исследованных частях областей гомогенности изменяется на 1–2 порядка. Это свидетельствует о значительном изменении термодинамической устойчивости нитридов при различных внешних условиях. Погрешность расчета состава нитридной фазы составляет 0,02 %. Суммарная погрешность, учитывающая и ошибки в измерении давления и температуры, равна 0,57 %.

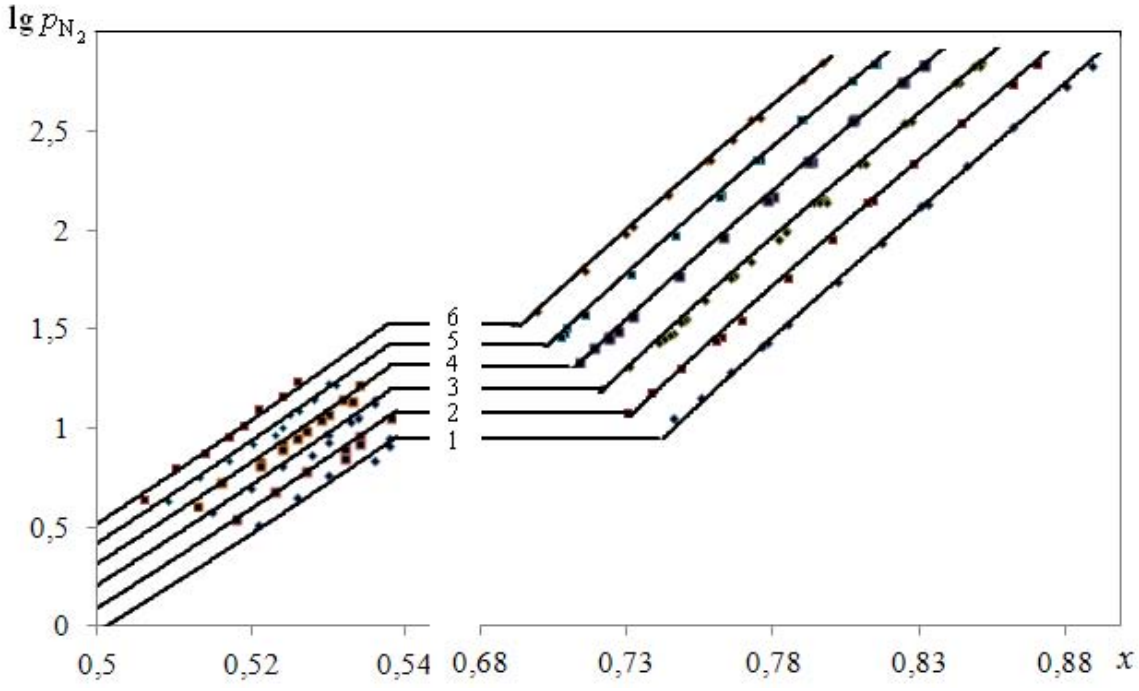


Рис. 1. Зависимость равновесного давления азота (мм рт.ст.) от состава нитрида NbN_x при температурах (ºС): 1500 (1), 1550 (2), 1600 (3), 1650 (4), 1700 (5), 1750 (6)

Для термодинамической характеристики нитридов ниобия в настоящей работе был применен метод, предложенный В.И. Шишковым для описания свойств соединений переменного состава и успешно примененный им для получения концентрационных зависимостей интегральных и парциально-молярных функций гидридов переходных металлов и нитрида ванадия [10]. В соответствии с данным методом нестехиометрический нитрид нио-

бия можно представить как твердый раствор ниобия и нитрида стехиометрического состава, а взаимодействие его с газообразным азотом описать уравнениями:

– для δ – нитрида $$(\mathrm{Nb}) + \frac{1}{2}\mathrm{N_2} = (\mathrm{NbN}), \quad (1)$$

– для β – нитрида $$2(\mathrm{Nb}) + \frac{1}{2}\mathrm{N_2} = (\mathrm{Nb_2N}). \quad (2)$$

Условия равновесия реакций (1) и (2):

$$\mu_{(\mathrm{Nb})} + \frac{1}{2}\mu_{\mathrm{N_2}} = \mu_{(\mathrm{NbN})}, \quad (3)$$

$$2\mu_{(\mathrm{Nb})} + \frac{1}{2}\mu_{\mathrm{N_2}} = \mu_{(\mathrm{Nb_2N})}. \quad (4)$$

Химические потенциалы реагентов для δ – нитрида:

$$\mu_{(\mathrm{Nb})} = G^{\circ}_{\mathrm{Nb}} + RT\ln x_{(\mathrm{Nb})} + RT\ln \gamma^{(\mathrm{R})}_{(\mathrm{Nb})}, \quad (5)$$

$$\mu_{\mathrm{N_2}} = G^{\circ}_{\mathrm{N_2}} + RT\ln p_{\mathrm{N_2}}, \quad (6)$$

$$\mu_{(\mathrm{NbN})} = G^{\circ}_{\mathrm{NbN}} + RT\ln x_{(\mathrm{NbN})} + RT\ln \gamma^{(\mathrm{R})}_{(\mathrm{NbN})} \quad (7)$$

Аналогичные выражения и для β – нитрида.

Здесь G°_{Nb} и G°_{NbN} – молярные энергии Гиббса чистых ниобия и стехиометрического нитрида; $G^{\circ}_{\mathrm{N_2}}$ – молярная энергия Гиббса азота при давлении 1 атм (1013 гПа); $x_{(\mathrm{Nb})}$ и $x_{(\mathrm{NbN})}$ – мольные доли ниобия и стехиометрического нитрида в нитриде переменного состава NbN_x; $\gamma^{(\mathrm{R})}_{(\mathrm{Nb})}$ и $\gamma^{(\mathrm{R})}_{(\mathrm{NbN})}$ – коэффициенты активности компонентов относительно стандартного состояния «чистый компонент» (стандартное состояние по Раулю).

После подстановки выражений (5)–(7) в условие равновесия (3) получим:

$$\frac{1}{2}RT\ln p_{\mathrm{N_2}} = G^{\circ}_{\mathrm{NbN}} - G^{\circ}_{\mathrm{Nb}} - \frac{1}{2}G^{\circ}_{\mathrm{N_2}} + RT\ln\frac{x_{(\mathrm{NbN})}}{x_{(\mathrm{Nb})}} + RT\left(\ln\gamma^{(\mathrm{R})}_{(\mathrm{NbN})} - \ln\gamma^{(\mathrm{R})}_{(\mathrm{Nb})}\right). \quad (8)$$

Разность $G^{\circ}_{\mathrm{NbN}} - G^{\circ}_{\mathrm{Nb}} - \frac{1}{2}G^{\circ}_{\mathrm{N_2}} = \Delta_f G^{\circ}_{\mathrm{NbN}}$ – это стандартное изменение энергии Гиббса при образовании 1 моль стехиометрического нитрида из ниобия и азота ($p_{\mathrm{N_2}}$ = 1 атм).

Логарифмы коэффициентов активности компонентов разлагаем по методике работы [10] в ряды Тейлора:

$$\ln\gamma_1 = \sum_{i=0}^{n} I_i^{(1)} x_2^i \text{ и } \ln\gamma_2 = \sum_{i=0}^{n} I_i^{(2)} x_1^i . \quad (9)$$

В этих разложениях в качестве переменной выбрана мольная доля другого компонента, а величины:

$$I_i^{(1)} = \left(\frac{1}{i!} \cdot \frac{\partial^i \ln\gamma_1}{\partial x_2} \right)_{x_2 \to 0} \text{ и } I_i^{(2)} = \left(\frac{1}{i!} \cdot \frac{\partial^i \ln\gamma_2}{\partial x_1} \right)_{x_1 \to 0}, \quad (10)$$

называют параметрами взаимодействия *i*-го порядка. Если в разложениях (9) ограничиться порядком $n = 4$, то выражения для коэффициентов активности запишутся в виде:

$$\ln\gamma_1 = I_2^{(1)} x_2^2 - \frac{2}{3}\left(I_2^{(1)} - I_2^{(2)} + 2I_4 \right) x_2^3 + I_4 x_2^4, \quad (11)$$

$$\ln\gamma_2 = I_2^{(2)} x_1^2 - \frac{2}{3}\left(I_2^{(2)} - I_2^{(1)} + 2I_4 \right) x_1^3 + I_4 x_1^4. \quad (12)$$

Если записать химическую формулу нестехиометрического нитрида как NbN_x, то нетрудно показать, что:

$$x_{(Nb)} = x_1 = 1 - x \text{ и } x_{(NbN)} = x_2 = x, \quad (13)$$

а уравнение (8) тогда примет окончательный вид:

$$\ln p_{N_2} + 2\ln\frac{1-x}{x} = \frac{2\Delta_f G^{\circ}_{NbN}}{RT} + 2I_2^{(1)}\left(\frac{2}{3} - 2x + x^2 \right) + 2I_2^{(2)}\left(\frac{1}{3} - x^2 \right) - 2I_4\left(\frac{1}{3} - 2x^2 + \frac{4}{3}x^3 \right). \quad (14)$$

Приняв температурные зависимости $\Delta_f G^{\circ}_{NbN} = A + BT$ и $I_i^{(j)} = M/T + N$ и используя опытные значения $p_{N_2} - T - x$ для нитридов ниобия работы, получаем:

– для δ – нитрида

$$\Delta_f G^{\circ}_{NbN} = -220860 + 59{,}8T, \text{ Дж/моль}, \quad (15)$$

$$I_2^{(1)} = -16819/T - 1{,}522, \text{ Дж/моль К}, \quad (16)$$

$$I_2^{(2)} = -6029/T + 3{,}470, \text{ Дж/моль К}, \quad (17)$$

$$I_4 = 2108/T + 5{,}899, \text{ Дж/моль К}; \quad (18)$$

– для β – нитрида

$$\Delta_f G^{\circ}_{Nb_2N} = -113966 + 60{,}1T, \text{ Дж/моль}, \quad (19)$$

$$I_2^{(1)} = -3817/T + 3{,}254, \text{ Дж/моль К}, \quad (20)$$

$$I_2^{(2)} = 52153/T - 62,485, \text{ Дж/моль К}, \quad (21)$$

$$I_4 = 27660/T - 23,896, \text{ Дж/моль К}. \quad (22)$$

Результаты расчета изотермических зависимостей равновесного давления азота β- и δ- нитридов от их состава по уравнению (14) с учетом выражений (15–22) представлены линиями на рисунке 1. Видно, что кривые удовлетворительно описывают опытные данные.

На рис. 2 представлены результаты расчета $\Delta_f G^\circ_{\text{NbN}}$ по данным различных авторов. Сравнение показывает, что наши данные, полученные с учетом нестехиометрии нитридов, не согласуются со справочными, рекомендуемыми Туркдоганом [11] и Григоряном [12]. Еще большее несогласование проявляется для менее изученного нитрида Nb_2N.

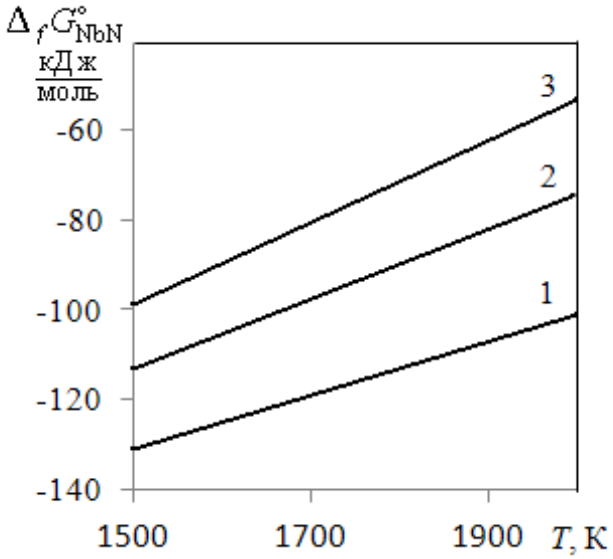


Рис. 2. Зависимость стандартного изменения энергии Гиббса при образовании 1 моль стехиометрического мононитрида ниобия от температуры по данным различных авторов:
1 – наш расчет, 2– Туркдоган Е.Т. [11], 3 – Григорян В.А. [12]

Образование нестехиометрического нитрида NbN_x из $(1-x)$ моль ниобия и x моль стехиометрического нитрида можно рассматривать с двух точек зрения:

1) как химическую реакцию $(1-x)\,\text{Nb} + x\,\text{NbN} = \text{NbN}_x$, (23)

для которой $\Delta_r G^\circ = \Delta_f G^\circ_{\text{NbN}_x} - x\Delta_f G^\circ_{\text{NbN}}$; (24)

2) как растворение ванадия в стехиометрическом нитриде:

$$\Delta_m G^\circ = (1-x)\Delta_m \bar{G}_{(\text{Nb})} + x\Delta_m \bar{G}_{(\text{NbN})}, \quad (25)$$

где $\Delta_m\bar{G}_{(\mathrm{Nb})}$ – парциальное изменение энергии Гиббса при переходе 1 моль ниобия из чистого состояния в нитрид данного состава:

$$\Delta_m\bar{G}_{(\mathrm{Nb})} = \mu_{(\mathrm{Nb})} - G^{\circ}_{\mathrm{Nb}}. \quad (26)$$

Здесь химический потенциал ниобия в растворе (нитриде):

$$\mu_{(\mathrm{Nb})} = G^{\circ}_{\mathrm{Nb}} + RT\ln a^{(\mathrm{R})}_{(\mathrm{Nb})}, \quad (27)$$

с активностью его $a^{(\mathrm{R})}_{(\mathrm{Nb})} = x_{(\mathrm{Nb})}\gamma^{(\mathrm{R})}_{(\mathrm{Nb})}$ и долей $x_{(\mathrm{Nb})} = 1 - x.$ (28)

Поэтому:

$$\Delta_m\bar{G}_{(\mathrm{Nb})} = RT\left[\ln(1-x) + \ln\gamma^{(\mathrm{R})}_{(\mathrm{Nb})}\right]. \quad (29)$$

Аналогично:

$$\Delta_m\bar{G}_{(\mathrm{NbN})} = RT\left[\ln x + \ln\gamma^{(\mathrm{R})}_{(\mathrm{NbN})}\right]. \quad (30)$$

Подставив (29) и (30) в (25), получим:

$$\Delta_m G^{\circ} = (1-x)RT\left[\ln(1-x) + \ln\gamma^{(\mathrm{R})}_{(\mathrm{Nb})}\right] + xRT\left[\ln x + \ln\gamma^{(\mathrm{R})}_{(\mathrm{NbN})}\right]. \quad (31)$$

Так как $\Delta_r G^{\circ} = \Delta_m G^{\circ}$, то:

$$\Delta_f G^{\circ}_{\mathrm{NbN}_x} = x\Delta_f G^{\circ}_{\mathrm{NbN}} + RT\left[(1-x)\ln(1-x) + x\ln x + (1-x)\ln\gamma^{(\mathrm{R})}_{(\mathrm{Nb})} + x\ln\gamma^{(\mathrm{R})}_{(\mathrm{NbN})}\right]. \quad (32)$$

Другие термодинамические свойства нестехиометрических нитридов NbN_x любого состава в областях их гомогенности, могут быть рассчитаны на основании общих положений химической термодинамики.

Библиографический список

1. Brauer, G. Zersetzungsdrucke und Phasengrenzen von Niobnitriden / G. Brauer, W. Kern // Z. anorg. Allg. Chem. – 1983. – Bd. 507, N 12. – S. 127–141.

2. Brauer, G. Gezielte Praparation von Niobnitridphasen / G. Brauer, W. Kern // Z. anorg. Allg. Chem. – 1984. – Bd. 512, N 5. – S. 7–12.

3. Щурик, А.Г. Упругость диссоциации нитрида ниобия типа NbN в области гомогенности / А.Г. Щурик, И.А. Томилин // ЖФХ. – 1971. – Т. 45, № 8. – С. 2049–2052.

4. Kieda, N. Phase equilibria in the system Nb – N at themperatures 1300 – 1700 ºC // N. Kieda, N. Misutani, M Kato // J. Ceram. Soc. Jap. –1986. – V. 94, N 1. – P. 83–87.

5. Матюшина, Л.Н. Термодинамические функции нитридов ниобия. Сообщение 1 / Л.Н. Матюшина, В.М. Жихарев // Изв. Вузов. Черная металлургия. – 1978, №8. – С. 14 – 17.

6. Судариков, М.В. Термодинамические свойства кубического карбонитрида ниобия: дис. … канд. хим. наук / М.В. Судариков. – Челябинск, 1996. – 143 с.

7. Левинский, Ю.В. *p – T – x*–Диаграммы состояния двойных металлических систем: справ. Изд. В 2-х кн. Кн. 2 / Ю.В. Левинский. – М.: Металлургия, 1990. – 400 с.

8. Соединения переменного состава и их твердые растворы: монография / Г.П. Швейкин, С.И. Алямовский, Ю.Г. Зайнулин и др. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. –291 с.

9. Кожеуров, В.А. Изучение термодинамических свойств мононитрида ванадия. Сообщение 1 / В.А. Кожеуров, В.М. Жихарев, В.И. Шишков // Изв. Вузов. Черная металлургия. – 1972, №8. – С. 10 – 13.

10. Шишков, В.И. Термодинамические свойства нитрида ванадия / В. И. Шишков, В. М. Жихарев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2012. – Вып. 18. – № 15. – С. 46-49

11. Туркдоган, Е.Т. Физическая химия высокотемпературных процессов / Е.Т. Туркдоган. – М.: Металлургия, 1985. – 344 с.

12. Григорян, В.А. Физико-химические расчеты электросталеплавильных процессов / В.А. Григорян, А.Я. Стомахин, Ю.И. Уточкин. – М.: МИСиС, 2007. – 318 с.

К содержанию

УДК 66.081 + 544.72.05

САМОРЕГУЛИРУЮЩИЙСЯ КОМПОЗИЦИОННЫЙ ГРАНУЛИРОВАННЫЙ СОРБЕНТ НА ОСНОВЕ СИЛИКАТОВ И АЛЮМОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ

А.Г. Морозова, Т.М. Лонзингер, Г.Г. Михайлов, В.А. Скотников

Показана способность композиционного гранулированного сорбента на основе силикатов и алюмосиликатов кальция к необратимой сорбции катионов тяжелых металлов с образованием термодинамически и химически устойчивых структур типа твердых растворов замещения. Исследована природа новообразований на поверхности гранулированного композиционного сорбента после полного извлечения сорбируемых катионов. Показана блокирующая роль поверхностных $CaCO_3$ и $CaSO_4$ в формировании свойства необратимости.

Ключевые слова: гранулированный сорбент, необратимая сорбция, алюмосиликаты кальция, активные наноцентры.

Природные алюмосиликаты, включая глинистые минералы и цеолиты, широко используются в сорбционных технологиях. Механизм сорбционного взаимодействия в данном случае связан с обменными реакциями между ионами сорбента и сорбата, в которых участвуют как поверхностные

гидроксилы, так и межслойные обменные катионы. Сорбционная способность данного класса веществ ограничена обменной емкостью, селективностью и обратимостью сорбционных процессов. В настоящее время не существует полной теоретической модели сорбции в алюмосиликатных системах.

Исследования сорбционных процессов характеризуются междисциплинарной разобщенностью, отсутствием адекватных моделей, описывающих многокомпонентные физико-химические системы, ориентацией на использование природных или синтетических индивидуальных веществ. Все описанные сорбционные процессы обратимы. Вопросы направленного синтеза многокомпонентного композиционного сорбента с заданными регулируемыми свойствами и способностью к саморегулированию процессов необратимого поглощения в широком интервале pH и концентраций тяжелых металлов до настоящего времени не рассматривались в мировой практике.

Способность природных алюмосиликатных материалов образовывать механически- и химически устойчивые многокомпонентные системы хорошо известна [1]. Особенностью природных алюмосиликатных минералов является наличие структурного силикатного и алюмосиликатного мотива и многокомпонентный катионный состав. Такие структуры можно рассматривать как нестехиометрические твердые растворы замещения с широкой областью гомогенности и устойчивости структурных видов. При разработке гранулированного композиционного сорбента на основе силикатов и алюмосиликатов кальция принята во внимание способность природных алюмосиликатных систем к образованию растворов замещения с широкой областью гомогенности.

Отличительной структурной особенностью композиционного сорбента [2] является формирование единого устойчивого алюмокремнийкислородного каркаса, полученного в результате активированного низкотемпературного спекания. Активирование осуществлялось регулированием реакций дефектообразования при модифицировании системы иновалентными катионами. Разработанный сорбент обладает способностью к необратимому комплексному поглощению катионов тяжелых металлов в широком интервале pH и концентраций растворов сорбата при сохранении прочности и диффузионной проницаемости композиционного материала сорбента [3]. Внедрение катионов тяжелых металлов в решетку силикатов и алюмосиликатов кальция обуславливает необратимость сорбционного процесса и механическую устойчивость гранул в агрессивных средах, так как катионы тяжелых металлов (Ce^{3+}, Cu^{2+}, Ni^{2+}, Fe^{3+}, Zn^{2+}, Co^{2+}, Ti^{3+} и др.) замещают катионы Ca^{2+} и обеспечивают устойчивость алюмокремнийкислородного каркаса и структуры фазовых составляющих, слагающих композиционный сорбент. В течение всего сорбционного процесса генерируются химически активные сорбционные центры в количестве, необходимом для полного

извлечения сорбируемых катионов в сорбент. Процессы, происходящие на поверхности гранул сорбента после завершения сорбционного процесса, изучены недостаточно. Данные знания необходимы для построения физико-химической модели саморегуляции и решения вопросов технологии практического применения разработанного сорбента.

Цель работы: исследование природы новообразований на поверхности гранулированного композиционного сорбента после полного извлечения сорбируемых катионов и их роли в процессах саморегуляции.

Задачи работы:

– сравнительное исследование поверхности гранул сорбента после длительной выдержки в дистиллированной воде и модельных растворах $CuSO_4 \cdot 5H_2O$; $Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ – 3 года;

– исследование термической устойчивости новообразований;

– исследование роли поверхностных новообразований в формировании свойства необратимости композиционного гранулированного сорбента и саморегуляции сорбционного процесса.

Объектами исследования являлись образцы гранулированного сорбента, выдержанные 3 года:

– в дистиллированной воде;

– в растворе $Ce(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ – 1г/л

– в растворе $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ – 1 г/л

– после термической обработки при 850ºС

Распределение сорбируемых элементов на поверхности гранул, морфологические и структурные особенности новообразований, локальный химический состав новообразований изучали на электронном микроскопе JEOL JSM 6460 LV с приставкой для микрорентгеноспектрального анализа. Термическую устойчивость определяли методом термогравиметрического анализа на дериватографе МОМ системы F. Paulik, J. Paulik, L. Erdei Q-1500D. Представления о структуре ближнего порядка получены с использованием метода ИК-спектроскопии на приборе для термического и термогравиметрического анализа твердых и жидких материалов с ИК- и масс-спектрометрическим анализом летучих продуктов их термического разложения Netzsch STA 449C «Jupiter».

Гранулированный сорбент представляет собой слабо спеченный диффузионно проницаемый гидравлический композиционный материал, с открытой пористостью до 55 % и прочностью на сжатие до 10 мПа, синтезированный на основе силикатов и алюмосиликатов кальция с использованием структурообразующих модификаторов.

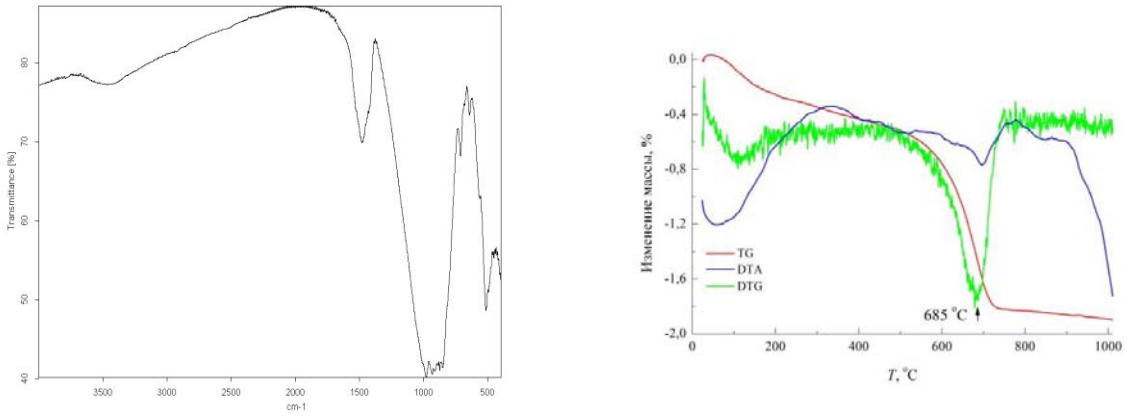
Сорбционный процесс исследовали в статическом режиме методом ограниченного объема при соотношении твердое:жидкое = 1:10. Исходные модельные растворы имели pH 1,5–2,0, а после завершения сорбционного процесса (≈ 200 часов) – 8–9 [4]. В целях моделирования процессов на поверхности гранулированного сорбента при длительном пребывании в ок-

ружающей среде, образцы сорбента были оставлены в исследуемых растворах на 3 года. Для предотвращения испарения, стеклянные емкости с регентами были герметически закрыты.

В качестве образца сравнения использовали гранулы сорбента, выдержанные 3 года в дистиллированной воде.

Особенностью гранулированного композиционного сорбента является способность к карбонизации как на воздухе, так и в воде. В таблице представлены результаты определения химического состава поверхности сорбента непосредственно после синтеза (№ 1а) и после выдержки на воздухе в течение 1 недели (№ 1б).

Наличие карбонатных групп в составе сорбента подтверждено результатами ИК-спектроскопии (рис. 1а) и термогравиметрическим анализом (рис. 1б). Валентным колебаниям связи C – O соответствует полоса 1450 $см^{-1}$ (см. рис. 1а). Отсутствие полосы 850 $см^{-1}$, отвечающей деформационным колебаниям связи C – O и CO_3^{2-} является подтверждением того, что группы CO_3^{2-} структурно связаны с силикатом, а не образуют отдельную фазу – $CaCO_3$. Полоса поглощения в частотной области 900–1000 $см^{-1}$, отвечающая за колебаниями связи Si – O в тетраэдре SiO_4, характеризуется мультиплетностью. Мультиплетность можно объяснить дискретным смещением электронной плотности, обусловленной влиянием катионов кальция и углерода на силовые характеристики связи Si – O.



а) б)

Рис. 1. ИК-спектр (а) и термограмма (б)
исходного композиционного сорбента

В свою очередь, эндоэффект декарбонизации (685 ºС) и связанные с ним потери массы в интервале температур 600–800 ºС (2,95 мас. %) также свидетельствуют о присутствии карбонатных группировок, встроенным в силикатный мотив с образованием структуры типа карбонатного спурита $2(2CaO \cdot SiO_2) \cdot CaCO_3$ [5].

Развитие процесса карбонизации при длительной выдержке в дистиллированной воде иллюстрируют рис. 2а, 2б и таблица.

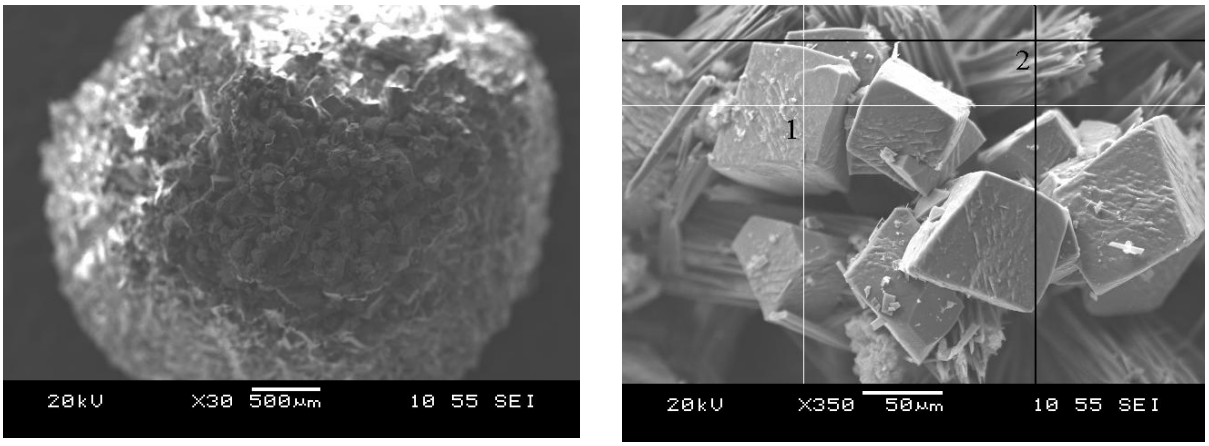
Таблица

Элементный анализ поверхности сорбента

Образец	Содержание, масс. %									
	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Fe	S	Cu	Ce
№ 1а	–	41,81	2,44	3,57	10,98	39,55	1,65	–	–	–
№ 1б	21,12	40,21	2,62	3,12	9,00	22,91	1,01	–	–	–
2б (№ 1)	20,96	55,56	0,65	–	–	22,60	–	0,24	–	–
2б (№ 2)	18,88	55,97	0,28	–	0,32	24,54	–	–	–	–
4б (№ 1)	16,96	43,79	–	–	0,28	34,25	–	1,17	0,81	–
4б (№ 2)	13,75	32,79	–	–	2,19	7,07	–	4,09	40,10	–
5б (№ 1)	18,34	47,02	–	–	1,44	31,39	–	–	–	1,55
5б (№ 2)	8,50	14,38	–	–	3,88	5,58	–	м	–	76,76
6а (№ 1)	7,79	33,91	–	–	0,86	40,26	–	11,74	5,43	–
6а (№ 2)	–	22,04	0,72	–	2,03	38,97	–	13,64	22,61	–
6б (№ 1)	9,62	28,10	1,97	5,02	12,05	20,06	1,37	1,39	20,60	–
6б (№ 2)	14,04	20,75	1,90	1,28	5,19	6,01	–	1,15	49,69	–
7а	7,88	18,29	–	–	7,02	17,72	–	–	–	49,09
7б	5,05	7,97	–	–	6,12	8,14	–	–	–	72,72

Карбонат кальция в виде друз столбчатых и отдельных кубических кристаллов формируют наружный слой гранулы, эпитаксиально связанный с алюмосиликатной матрицей.

В свою очередь, развитие процессов поверхностного взаимодействия и фазообразования с участием катионов Ca^{2+} и анионов CO_3^{2-} и SO_4^{2-} в результате сорбционного взаимодействия сорбента с растворами $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ и $Ce(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ представлено на рис. 3–5 и в таблице.



а) б)

Рис. 2. Поверхность гранулы сорбента через 3 года
в дистиллированной воде

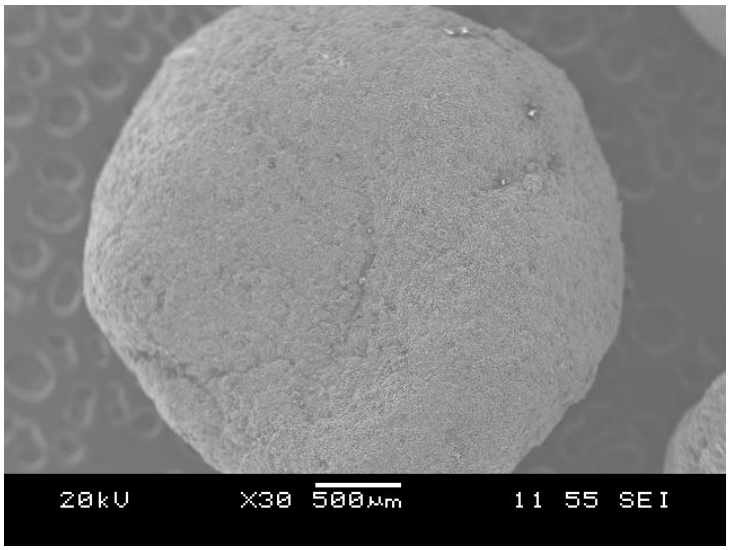
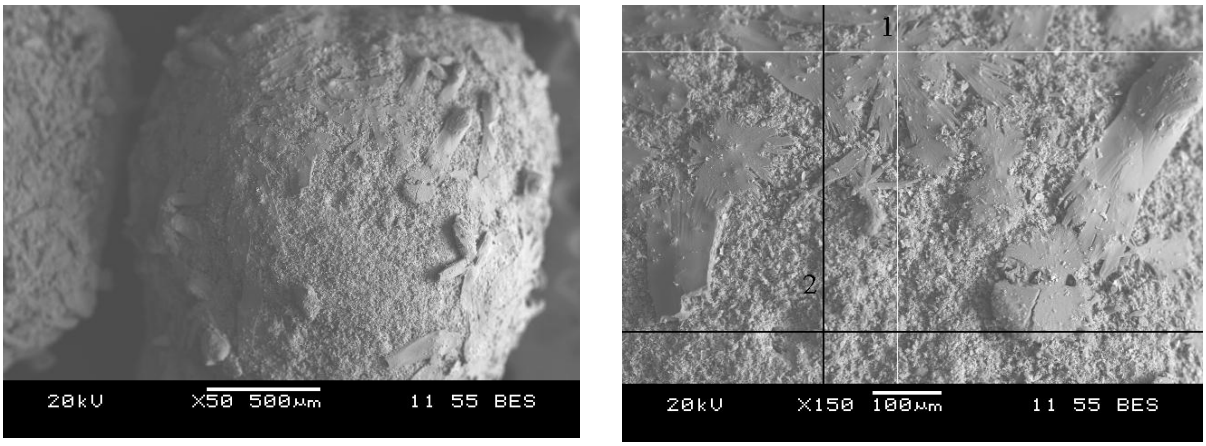
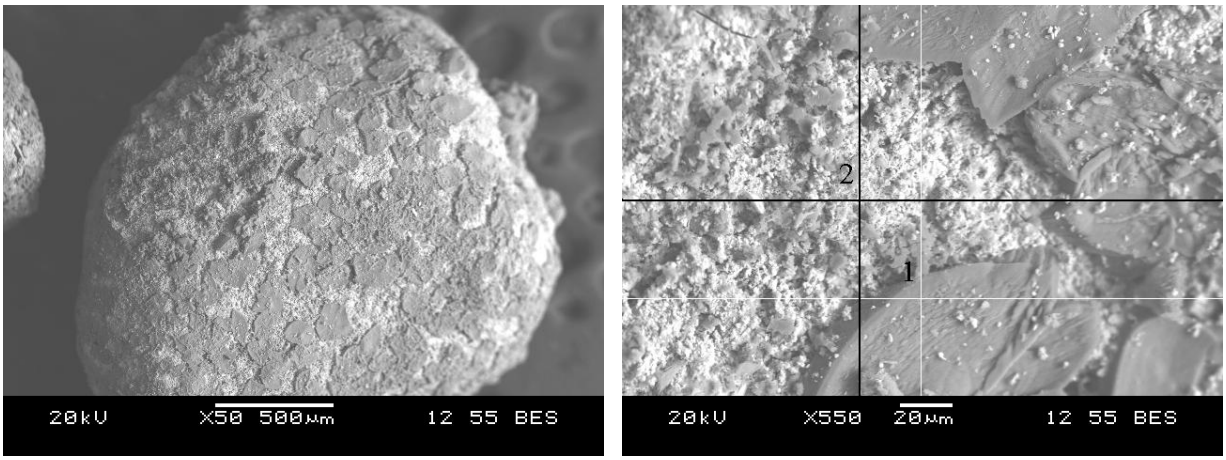


Рис. 3. Поверхность гранулы исходного сорбента



а) б)

Рис. 4. Поверхность гранулы сорбента после сорбции катионов меди

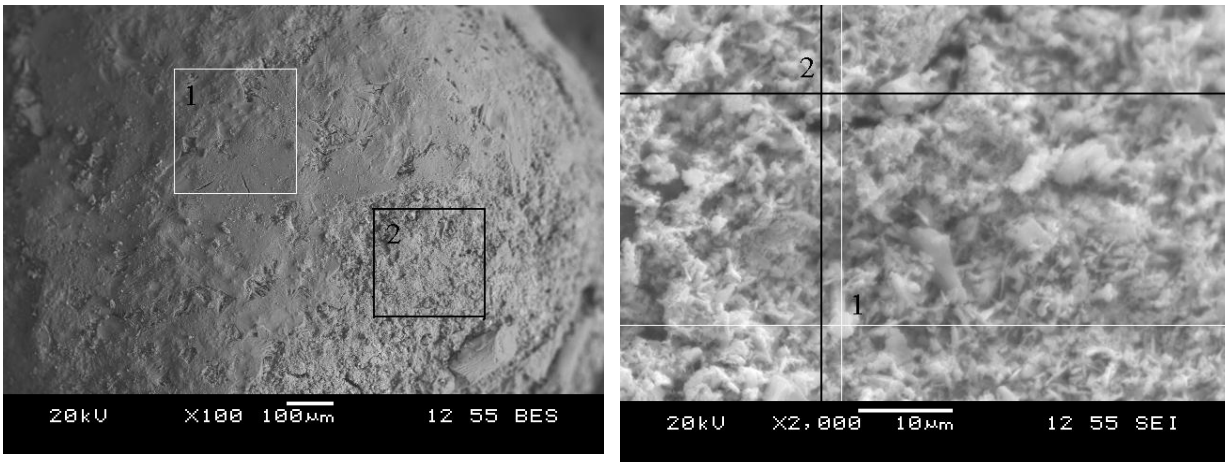


а) б)

Рис. 5. Поверхность гранулы сорбента после сорбции катионов церия

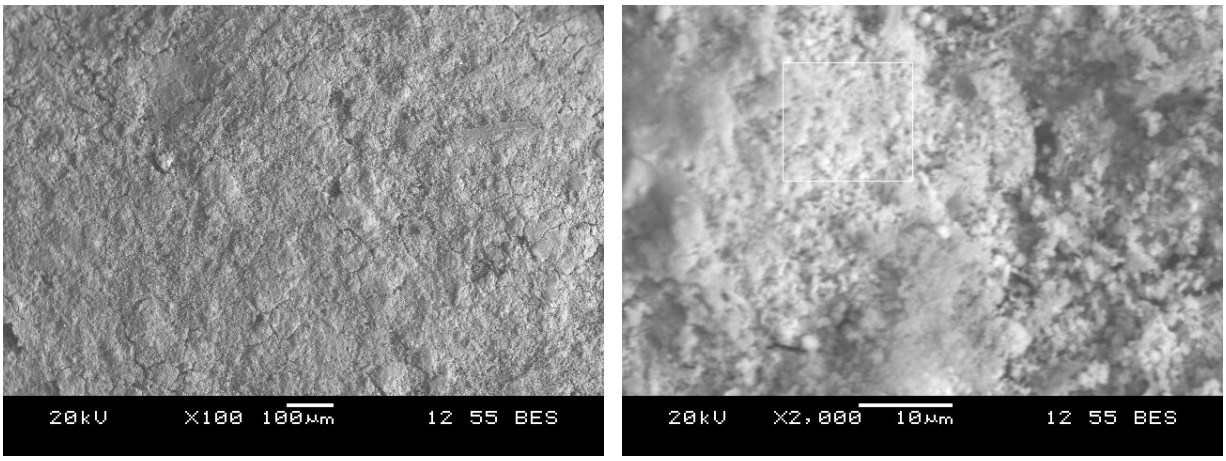
После выдержки в течение 3 лет поверхность гранул оказывается покрытой пленочными новообразованиями, свидетельствующими о развитии процессов взаимодействия катионов Ca^{2+} с анионами CO_3^{2-} и SO_4^{2-}. Сорбируемые катионы присутствуют преимущественно на участках поверхности, где процесс карбонизации не завершен.

После термической обработки и декарбонизации поверхности гранул обнаруживаются более глубинные слои, обогащенные катионами меди и церия (рис. 6–7, таблица). При этом выявляется эпитаксиально связанный с гранулами сорбента слой сульфата кальция после сорбции катионов Cu^{2+} из раствора $CuSO_4 \cdot 5H_2O$. Следует особо подчеркнуть, что катионы меди входят в состав алюмосиликата кальция, а церия – в состав силиката кальция, не образуя границ раздела фаз.



а) б)

Рис. 6. Поверхность термообработанной гранулы сорбента после сорбции катионов меди



а) б)

Рис. 7. Поверхность термообработанной гранулы сорбента после сорбции катионов церия

Такие структуры можно рассматривать как твердые растворы замещения. После завершения сорбционного процесса сорбируемые катионы Cu^{2+}, помимо образования устойчивых химических связей с алюмокремнийкислородным каркасом оказываются блокированы образованным в результате эпитаксиального наслаивания сульфатом и карбонатом кальция, а катионы церия – составе силиката кальция дополнительно блокированы эпитаксиально связанным с ним карбонатом кальция. В результате формируется единый устойчивый градиентный композиционный материал, необратимо удерживающий в своем составе катионы тяжелых металлов.

Таким образом, сорбционный процесс в стадии завершения характеризуется:

– образованием термодинамически и химически устойчивых алюмосиликатных структур типа твердых растворов замещения между катионами сорбента (преимущественно Ca^{2+}) и катионами сорбата (Cu^{2+}, Ce^{3+});

– миграцией ионов Ca^{2+} из раствора сорбата к поверхности сорбента;

– поверхностной миграцией Ca^{2+} и анионов SO_4^{2-} и CO_3^{2-};

– фазообразованием эпитаксиальных пленочных $CaSO_4$ и $CaCO_3$.

При достижении pH 8–9 преобладает карбонатное наслаивание, которое можно рассматривать как самоминерализацию сорбента, аналогичное природным процессам. Движущей силой процесса саморегуляции является градиент pH на границе раздела фаз твердое-жидкое и градиент химического потенциала на поверхности сорбента, обуславливающей поверхностную реакционную диффузию и топохимические реакции образования $CaSO_4$ и $CaCO_3$. Способность разработанного композиционного гранулированного сорбента к саморегулированию и самоминерализации с образованием градиентных структур позволяет использовать его в открытых природных системах с исключением необходимости утилизации.

Библиографический список

1. Бетехтин, А.Г. Курс минералогии / А.Г. Бетехтин. – М.; Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1966. – 558 с.

2. Композиционный сорбент на основе гидросиликатов кальция: пат. 2481153 Рос Федерация / А.Г. Морозова, Т.М. Лонзингер, Г.Г. Михайлов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Южно-Уральский гос. ун-т. – № 2011125244/05 заявл. 17.06.2011; опубл. 10.05.2013, Бюл. № 13. – 6 с.

3. К вопросу о механизме необратимой сорбции тяжелых металлов гранулированным сорбентом на основе металлургических шлаков / Г.Г. Михайлов, А.Г. Морозова, Т.М. Лонзингер и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2011. – Вып. 16. – № 14(231). – С. 20–23.

4. Особенности необратимой сорбции катионов тяжелых металлов гранулированным сорбентом на основе силикатов и алюмосиликатов кальция / Г.Г. Михайлов, А.Г. Морозова, Т.М. Лонзингер и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2011. – Вып. 5. – № 12(229). – С. 46–53.

5. Структурные особенности необратимого композиционного сорбента на основе силикатов и алюмосиликатов кальция / А.Г. Морозова, Т.М. Лонзингер, Г.Г. Михайлов и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2013. – Т. 13. – № 2. – С. 47–54.

К содержанию

УДК 544.016.3 + 669.893

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ НА ФАЗООБРАЗОВАНИЕ ГЕКСАФЕРРИТА БАРИЯ

Д.А. Винник, М.Ф. Гафаров, К.П. Павлова, Л.С. Машковцева, А.С. Чернуха, В.Е. Живулин, Д.Е. Живулин, Д.М. Галимов, Ф.В. Подгорнов, Д.А. Жеребцов

Проведено исследование влияния давления прессования на образование гексаферрита бария при спекании на воздухе при температуре 1350 °С. Проведено исследование плотности образцов. Установлено оптимальное давление прессования.

Ключевые слова: феррит бария, твердофазный синтез, магнитные материалы.

Введение

Гексаферрит бария – первое соединение среди гексагональных ферритов, получившее широкое применение. Особая гексагональная структура гексаферрита бария позволяет проводить изоморфные замещения [1]. В связи с этим, исследование системы $BaFe_{12}O_{19}$ представляет большой интерес, поскольку замещение части ионов бария или железа различными легирующими элементами, например, титаном, алюминием, стронцием, позволяют изменять магнитные свойства матрицы, увеличивать или уменьшать частоты ферромагнитного резонанса [2].Такие вещества могут быть использованы в электротехнических изделиях различного назначения. Например, в устройствах записи и воспроизведения звука, в устройствах накопления информации. Особенностями гексаферрита бария является высокая химическая стабильность и одноосная магнитная анизотропия, что делает возможным применение данного материала в электронике [3, 4].

Ферриты бария получают методом соосаждения [5, 6], синтезом микроэмульсий [7, 8], гидротермальными реакциями [9, 10], золь-гель технологиями [11, 12]. Авторами ранее был опубликован цикл статей о получении и исследовании свойств как чистых, так и частично замещенных монокристаллов гексаферрита бария из раствора [13, 14].

Целью данной работы является исследование процесса образования $BaFe_{12}O_{19}$ при твердофазном спекании в зависимости от давления прессования образцов перед спеканием.

Экспериментальная часть

В качестве исходных веществ использовались оксид железа (III) (гематит) и карбонат бария ($BaCO_3$) чистотой не менее 99,5 %. Состав шихты соответствовал стехиометрическим соотношениям вещества $BaFe_{12}O_{19}$ и составлял: Fe_2O_3 – 82,9216 мас. %, $BaCO_3$ – 17,0784 мас. %. Исходные компоненты перетирали в агатовой ступе в течение 1 часа. После предварительного спекания при температуре 1100 °С в фарфоровых тиглях навески шихты (0.3 г) прессовали с различным усилием и спекали при температуре 1350 °С в течение 1 часа. Спекание проводилось в горизонтальной трубчатой печи с карбидкремниевыми нагревателями типа КЭН–А. Максимально возможная температура в печи составляет 1450 °С.

Состав спеченных образцов исследовали с помощью растрового электронного микроскопа JEOL JSM7001F с энергодисперсионным спектрометром Oxford INCA X-max 80. Химический состав определяли по десяти микроучасткам образцов, спеченным при минимальном и максимальном давлениях прессования (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав образцов гексаферрита бария

№	O	Fe	Ba	Fe/Ba
	ат. %			
1	63,2	33,76	3,04	11,11
8	64,31	32,75	2,94	11,14

Исследования химического состава и поверхности образцов, спрессованных при различных давлениях, не выявили значительных отличий.

До и после спекания были проведены измерения массы и размеров таблеток, на основе чего рассчитаны значения плотности (в предположении идеальной цилиндрической формы таблеток). Результаты расчетов приведены в табл. 2. На рис. 1 представлены графики зависимости плотности образцов до и после спекания от номинального давления прессования (по манометру ручного пресса).

Таблица 2

Геометрические размеры и плотность образцов $BaFe_{12}O_{19}$ до и после спекания

№	*P*, кгс/см^2	До спекания				После спекания			
		m, г	*d*, мм	*h*, мм	ρ, г/см^3	*m*, г	*d*, мм	*h*, мм	ρ, г/см^3
1	37,5	0,312	5,025	4,598	3,418	0,310	4,675	4,280	4,214
2	50	0,313	5,025	4,482	3,525	0,312	4,692	4,187	4,305
3	60	0,314	5,025	4,415	3,589	0,313	4,683	4,127	4,398
4	70	0,314	5,025	4,332	3,659	0,313	4,707	4,068	4,418
5	80	0,313	5,025	4,258	3,710	0,312	4,709	4,004	4,471
6	90	0,315	5,025	4,193	3,781	0,312	4,745	3,967	4,448
7	100	0,314	5,025	4,134	3,825	0,312	4,751	3,950	4,455
8	110	0,313	5,025	4,088	3,865	0,312	4,773	3,918	4,447

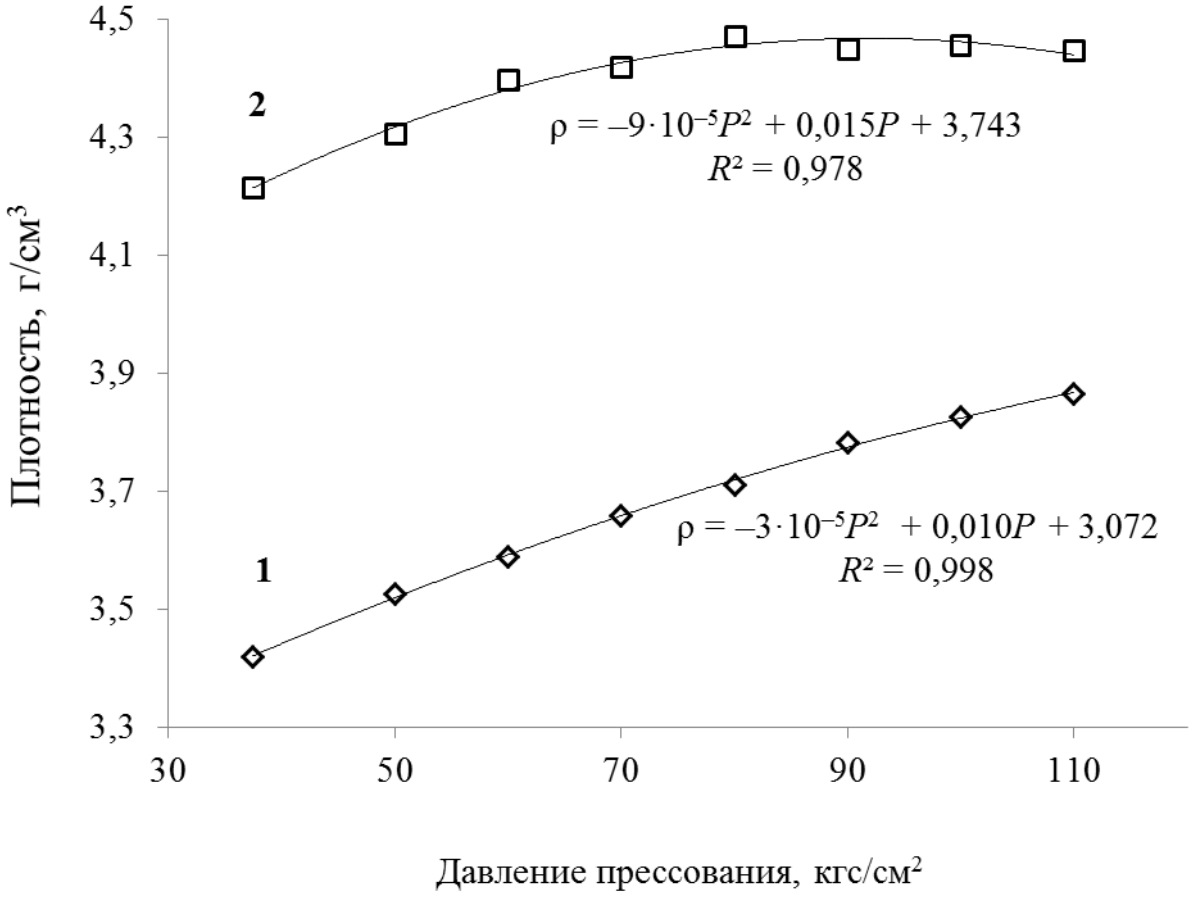


График зависимости плотности образцов до (1) и после (2) спекания от давления прессования

Выводы

В результате проведенного исследования установлено увеличение плотности образцов при спекании. Причем значение плотности образцов до спекания прямо пропорционально прилагаемому давлению, тогда как в образцах после спекания на графике наблюдается некоторый экстремум функции, после которого не происходит увеличение плотности образцов при увеличении давления. Оптимальное давление прессования образцов гексаферрита бария составляет приблизительно 80 кгс/см^2.

Библиографический список

1. Gairola, S.P. Modified composition of barium ferrite to acta samicrowave absorber in X–band frequencies / S.P. Gairola, V. Verma, A. Singh, L.P. Purohit, R.K. Kotnala // Solid State Communications. – 2010. – Vol. 150. – Pp. 147–151.

2. Aguilar-González, M.A. Synthesis and characterization of barium ferrite – silica nanocomposites / M.A. Aguilar-González, G.Mendoza-Suárez, K.P. Padmasree // Materials Characterization. – 2013. – Vol. 84. – Pp. 175–181.

3. Qiu, J. Crystal structure and magnetic properties of barium ferrite synthesized using GSPC and HEBM / J. Qiu, M. Gu // Journal of Alloys and Copounds. – 2005. – Vol. 415. – Pp. 209–212.

4. Xu, P. Effect of stoichiometry on the phase formation and magnetic properties $BaFe_{12}O_{19}$ nanoparticles by reverse micelletecnique / P. Xu, X. Han, H. Zhaoetal // Materials Letters. – 2008. – Vol. 62. – Pp. 1305–1308.

5. Shams, R.A. Structural, magnetic and microwave absorption properties of doped Ba– hexaferrite nanoparticles synthesized by co– precipitation method / R.A. Shams, M. Moradi, M. Rostami, H. Nikmanesh, R. Moayedi, Y. Bai // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2015. – Vol. 381. – Pp. 1–9.

6. E. Aydogan. Morphology and magnetic properties of barium hexaferrite ceramics synthesized in x wt% NaCl – (100 – x) wt% KCL molten salts / E. Aydogan, S. Kaya, F. Dericioglu // Ceramics International. – 2014. – Vol. 40. – Pp. 2331–2336.

7. Manikandan, M. Effect of high energy milling on the synthesis temperature, magnetic and electrical properties of barium hexagonal ferrite / M. Manikandan, C. Venkateswaran // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2014. – Vol. 358–359. – Pp. 82–86.

8. Drofenik, M. The hydrothermal synthesis of super– paramagnetic barium hexaferrite particles / M. Drofenik, I. Ban, D. Makovec, A. Žnidaršič, Z. Jagličić, D. Hanžel, D. Lisjak // Materials Chemistry and Physics. – 2011. – Vol. 127. – Pp. 415–419.

9. Tudorache, F. Electrical properties and humidity sensor characteristics of lead hydroxyapatite material / F. Tudorache, I. Petrila, K. Popa, A.M.Catargiu // Applied Surface Science. – 2014. – Vol. 303. – Pp. 175–179.

10. Abbas, W. Structural and magnetic behavior of Pr – substituted M – type hexagonal ferrites synthesized by sol–gel autocombustion for a variety of applications / W. Abbas, I. Ahmad, M. Kanwal, G. Murtaza, I. Ali, M.A. Khan, M.N. Akhtar, M. Ahmad // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2015. – Vol. 374. – Pp. 187–191.

11. Aguilar–González, M.A. Synthesis and characterization of barium ferrite–silica nanocomposites / M.A. Aguilar – González, G. Mendoza– Suárez, K.P. Padmasree // Materials Characterization. – 2013. – Vol. 74. – Pp. 175–181.

12. Limin, D. Synthesis of hexagonal barium ferrite nanoparticle by sol-gel method / D. Limin, Z. Han, Y. Zhang, Z. Wu, X. Zhang // Rare Metals. – 2006. – Vol. 25. – Pp. 605–608.

13. Машковцева, Л.С. Получение кристаллов феррита бария из раствора / Л.С. Машковцева, Д.А. Винник, Д.А. Жеребцов, В.В. Дьячук, Г.Г. Михайлов // Вестник ЮУрГУ. – 2011. – № 36. – С. 41–44.

14.Vinnik, D.A. Growth, structural and magnetic characterization of Al– substituted barium hexaferrite single crystals / D.A. Vinnik, D.A. Zherebtsov, L.S. Mashkovtseva, S. Nemrava, M. Bischoff, N.S. Perov, A.S. Semisalova, I.V. Krivtsov, L.I. Isaenko, G.G. Mikhailov, R. Niewa // Journal of Alloys and Compounds. – 2014. – Vol. 615. – Pp. 1043–1046.

К содержанию

УДК 544.016.3 + 669.893

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ТВЕРДОФАЗНОГО СИНТЕЗА ГЕКСАФЕРРИТА БАРИЯ $BAFE_{12}O_{19}$

Д.А. Винник, К.П. Павлова, М.Ф. Гафаров, Л.С. Машковцева, А.С. Чернуха, В.Е. Живулин, Д.Е. Живулин, Д.М. Галимов, Ф.В. Подгорнов, Д.А. Жеребцов

Проведено исследование влияния температуры и времени спекания на процесс ферритизации – образования фазы гексаферрита бария. Установлено оптимальное значение температуры – 1350 °С, и минимальное достаточное время – 60 минут. Проведен рентгенофазовый анализ полученных образцов. Рассчитаны параметры ячейки полученных образцов.

Ключевые слова: феррит бария, твердофазный синтез, магнитные материалы.

Введение

Особенность феррита бария заключается в наличии оси легкого намагничивания, перпендикулярной плоскости кристалла, имеющего форму шестигранной пластины. Магнитные свойства гексаферритов существенно зависят от физико-химических свойств исходных порошков: примесного, фазового, гранулометрического составов, дисперсности, кристаллической структуры частиц и др., которые в свою очередь во многом определяются технологическими факторами. К числу таких технологических факторов, в первую очередь, следует отнести трудно контролируемые изменения фазового состава бариевых ферритов, проявляющиеся практически на всех

операциях их получения; недостаточная изученность механизмов влияния неосновных фаз на электромагнитные параметры готовых изделий, значительное число равновесных соединений в системе $BaO–Fe_2O_3$, а также температурная нестабильность $BaFe_{12}O_{19}$, природа которой остается дискуссионной [1].

Ферриты бария получают соосаждением [2], синтезом микроэмульсий [3], гидротермальными реакциями [4], золь-гель технологиями [5], твердофазным спеканием [6]. Авторами ранее был опубликован цикл статей о получении и исследовании свойств как чистых, так и частично замещенных монокристаллов гексаферрита бария из раствора [7–8].

Целью данной работы является исследование процесса фазообразования $BaFe_{12}O_{19}$ при твердофазном спекании в зависимости от температуры и времени спекания.

Экспериментальная часть

В качестве исходных веществ использовались оксид железа (III) (гематит) и карбонат бария ($BaCO_3$) чистотой не менее 99,5 %. Состав шихты соответствовал стехиометрическим соотношениям вещества $BaFe_{12}O_{19}$ и составлял: Fe_2O_3 – 82,9216 мас. %, $BaCO_3$ – 17,0784 мас. %. Исходные компоненты перетирали в агатовой ступе в течение 1 часа. После предварительного спекания при температуре 1100 °С в фарфоровых тиглях навески шихты (0,3 г) спекали при температурах 1250, 1300, 1350 и 1400 °С в течение 3 часов. Спекание проводили в горизонтальной трубчатой печи с *карбидкремниевыми нагревателями типа КЭН–А. Максимально возможная температура в печи составляет 1450 °С.*

Рентгенофазовый анализ проводили с помощью дифрактометра Rigaku Ultima IV в диапазоне углов от 10° до 90° со скоростью 2°/мин. Установлено, что оптимальной является температура 1350 °С. Фазовый состав образцов, спеченных при разной температуре, был рассчитан с помощью программы Crystal Impact Match v1.11. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Фазовый состав образцов, спеченных при различных температурах

№	*t*, °С	$BaFe_{12}O_{19}$	$BaFe_2O_4$	Fe_2O_3
		мас.%		
1	1100	40	32	28
2	1250	52	32	16
3	1300	84	11	5
4	1350	100	–	–
5	1400	100	–	–

Из табл. 1 видно, что с ростом температуры снижается доля паразитных фаз. При температуре 1350 °С достигнута полная ферритизация.

Для образцов, спеченных при 1350 °С, было проведено исследование влияния времени спекания. Его проводили в течение 30, 60, 120, 150, 180 минут. Установлено, что достаточное для ферритизации время составляет 60 минут.

Для образцов № 4 и 5 (спеченных при 1350 и 1400 °С, соответственно) были рассчитаны параметры ячейки, которые представлены в табл. 2 наряду с ранее опубликованными данными.

Таблица 2

Параметры ячейки гексаферрита бария $BaFe_{12}O_{19}$

№	*a*, [Å]	*c*, [Å]	*V*, [Å³]
[8]	5,8929(4)	23,194(2)	697,54(6)
[11]	5,893	23,194	697,5
4	5,8948 (7)	23,204(3)	698,27(11)
5	5,859(12)	23,61(7)	701,8(22)

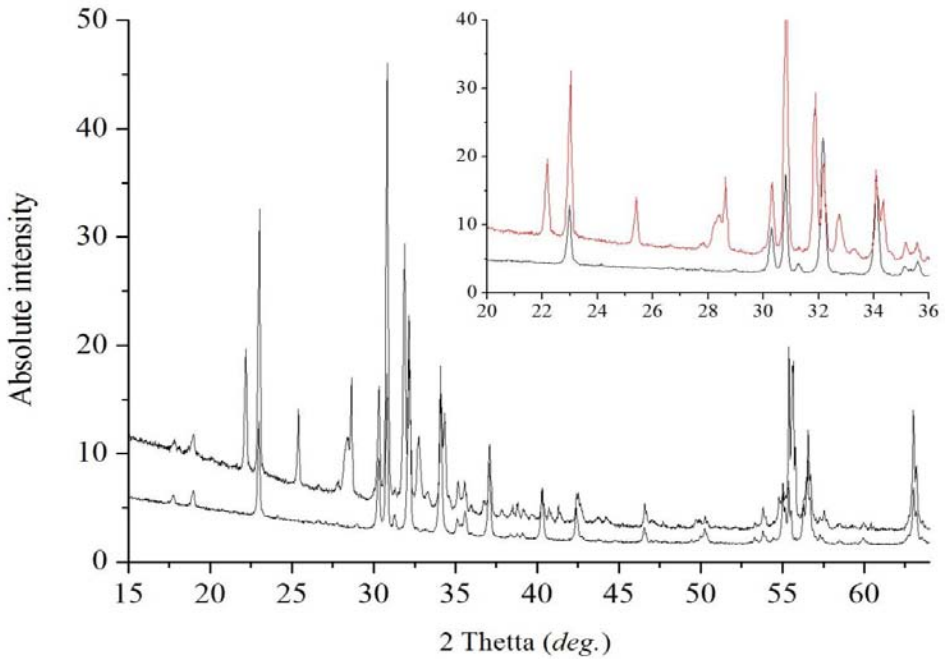


Рис. 1. Рентгенограммы образцов, полученных спеканием при 1350 (нижняя) и 1400 (верхняя) °С

Из рис. 1 видно, что нагрев выше 1350 °С приводит к появлению дополнительных пиков (22,18; 25,40; 28,64; 31,90; 32,76), идентифицировать которые не удалось. Вероятно, это может быть связано с появлением в структуре ионов Fe^{2+}. В литературе есть данные о возможности таких структурных изменений [9, 10].

Данное предположение согласуется с результатами расчетов параметров ячейки. Учитывая больший размер Fe^{2+} по сравнению с Fe^{3+} ($r(Fe^{3+})$ = 0,49 Å; $r(Fe^{2+})$ = 0,63 Å для КЧ = 4 [11]), частичная замена на двухвалентное желе-

зо должно приводить к увеличению параметров решетки. Это подтверждается данными, представленными в табл. 2: объем решетки образца № 5 (1400 °С) больше, чем № 4 (1350 °С).

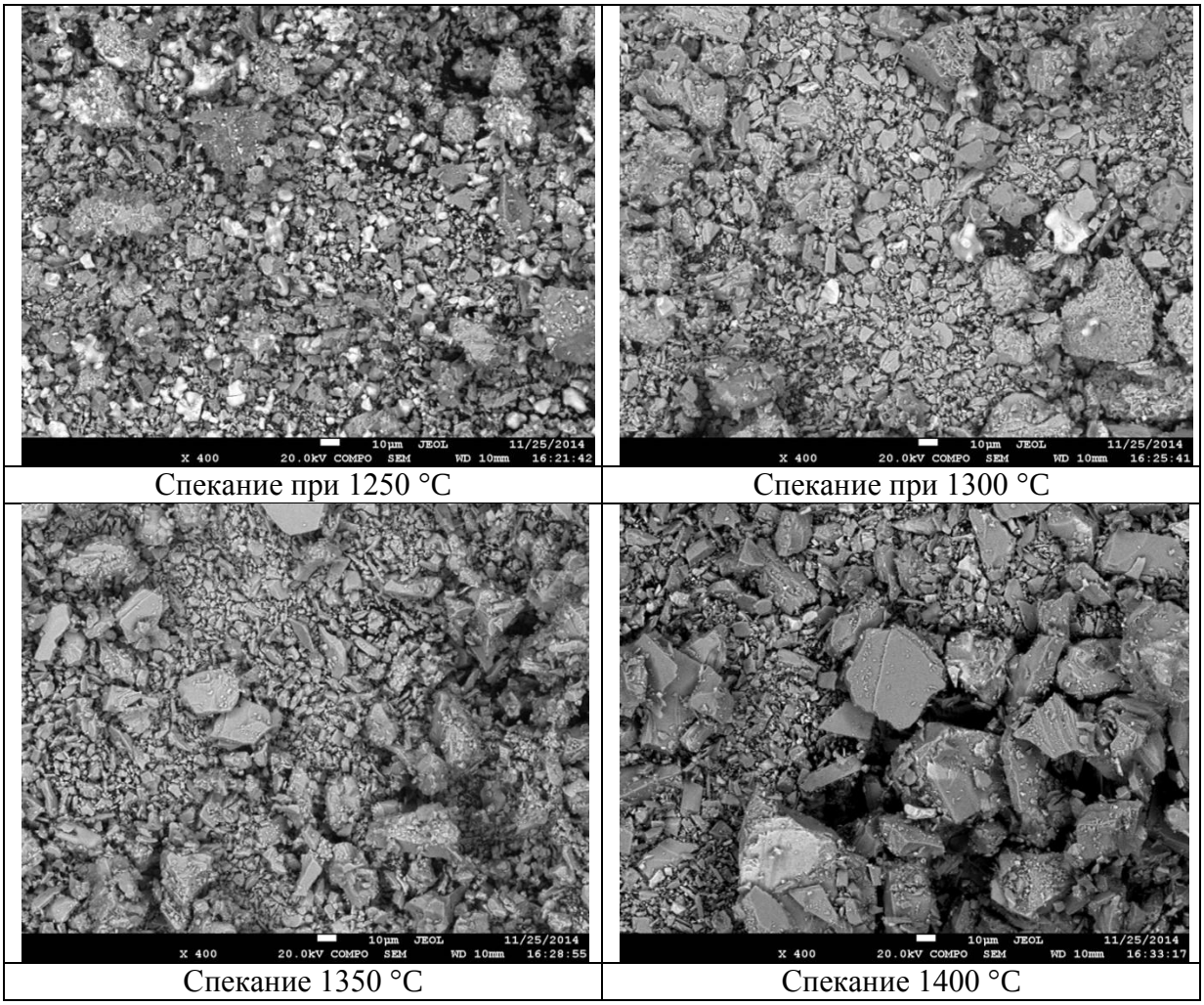
Состав образцов исследовали с помощью растрового электронного микроскопа JEOL JSM7001F с энергодисперсионным спектрометром Oxford INCA X-max 80. Химический состав проб, спеченных при 1350 и при 1400 °С, определяли по десяти микроучасткам порошкового образца (табл. 3).

Таблица 3

Химический состав образцов гексаферрита бария

Температура спекания, °С	O	Fe	Ba	Fe/Ba
	ат. %			
1350	59,31	37,65	3,03	12,43
1400	59,09	38,16	2,74	13,93

На рис. 2 представлены снимки, полученные на растровом электронном микроскопе. По изображениям видно, что при увеличении температуры порошок становится более однородным, а размер частиц увеличивается.



Спекание при 1250 °С | Спекание при 1300 °С

Спекание 1350 °С | Спекание 1400 °С

Рис. 2. Фотографии образцов $BaFe_{12}$

Выводы

Исследование режима твердофазного синтеза гексаферрита бария позволило выявить оптимальные значения температуры (1350 °С) и времени (60 минут), для полного фазообразования $BaFe_{12}O_{19}$. Для полученных образцов были рассчитаны параметры ячейки, значения которых согласуются ранее опубликованными данными.

Библиографический список

1. Паньков, В.В. Наноразмерные порошки гексаферрита бария и гетероструктуры на его основе / В.В. Паньков // Актуальные проблемы физики твердого тела: сб. ст. к 40-летию ИФТТП НАН Беларуси и 90-летию его основателя акад. Н.Н. Сироты / Н.М. Олехнович. – Минск: Белорусская наука, 2003. – С. 219–235.

2. Mandizadeh, Samira. A low–cost and eco–friendly viable approach for green synthesis of barium haxaferrite nanostructures using palm oil / Samira Mandizadeh, Mehdi Bazarganipour, MasoudSalavati–Niasari // Ceramics International. – 2014. – Vol. 40, Issue 10, Part A. – Pp. 15685–5691.

3. Koutzarova, T. Differences in the structural and magnetic properties of nanosized barium hexaferrite powders prepared by single and double microemulsion techniques / T. Koutzarova, S. Kolev, Ch. Ghelev, I. Nedkov, B. Vertruen, R. Cloots, C. Henrist, A. Zaleski // Journal of Alloys and Compounds. – 2013. – Vol. 579. – Pp. 174–180.

4. Xu, Cheng-Yan. Topochemical synthesis and magnetic properties of $BaFe_{12}O_{19}$ nanorods using α–FeOOH nanowires as templates / Cheng-Yan Xu, Li-Shun Fu, XinCai, Xue-Yin Sun, Liang Zhen // Ceramics International. – 2014. – Vol. 40, Issue 6. – Pp. 8593–8597.

5. Meng, Y.Y. Synthesis of barium ferrite ultrafine powders by a sol–gel combustion method using glycine gels / Y.Y. Meng, M.H. He, Q. Zeng, D.L. Jiao, S. Shukla, R.V. Ramanujan, Z.W. Liu // Journal of Alloys and Compounds. – 2014. –Vol. 583. – Pp. 220–225.

6. Sözeri, H. Magnetic and microwave properties of $BaFe_{12}O_{19}$ substituted with magnetic, non–magnetic and dielectric ions / H. Sözeri, Z. Mehmedi, H. Kavas, A. Baykal // Ceramics International. – 2015. – In Press, Accepted Manuscript.

7. Винник, Д.А. Выращивание легированных монокристалловферрита бария из флюса / Д.А. Винник, Д.А. Жеребцов, Л.С. Машковцева // Доклады академии наук. – 2013. – Т. 449, № 2. – С. 1–2.

8. Vinnik, D.A. Ti-Substituted BaFe12O19 Single Crystal Growth and Characterization / D.A. Vinnik, D.A. Zherebtsov, L.S. Mashkovtseva, S. Nemrava, N.S. Perov, A.S. Semialova, I.V. Krivtsov, L.I. Isaenko, G.G. Mikhailov, R. Niewa // Journal of Crystal Growth and Design. – 2014. – Vol. 14(11). – Pp. 5834–5839.

9. Pullar, R.C. Hexagonal ferrites: A review of the synthesis, properties and applications of hexaferrite ceramics / R.C. Pullar // Progress in Materials Science. – 2012. – Vol. 57. – Pp. 1191–1334.

10. Quoiroz P. Effect of Titanium ion substitution in barium hexaferrite studied by Mössbauer spectroscopy and X-ray diffraction / P. Quoiroz, B. Halbedel, A. Bustamante, J.Gonzalez // Hyperfine Interactions. – 2011. – Vol. 202. – Pp .97–106.

11. Shannon, R.D. Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides / R.D. Shannon // Acta Crystallogr. – 1976. – Vol. A32. – Pp. 751–767.

К содержанию

УДК 669.783 + 544.34

ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОВЕСИЯ ВЮСТИТНОГО И ШПИНЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ В СИСТЕМЕ FE – GE – O

С.В. Штин, А.А. Лыкасов

В работе методом измерения ЭДС гальванического элемента с твердым электролитом исследованы условия равновесия вюститного и шпинельных растворов в системе Fe – Ge – O в интервале температур 1100–1300 К. Установлено, что магнетит и германат железа ограниченно растворяются друг в друге. Построены изотермические сечения фазовой диаграммы системы Fe – Fe_3O_4 – Fe_2GeO_4 при температуре 1273 К.

Ключевые слова: железо, германий, кислород, вюстит, шпинель.

Введение

К числу перспективных источников сырья для производства германия относятся месторождения железных руд, запасы германия в которых могут обеспечить потребности промышленности на многие годы. Разработка технологии производства германия из этих руд требует информации о соединениях германия или иных форм существования его в рудах, свойствах этих веществ, особенно тех, которые непосредственно определяют технологию.

Цель настоящей работы – исследовать условия образования веществ системы Fe – Fe_3O_4 – Fe_2GeO_4 при температурах 1100–1300 К и построить фазовую диаграмму исследуемой системы.

Теоретический анализ

Имеющиеся сведения о тройных соединениях в системе Fe – Ge – O подробно обсуждаются в работах [1 – 2]. Отмечается, что стабильным соединением является лишь Fe_2GeO_4. Германат двухвалентного железа Fe_2GeO_4 имеет структуру типа шпинели с параметром ячейки 8,411 Å. При спекании германата железа с различными количествами Fe_3O_4 при температурах выше 1170 К в работе [2] были получены вещества со структурой шпинели. Параметр элементарной ячейки этих веществ непрерывно изменяется от значения 0,8395 нм для Fe_3O_4 до значения 0,8411 нм для ор-

тогерманата железа. На этом основании сделано заключение о том, что при температурах выше 1170 К германат железа образует с магнетитом непрерывный ряд твердых растворов. По мнению авторов работы [1], дефектная шпинель при синтезе ее из Fe, Fe_2O_3 и GeO_2 образуется вследствие улетучивания монооксида германия. Образование вакансий приводит к появлению ионов Fe^{3+} и уменьшению параметра кристаллической решетки шпинели. Химический состав шпинели определяется не столько температурой, сколько парциальным давлением кислорода в системе (p_{O_2}). Влияние p_{O_2} на химический и фазовый состав веществ системы Fe – Ge – O не изучено.

Экспериментальная часть

Образцы для исследования готовили методом твердофазной реакции [3]. Их валовый состав характеризовали отношением числа молей германия к общему числу молей германия и железа (c), и отношением числа молей кислорода к общему числу молей германия и железа (степень окисленности y). Таким образом, химическая формула, описывающая состав любой композиции, – $Fe_{1-c}Ge_cO_y$.

Валовый состав образцов уточняли химическим анализом. Для определения фазового состава применяли рентгенографический и микрорентгеноспектральный (электронно-зондовый) методы анализа.

Для исследования фазовых равновесий в системе Fe – Ge – O использовали метод ЭДС, основанный на измерении ЭДС концентрационного по кислороду гальванического элемента с твердым кислородпроводящим электролитом:

$$Pt\left|Fe,\ FeO_{y_o}\right|ZrO_2+Y_2O_3\left|Fe_{1-c}Ge_cO_y\right|Pt\ . \qquad (1)$$

Здесь $Fe,\ FeO_{y_o}$ – равновесная смесь вюстита и железа, электрод сравнения, $ZrO_2+Y_2O_3$ – твердый электролит с кислородной проводимостью, $Fe_{1-c}Ge_cO_y$ – исследуемое вещество.

По величине ЭДС элемента (1) можно рассчитать давление кислорода, равновесное исследуемым веществам, по известному уравнению Нернста.

В работе использована ячейка с разделенным газовым пространством [3, 4]. Она имела герметизированное пространство для исследуемого вещества, что исключало изменение его состава во время опыта из-за высокой упругости пара монооксида германия. Измерения проводили в атмосфере гелия при температурах 1100–1300 К как при повышении, так и при понижении температуры.

Результаты и их обсуждение

Для исследования фазовых равновесий в области существования шпинельного и вюститного растворов были синтезированы образцы. Образцы

готовили сериями с постоянным значением *y* или *c*. Химическим анализом установлено, что отличия в содержании железа и германия в образцах по сравнению с заданными составами составляло не более 3 %.

Результаты измерения ЭДС элемента (1) в зависимости от температуры для образцов серии <c = 0,15> приведены на рис. 1.

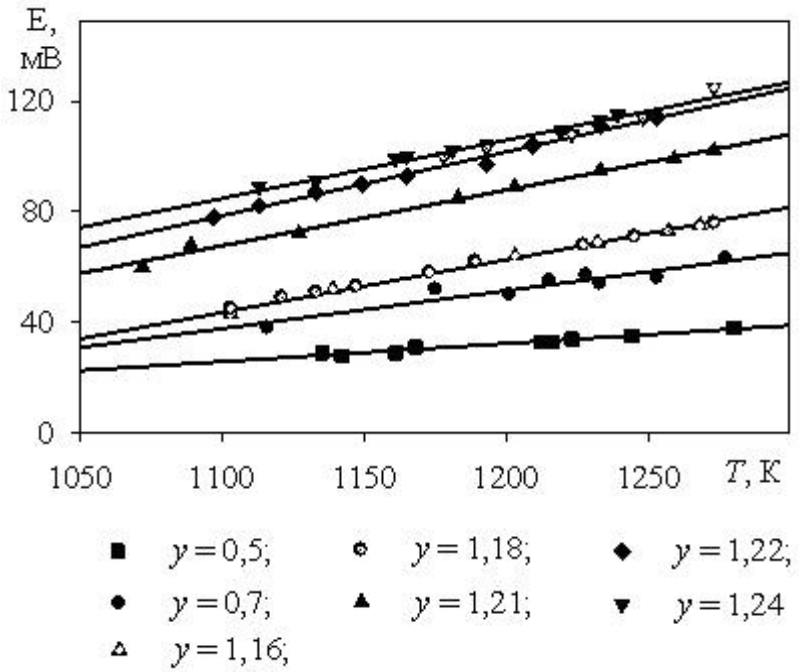


Рис. 1. Зависимость ЭДС элемента (1) от температуры для образцов серии <c = 0,15>

Как видно из рисунков, ЭДС линейно зависит от температуры и повышается с ее ростом. После анализа всего массива данных установлено, что в широкой области составов образцов ЭДС элемента (1) является функцией только температуры, рис. 2. Согласно правилу фаз Гиббса, эти образцы должны быть трехфазными. Таким образом, в исследованной фазовой области диаграммы системы Fe – Ge – O реализуется равновесие вюститной фазы с двумя фазами, то есть согласно нашим исследованиям, в условиях равновесия шпинельного и вюститного растворов [4], германат железа и магнетит ограниченно растворяются друг в друге. На дифрактограммах всех образцов обнаружены рефлексы, соответствующие вюститной и шпинельной фазам. Рентгенофазовый анализ образцов не позволяет однозначно идентифицировать наличие двух шпинельных фаз из-за близости параметров их рентгеновского спектра. В этом, по нашему мнению, причина ошибки в оценке взаимной растворимости Fe_3O_4 и Fe_2GeO_4, приведенной в работах [1, 2].

Для образцов, которые по результатам электрохимических исследований являются трехфазными, проведен электронно-зондовый микроанализ.

В этих образцах на их поверхности обнаружены три фазы: шпинельная фаза с меньшим содержанием германия ($Sp1$) – это раствор Fe_2GeO_4 в Fe_3O_4, фаза с большим содержанием германия ($Sp2$) раствор Fe_3O_4 в Fe_2GeO_4 и вюститный раствор.

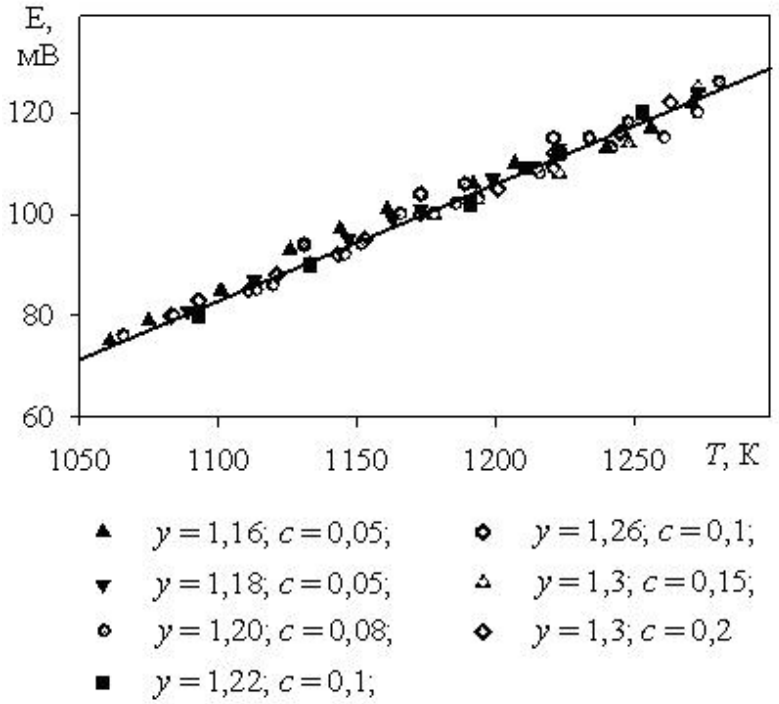


Рис. 2. Зависимость ЭДС элемента (1) от температуры в области трехфазного равновесия

По результатам измерения ЭДС элемента (1) с использованием результатов рентгенофазового и электронно-зондового микроанализа построены изотермические сечения фазовой диаграммы системы Fe – Fe_3O_4 – Fe_2GeO_4. На рис. 3 приведено сечение фазовой диаграммы в области равновесия вюститной и шпинельных фаз при температуре 1273 К. Пунктирными линиями в двухфазных областях проведены коноды. Соответствующие им давления кислорода даны в подписях к рисункам.

Как видно из рис. 3, значительную часть фазового пространства диаграммы занимает область равновесия трех фаз – шпинельного раствора на основе Fe_3O_4 ($Sp1$), шпинельного раствора на основе Fe_2GeO_4 ($Sp2$) и практически чистого вюстита (содержание GeO_2 в вюстите не превышает 0,29 моль%).

Растворимость Fe_2GeO_4 в магнетите при температуре 1273 К равна 37,2 моль%. Равновесное этой фазе давление кислорода слабо меняется с увеличением содержания Fe_2GeO_4: при 1273 К от $p_{O_2} = 16{,}87 \cdot 10^{-14}$ атм для чистого Fe_3O_4, равновесного вюститу, до $p_{O_2} = 11{,}17 \cdot 10^{-14}$ атм для трехфазного равновесия $Sp1+Sp2+W$.

Растворимость Fe_3O_4 в германате железа при 1273 К равна 21,4 моль%. С уменьшением содержания Fe_3O_4 в растворе p_{O_2} существенно понижается от значений для трехфазного равновесия $Sp1+Sp2+W$, равного $p_{O_2} = 11{,}17 \cdot 10^{-14}$ атм, до парциального давления над равновесной смесью $W + \beta + Sp2$, равного $2{,}06 \cdot 10^{-14}$ атм при 1273 К.

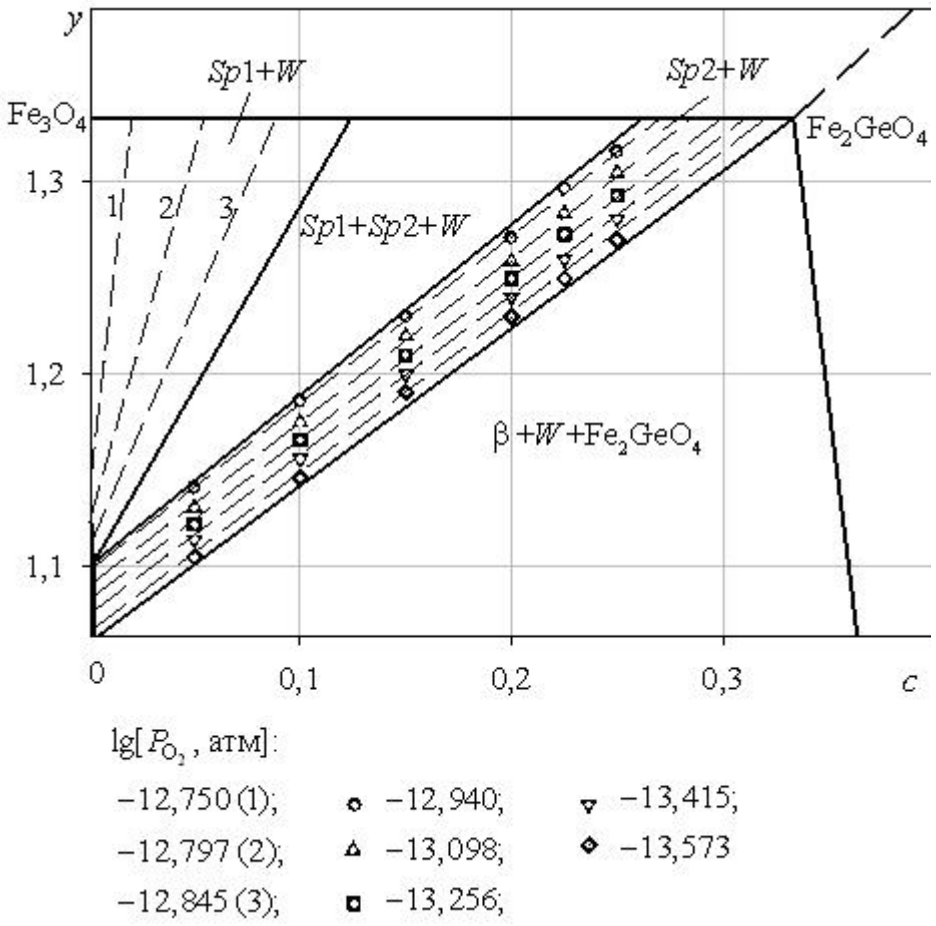


Рис. 3. Фрагмент фазовой диаграммы в области равновесия шпинельных растворов при температуре 1273 К

Заключение

В работе методом измерения ЭДС гальванических элементов с твердым кислородпроводящим электролитом в температурном интервале 1100–1300 К определены условия существования вюститного и шпинельных растворов. Методом ЭДС и микрорентгеноспектральным анализом установлено, что магнетит и германат железа ограниченно растворяются друг в друге. Построены изотермические сечения диаграммы состояния системы Fe – Fe_3O_4 – Fe_2GeO_4 при температуре 1273 К.

Библиографический список

1. Бич, Г.В. Особенности магнитных, электрических, кристаллографических свойств оксидов железа, замещенных оксидами германия / Г.В. Бич, А.Н. Мень, Ю.А. Петров // Физика твердого тела. – 1988. – Т. 30, № 10. – С. 2924–2928.

2. Бич, Г.В. Влияние германия на структуру и свойства шпинелей в системе Fe – Ge – O: автореф. дис. … канд. хим. наук / Г.В. Бич. – Свердловск, 1988 – 14 с.

3. Физико-химические свойства вюстита и его растворов / А.А. Лыкасов, К. Карел, А.Н. Мень и др. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. – 230 с.

4. Штин, С.В. Фазовые равновесия в системе Fe - Fe_3O_4 - Fe_2GeO_4 – Ge / С.В. Штин, А.А. Лыкасов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика, физика, химия». – 2007. – Вып. 9. – № 19(91). – С. 118–121.

К содержанию

УДК 669.046.552.3 + 544.344.01 + 66.074.35

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ГАЗОВЫХ ФАЗ

Ю.С. Кузнецов, О.И. Качурина

Рассчитаны кислородные потенциалы газовых смесей (H_2 – H_2O), (CO – CO_2), (H_2 – H_2O – CO – CO_2). Полученная информация представляется номограммами, позволяющими определять соотношения между $\lg x_{CO_2}/x_{CO}$, $\lg x_{H_2O}/x_{H_2}$, $\lg (p_{O_2}$, атм) и Т. В частности, по номограммам легко можно установить параметры восстановления оксидов железа в рассматриваемых газовых смесях в отсутствии и присутствии углерода.

Ключевые слова: газовая смесь, углерод, кислородный потенциал, оксиды железа, восстановление.

Многие процессы восстановления металлов реализуются с участием сложных газовых смесей, поэтому важна информация об окислительных и восстановительных способностях получаемых тем или иным способом газовых атмосфер. В частности, в одной из опубликованных в последнее время работ на эту тему [4] приводится далеко не полная и неверная информация о кислородных потенциалах различных газовых фаз, образующихся в системе C – O_2 – H_2.

Количественной характеристикой окислительной и восстановительной способности газовой фазы является парциальное давление кислорода, либо кислородный потенциал [1–3]:

$$\pi_O = RT \ln[p_{O_2}, \text{атм}].$$

Расчетные формулы кислородного потенциала газовой смеси, содержащей пары воды и диоксид углерода, получаются из равновесия реакций:

$$2H_2O = 2H_2 + O_2, \qquad \Delta_r G_T^\circ(\text{I}) = 492\,230 - 108{,}24 \cdot T; \qquad \text{(I)}$$

$$2CO_2 = 2CO + O_2, \qquad \Delta_r G_T^\circ(\text{II}) = 565\,390 - 175{,}17 \cdot T; \qquad \text{(II)}$$

$$\lg[p_{O_2}, \text{атм}] = 2 \cdot \lg\left(\frac{x_{H_2O}}{x_{H_2}}\right) - \lg K_p(\text{I}) = 2 \cdot \lg\left(\frac{x_{H_2O}}{x_{H_2}}\right) - \frac{25708}{T} + 5{,}653; \quad (1)$$

$$\lg[p_{O_2}, \text{атм}] = 2 \cdot \lg\left(\frac{x_{CO_2}}{x_{CO}}\right) - \lg K_p(\text{II}) = 2 \cdot \lg\left(\frac{x_{CO_2}}{x_{CO}}\right) - \frac{29529}{T} + 9{,}149. \quad (2)$$

Из этих соотношений следует линейная зависимость $\lg p_{O_2} - \frac{1}{T}$. Такие же уравнения получаются при анализе равновесия реакции горения H_2 и CO. Однако в этом случае на графике в координатах $\lg p_{O_2} - \frac{1}{T}$ должна быть серия линий, каждая из которых соответствует разным молярным отношениям $\frac{n_{H_2}}{n_{O_2}}$ и $\frac{n_{CO}}{n_{O_2}}$ в исходных смесях «H_2 – O_2» и «CO – O_2». Расчеты по уравнениям (1) и (2) для разных величин этих отношений показаны на рис. 1. Для одинаковых заданных отношений H_2 и O_2, CO и O_2 сплошные и пунктирные линии пересекаются при температуре 1093 K, при которой константы равновесия реакций (I) и (II) равны.

Информативность графиков рис. 1 мала, лучше [5, 6] возможные равновесные параметры выше рассмотренных систем представлять номограммами рис. 2, 3. Номограммы позволяют определить соотношения между $\lg\frac{(x_{H_2O})}{(x_{H_2})}$, $\lg p_{O_2}$ и T для газовой смеси (H_2 – H_2O – O_2) и между $\lg\frac{(x_{CO_2})}{(x_{CO})}$, $\lg p_{O_2}$ и T для газовой смеси (CO_2 – CO – O_2).

Газовая смесь (CO_2 – CO) характеризуется такой важной особенностью – при соотношениях x_{CO}/x_{CO_2} больших некоторых, зависящих от температуры, величин оксид CO становится термодинамически нестабильным и диссоциирует с образованием сажистого углерода $2CO \rightarrow CO_2 + C$.

В соответствии с правилом фаз Гиббса появление второй фазы в нонвариантной системе (CO – CO_2 – C) фиксируется (при заданных температуре и давлении) состав газовой смеси. Это обстоятельство отмечается линией 7 на рис. 1 и линией ***mn*** на рис. 3. Точки ниже этих линий определяют параметры не реализующихся состояний газовой фазы (CO – CO_2).

Для любой сколь угодно сложной газовой смеси, в которой присутствуют CO_2 и CO (или H_2O и H_2) и известны их концентрации, кислородный потенциал вычисляется по уравнениям (1) и (2). В частности равновесные параметры водяного газа ($H_2 – H_2O – CO – CO_2$) определяются совокупностью номограмм, представленных на рис. 2 и 3. Корреляция между этими номограммами определяется уравнениями, следующими из равновесия реакции водяного газа:

$$H_2 + CO_2 = H_2O + CO, \qquad \Delta_r G_T^{\circ}(\text{III}) = 36\,580 - 33{,}465 \cdot T; \qquad \text{(III)}$$

$$K_{\text{III}} = \frac{x_{H_2O} / x_{H_2}}{x_{CO_2} / x_{CO}}, \qquad \frac{x_{CO_2}}{x_{CO}} \cdot K_{\text{III}} = \frac{x_{H_2O}}{x_{H_2}}.$$

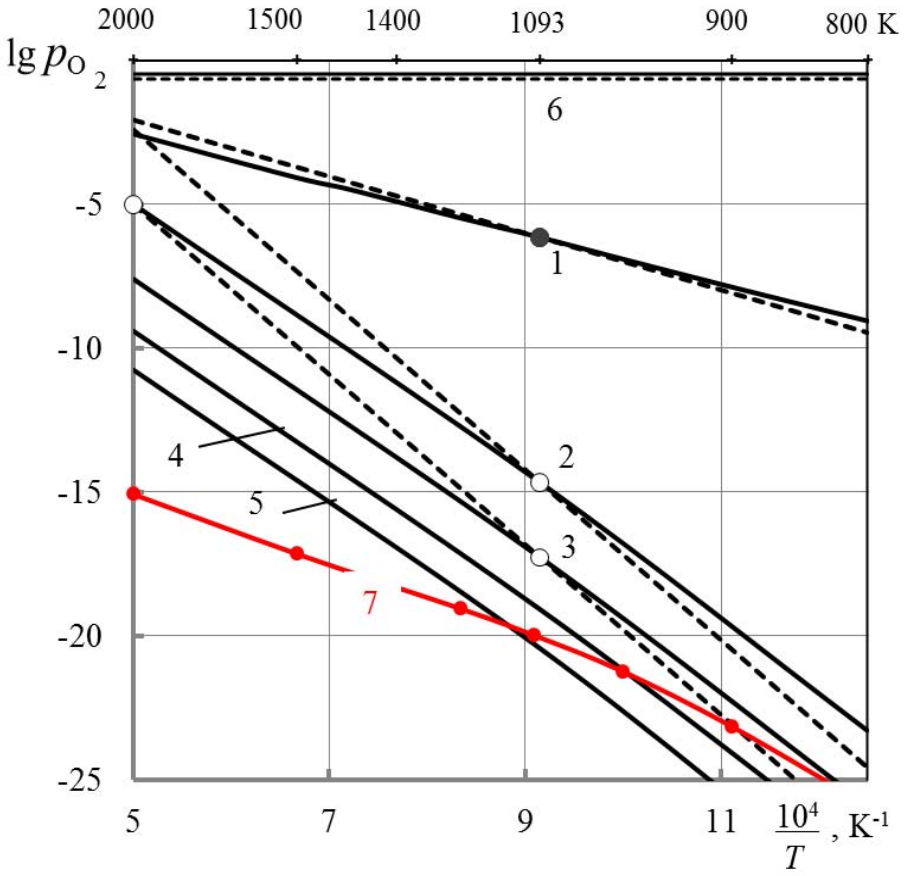


Рис. 1. Зависимость от температуры кислородного потенциала газовых фаз, получающихся при сжигании водорода или оксида углерода: сплошные линии – ($H_2 – H_2O – O_2$), пунктирные – ($CO – CO_2 – O_2$); n_{H_2} / n_{O_2}, n_{CO} / n_{O_2} в исходных смесях: 1 – 2/1, 2 – 2,05/1, 3 – 3/1, 4 – 10/1, 5 – 50/1, 6 – 1/1; 7 – избыток углерода, система ($H_2 – H_2O – CO – CO_2 – O_2 – C$)

Номограммы отражают важную особенность водяного газа – равновесное состояние реализуется при бесконечном множестве сочетаний концентраций его компонентов. Параметры водяного газа кардинально изменяются, если он контактирует с чистым углеродом. В этом случае задача по оценке параметров равновесного состояния решается расчетом совместных равновесий трех возможных в системе реакций:

$$H_2 + CO_2 = H_2O + CO, \qquad \text{(III)}$$

$$C + CO_2 = 2CO, \qquad \Delta_r G_T^\circ(\text{IV}) = 172\,140 - 177{,}7 \cdot T; \qquad \text{(IV)}$$

$$C + H_2O = CO + H_2, \qquad \Delta_r G_T^\circ(\text{V}) = 135\,560 - 144{,}235 \cdot T. \qquad \text{(V)}$$

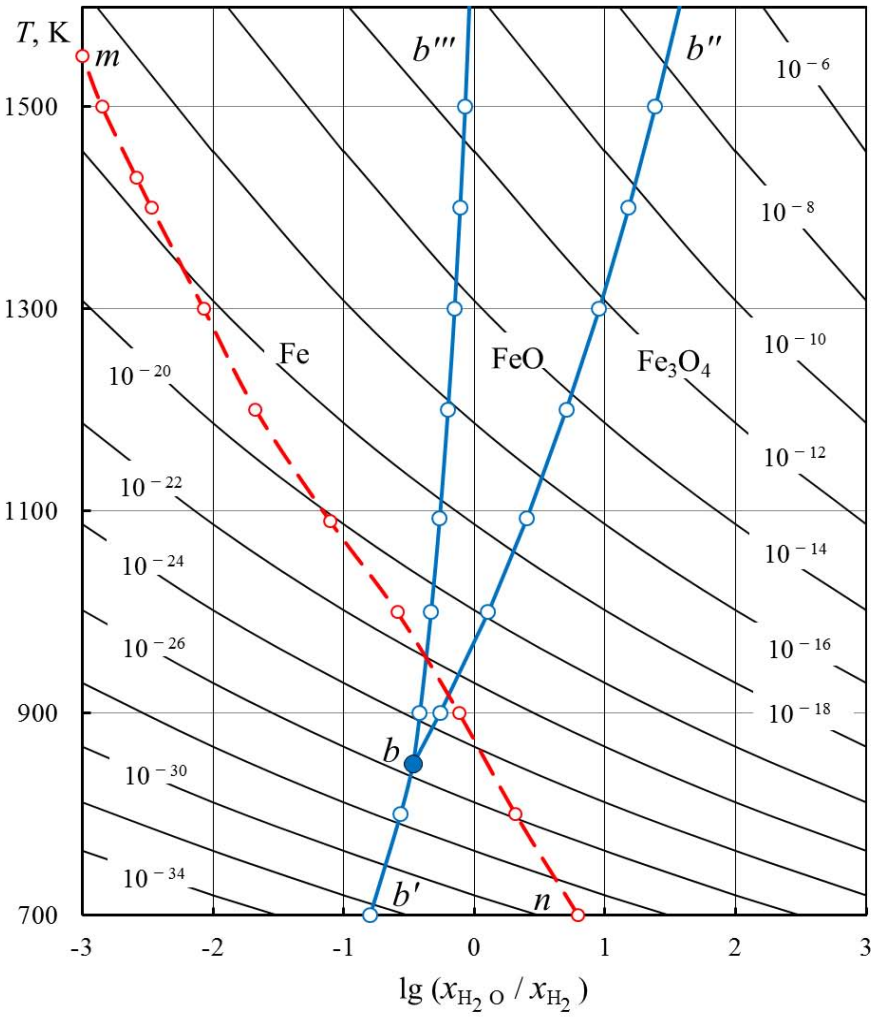


Рис. 2. Номограмма «lg x_{H_2O}/x_{H_2} – lg p_{O_2} – T» для водяного газа при 1 атм:
линии bb', bb" и bb"' – равновесие газовой смеси (H2 – H2O)
с твердыми (Fe3O4 – Fe), (Fe3O4 – FeO) и (FeO – Fe);
точка b – нонвариантная система «Fe3O4 – FeO – Fe – H2 – H2O»;
линия mn – в присутствии углерода (пояснения в тексте)

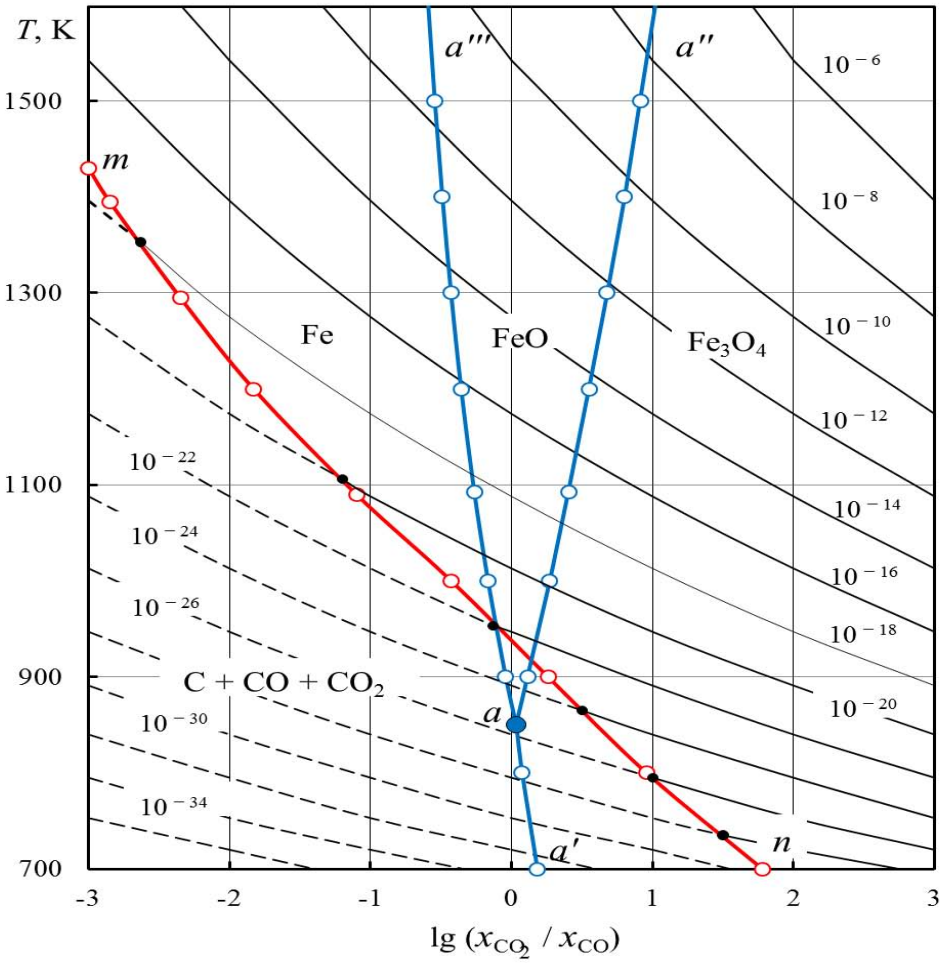


Рис. 3. Номограмма «$\lg x_{CO_2}/x_{CO} - \lg p_{O_2} - T$» для водяного газа при 1 атм: область ниже линии *mn* – термодинамическая неустойчивость CO; линии *aa*', *aa*" и *aa*"' – равновесие газовых смесей (CO – CO_2) с твердыми (Fe_3O_4 – Fe), (Fe_3O_4 – FeO) и (FeO – Fe); точка *a* – нонвариантная система «Fe_3O_4 – FeO – Fe – CO – CO_2»

При заданной температуре T и давлении P решаем систему трех уравнений с четырьмя неизвестными:

$$\begin{cases} K_{III} = \dfrac{x_{CO} \cdot x_{H_2O}}{x_{CO_2} \cdot x_{H_2}} = \dfrac{x_{CO}/x_{CO_2}}{x_{H_2}/x_{H_2O}}, \\ K_{IV} = \dfrac{x_{CO}^2}{x_{CO_2}} \cdot P, \\ \sum x_i = x_{CO} + x_{H_2O} + x_{CO_2} + x_{H_2} = 1. \end{cases} \quad (3)$$

Система имеет множество решений, которые проще всего определяются для заданных концентраций какого-либо компонента газовой фазы. Для примера в табл. 1–3 для трех температур представлены результаты расчетов возможных концентраций компонентов водяного газа, равновесного с углеродом.

Из результатов расчетов следует, что реализуются состояния систем:

$$(H_2 - H_2O - CO - CO_2 - C),$$

параметры которых определяются координатами точек в области ниже линии ***mn*** на рис. 2 и 3.

Рис. 2 и 3 построены для таких интервалов величин T, $\lg\dfrac{(x_{H_2O})}{(x_{H_2})}$, $\dfrac{(x_{CO_2})}{(x_{CO})}$ и $\lg p_{O_2}$, чтобы продемонстрировать использование номограмм для определения параметров восстановления твердых оксидов железа в газовых смесях ($H_2 - H_2O - CO_2 - CO$) в отсутствии и присутствии углерода в качестве самостоятельной фазы.

Таблица 1

Параметры равновесия системы «$H_2 - H_2O - CO - CO_2 - C$» вычисленные при заданных значениях концентрации CO, T = 700 K, 1 атм

x_{CO}	x_{CO_2}	x_{H_2O}	x_{H_2}	$\lg\left(\dfrac{x_{H_2O}}{x_{H_2}}\right)$	$\lg\left(\dfrac{x_{CO_2}}{x_{CO}}\right)$	$\lg(p_{O_2}, \text{атм})$
0	0	0	1	–	–	$-\infty$
0,001	$3{,}7\cdot10^{-3}$	0,275	0,720	– 0,4180	0,5682	–31,90
0,003	$3{,}3\cdot10^{-2}$	0,515	0,450	0,0586	1,0414	–30,95
0,005	$9{,}1\cdot10^{-2}$	0,593	0,311	0,2803	1,2601	–30,52
0,007	0,179	0,592	0,222	0,4260	1,4078	–30,22
0,010	0,366	0,495	0,130	0,5807	1,5635	–29,91
0,011	0,443	0,441	0,105	0,6232	1,6050	–29,83
0,012	0,527	0,379	0,083	0,6596	1,6426	–29,75
0,013	0,618	0,307	0,062	0,6947	1,6770	–29,68
0,014	0,717	0,227	0,042	0,7328	1,7094	–29,62
0,016	0,936	0,041	$6{,}7\cdot10^{-3}$	0,7867	1,7672	– 29,50
0,0164	0,9836	0	0	~ 0,7964	1,7780	– 29,48

Таблица 2

Параметры равновесия системы «$H_2 – H_2O – CO – CO_2 – C$», вычисленные при заданных значениях концентрации CO, T = 1000 K, 1 атм

x_{CO}	x_{CO_2}	x_{H_2O}	x_{H_2}	$\lg\left(\frac{x_{H_2O}}{x_{H_2}}\right)$	$\lg\left(\frac{x_{CO_2}}{x_{CO}}\right)$	$\lg(p_{O_2}, \text{атм})$
0	0	0	1	–	–	$-\infty$
0,001	$5{,}123\cdot10^{-7}$	$3{,}7\cdot10^{-3}$	0,9853	–2,426	–3,290	– 26,96
0,03	$4{,}61\cdot10^{-4}$	0,0112	0,9588	– 1,9325	– 1,813	– 23,95
0,05	$2{,}56\cdot10^{-2}$	$1{,}642\cdot10^{-2}$	0,932	– 1,7540	–1,5907	– 23,56
0,10	$5{,}12\cdot10^{-2}$	$3{,}045\cdot10^{-2}$	0,864	– 1,4529	– 1,2905	– 22,96
0,20	0,0205	0,0513	0,728	– 1,1520	– 0,9892	–22.36
0,30	0,0461	0,0625	0,591	– 0,9757	– 0,8134	– 22,01
0,40	0,0819	0,0639	0,454	– 0,8516	– 0,6888	– 21,76
0,50	0,1281	0,0557	0,316	– 0,7538	– 0,5914	– 21,56
0,60	0,184	0,0376	0,178	– 0,6752	– 0,5133	–21,41
0,70	0,251	0,0097	0,0393	– 0,6076	– 0,4454	– 21,27
0,72	0,266	$2{,}92\cdot10^{-3}$	0,0115	– 0,5953	– 0,4324	– 21,25
0,7283	0,2717	0	0	–	– 0,4325	– 21,24

Таблица 3

Параметры равновесия системы «$H_2 – H_2O – CO – CO_2 – C$», вычисленные при заданных значениях концентрации CO, T = 1500 K, 1 атм

x_{CO}	x_{CO_2}	x_{H_2O}	x_{H_2}	$\lg\left(\frac{x_{H_2O}}{x_{H_2}}\right)$	$\lg\left(\frac{x_{CO_2}}{x_{CO}}\right)$	$\lg(p_{O_2}, \text{атм})$
0	0	0	1	–	–	$-\infty$
0,001	~ 0	~ 0	0,99899	– 5,8173	– 6,2915	– 23,12
0,03	~ 0	~ 0	0,9699	– 4,2922	– 4,7665	– 20,07
0,05	$1{,}3\cdot10^{-6}$	$7{,}3\cdot10^{-5}$	0,95	– 4,1144	– 4,5865	– 19,71
0,10	$5{,}1\cdot10^{-6}$	$1{,}4\cdot10^{-4}$	0,90	– 3,8081	– 4,2915	– 19,12
0,20	$2{,}0\cdot10^{-5}$	$2{,}5\cdot10^{-4}$	0,80	– 3,5051	– 4,0015	– 18,54
0,30	$4{,}6\cdot10^{-5}$	$3{,}2\cdot10^{-4}$	0,70	– 3,3399	– 3,8165	– 18,17
0,40	$8{,}2\cdot10^{-5}$	$3{,}7\cdot10^{-4}$	0,60	– 3,2099	– 3,6865	– 17,91
0,50	$1{,}3\cdot10^{-4}$	$3{,}8\cdot10^{-4}$	0,50	– 3,1192	– 3,5864	– 17,71
0,60	$1{,}9\cdot10^{-4}$	$3{,}7\cdot10^{-4}$	0,40	– 3,0339	– 3,5015	– 17,54
0,70	$2{,}5\cdot10^{-4}$	$3{,}2\cdot10^{-4}$	0,30	– 2,9720	– 3,4465	– 17,43
0,80	$3{,}3\cdot10^{-4}$	$2{,}5\cdot10^{-4}$	0,20	–2,9031	– 3,3865	– 17,31
0,90	$4{,}1\cdot10^{-4}$	$1{,}4\cdot10^{-4}$	0,10	– 2,8539	– 3,3415	– 17,22
0,9995	$5\cdot10^{-4}$	0	0	–	–	– 17,14

Линии ***aa'*** и ***bb'*** определяют параметры восстановления Fe_3O_4 до Fe при температурах ниже 850 K. Взаимное расположение линий ***aa'*** и ***mn*** на рис. 3 подтверждает известный факт, что в системе ($CO_2 – CO – C$) восстановить

Fe_3O_4 до Fe невозможно. Однако при температурах ниже 850 K восстановить Fe_3O_4 можно в системе (H_2 – H_2O – CO_2 – CO – C). Для этого при 700 K, например, в газовой смеси концентрация x_{H_2} должна быть больше ~ 0,82, а x_{CO} больше ~ 0,18. Создать такую атмосферу на практике весьма сложно.

При температурах выше 850 K линии ***aa***'' и ***bb***'' определяют параметры восстановления Fe_3O_4 до FeO. Эти линии делятся на два фрагмента – до ~ 917 K и выше ~ 917 K. В интервале температур 850–917 K восстановить Fe_3O_4 до FeO в системе (CO_2 – CO – C) нельзя, это возможно в системе (H_2 – H_2O – CO_2 – CO – C). При температурах **выше 917 K** восстановить Fe_3O_4 до FeO можно в атмосфере водяного газа в отсутствии углерода [7].

Аналогичные закономерности характерны для восстановления FeO до Fe, линии ***aa***''' и ***bb***'''. Эти линии делятся на два фрагмента – ниже и выше ~ 955 K. В интервале температур 850 – 955 K восстановить FeO до Fe в газовой смеси системы (CO_2 – CO – C) невозможно. Восстановление FeO до Fe протекает в системе (H_2 – H_2O – CO_2 – CO – C). При температурах **выше 955 K** восстановить FeO до Fe можно в атмосфере водяного газа и в отсутствии углерода [7].

Библиографический список

1. Теория металлургических процессов: учебник для вузов / Д.И. Рыжонков, П.П. Арсентьев, В.В. Яковлев и др. – М.: Металлургия, 1989. – 392 с.

2. Казачков, Е.А. Расчеты по теории металлургических процессов / Е.А. Казачков. – М.: Металлургия, 1988. – 288 с.

3. Михайлов, Г.Г. Термодинамика металлургических процессов и систем / Г.Г. Михайлов, Б.И. Леонович, Ю.С. Кузнецов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2009. – 520 с.

4. Строкина, И.В. Изменения окислительно-восстановительных свойств газовой фазы системы C – O_2 – H_2 / И.В. Строкина, Н.Ф. Якушевич // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 2011. – № 6. – С. 3–5.

5. Muan, A. Phase eqilibria among oxides in steelmaking / A. Muan, E.F. Osborn. – Pergamon Press Limited, New York, 1965.

6. Кузнецов, Ю.С. Равновесие водяного газа с углеродом / Ю.С. Кузнецов, О.И. Качурина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 14. – № 2. – С. 5–11.

7. Вяткин, Г.П. Системный анализ процессов восстановления оксидов железа в атмосфере водяного газа / Г.П. Вяткин, Г.Г. Михайлов, Ю.С. Кузнецов, О.И. Качурина // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 2012. – № 2. – С. 10–13.

К содержанию

УДК 621.74.002.6

ЭКОНОМИЯ МЕТАЛЛА В ПРОИЗВОДСТВЕ ОТЛИВОК

В.И. Швецов, Б.А. Кулаков, М.А. Иванов

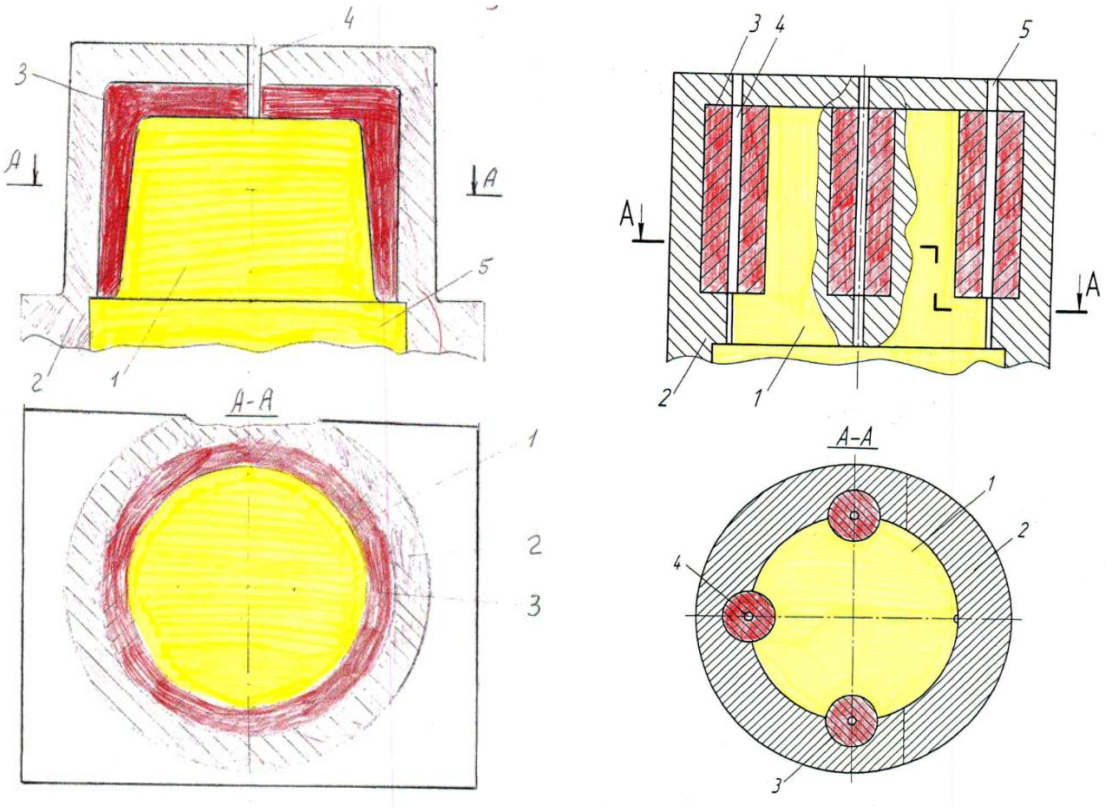
В производстве стальных отливок образуются отходы, уменьшение которых не отражается на качестве отливок, если применяется технология обогрева прибылей экзотермическими элементами. Новые технологии позволяют получать качественные отливки при минимальных отходах.

Ключевые слова: экономия, металл, технология, обогрев прибылей, эффективность.

Современное состояние этого вопроса следует считать неудовлетворительным. Часто технологический выход годного (ТВГ) составляет 50 %, а иногда и ниже. Это значит, что 50 % выплавленного металла, кондиционного, качественного, на который затрачены равные с отливкой материальные, энергетические, трудовые и другие ресурсы становятся отходами и частью шихты. Эта технология считается надежной и простой для обеспечения среднего качества отливки и очень удобной и выгодной для экономистов. Они считают, что чем больше масса прибылей, тем ниже стоимость шихты, тем дешевле обходится расплав. Они не учитывают, что все затраты на отходы переносятся на себестоимость отливок в данной плавке, а снижение их в следующей плавке повышает массу товарной продукции.

Между тем, повысить ТВГ на 10–15 % не так уж сложно. Достаточно грамотно разработать технологический процесс и строго его исполнить. Сейчас есть технологии, позволяющие получать качественные отливки при ТВГ = 80–90 %. На рисунке показана принципиальная схема технологий, широко используемых за рубежом (на рисунке слева), и с успехом опробованных у нас. В их основу положен обогрев прибылей (рисунок, позиция 1) за счет установки в форму (позиция 2) экзотермических вставок (оболочек) (позиция 3). Мы предлагаем вместо оболочек, которые изготовляются для каждой отливки по специальной оснастке, универсальные экзотермические элементы, помещаемые непосредственно в полости прибылей (на рисунке справа). Их количество зависит от массы горячего узла для любой конфигурации отливки. Такая технология имеет существенные преимущества с учетом применения новых экзотермических смесей с высокой теплотворной способностью.

Однако литейщики не стремятся использовать такие технологии, и этому есть серьезные причины. Методы расчета экономического эффекта от повышения ТВГ таковы: чем больше отходов, тем дешевле шихта, а из сэкономленного металла вычитается масса, на которую уменьшается масса отходов.



а) б)

Принципиальные схемы технологий обогрева прибылей экзотермическими элементами: а) с экзотермической оболочкой; б) с универсальными экзотермическими элементами 1 – металл прибыли; 2 – форма; 3 – экзотермическая вставка; 4, 5 – выпоры

На кафедре металлургии и литейного производства Южно-Уральского государственного университета была разработана новая методика расчета экономического эффекта, основанная на реальных объективных показателях: материальных и стоимостных балансах. Она была частично изложена в работе [1], поэтому здесь приведем только конечные соотношения для расчета материальных и экономических эффектов.

В качестве основы аналитически выведена формула для расчета массы металла, сэкономленного за счет повышения ТВГ, и развернутая формула с учетом составляющих частей (возврата и угара).

$$M_э = M_ч\left(1 - \frac{ТВГ}{ТВГ_н}\right). \quad (1)$$

$$M_э = M_ч\left(1 - \frac{ТВГ}{ТВГ_н}\right)(1 - У) + M_ч У\left(1 - \frac{ТВГ}{ТВГ_н}\right) = M_ч\left(1 - \frac{ТВГ}{ТВГ_н}\right). \quad (2)$$

Здесь $M_э$ – материальный эффект (экономия металла за счет повышения ТВГ); $M_ч$ – масса металла, залитого в форму (черный вес); $У$ – угар (безвозвратные потери металла); ТВГ и $ТВГ_н$ – технологический выход годного, соответственно по предыдущей и новой технологиям.

Рассчитан полный экономический эффект $Э_п$ по показателям промышленной отливки бандажа массой («чистый вес») $M_о$ = 2 550 кг.

Расход металла на изготовление отливки $M_ч$ = 5 000 кг.

$$Э_п = M_ч \left(1 - \frac{ТВГ}{ТВГ_н}\right)(Ц_ж + Ц_о ТВГ_н). \quad (3)$$

Изменение технологии заключалось в том, что кольцевая прибыль была заменена тремя прибылями повышенного радиуса действия с повышением ТВГ с 51 % до 63 %. По расчетам бухгалтерии экономический эффект составил 1 330 руб./т годного. Расчет по нашей методике оказался выше на 20 120 руб./т.

$Э_п = 5000\left(1 - \frac{0{,}51}{0{,}63}\right)(7{,}872 + 62{,}824 * 1{,}25 * 0{,}63) = 54\,763$ руб. на одной отливке массой 2 550 кг или 54 763/2.55 = 21 450 руб. на тонне отливок.

Здесь $Ц_ж$ – стоимость 1 кг жидкого металла; $Ц_о$ – товарная цена 1 кг отливок с учетом 0,25 % прибыли; $Ц_о$ = 1,25 С, где С – себестоимость 1 кг отливок после ее снижения за счет уменьшения расхода металла при повышении ТВГ.

Кроме того, использование технологии обогрева прибылей в сочетании с прибылями повышенного радиуса действия позволило из одной плавки с допустимой перегрузкой пятитонной печи получать две отливки вместо одной.

Важной причиной также является отсутствие централизованного изготовления и поставки экзотермических оболочек, что практически невыполнимо при большом их разнообразии вследствие необходимости иметь оснастку, соответствующую номенклатуре отливок, которая к тому же не отличается постоянством. В этих условиях номенклатура оболочек меняется и приходится использовать их с повышенными отклонениями в большую или меньшую сторону. И то и другое не гарантирует высокое качество отливок и снижает эффективность процесса обогрева прибылей.

Универсальные экзоэлементы и соответствующая им оснастка для ее изготовления гарантируют качество отливок на высоком уровне и минимальный расход металла и экзотермической смеси на номенклатуру отливок с тепловыми узлами массой от 1 до 1500 кг.

Создание центра изготовления экзотермических элементов с конфигурацией цилиндра упрощает технологию их изготовления, а при выпуске отливок с массивными узлами, в том числе, более 1500 кг, удобно эти же элементы в расчетном количестве вводить в полости прибылей в мягкой таре из ткани на основе минеральной ваты и поверхностно-активного вещества (ПАВ).

Библиографический список

1. Швецов, В.И. Оценка экономической эффективности экзоэлементов при производстве стальных отливок / В.И. Швецов, Б.А. Кулаков // Наука ЮУрГУ. Материалы 62-й научной конференции. Секция технических наук.– Челябинск: Изд. Центр ЮУрГУ, 2010. – Т. 3. – С. 48–51.

К содержанию

УДК 621.74.045

КЕРАМИЧЕСКИЕ СТЕРЖНИ ДЛЯ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ЛИТЬЯ

А.С. Варламов

Статья посвящена вопросу изготовления керамических стержней высокой точности для изготовления художественных отливок. Предложено применение в качестве связующего водного раствора алюмоборфосфатного концентрата, в качестве наполнителя – кварцевого песка, плакированного суспензией из раствора карбоксиметилцеллюлозы и периклазового поршкообразного отвердителя. Дополнительно на поверхность стержней наносилось химически твердеющее огнеупорное покрытие. Разработанная технология позволяет ускорить цикл формообразования, повысить прочность стержней, обеспечить их высыпаемость из развитых полостей художественных отливок.

Ключевые слова: литье по выплавляемым моделям, художественное литье, керамические стержни, алюмоборфосфатный концентрат, периклаз, плакированный песок, керамзит.

Изучение старинных художественных изделий каслинских мастеров показывает, что лучшее качество литой поверхности обеспечивается при минимально возможных толщине стенок и массе отливки. Толщина стенок и масса зависят от точности геометрических размеров стержней, сохранения их поверхностной конфигурации и легкости удаления из полости отливки после ее охлаждения.

Высокую точность стержней можно обеспечить за счет применения современных способов формообразования, основанных на спекании огнеупорных материалов или огеливании суспензий [1]. Однако, получаемые этими способами стержни трудно удалить из внутренних полостей кабинетных художественных отливок. Использование для их выбивки механического и химико-термического способов может привести к повреждению тонкорельефной поверхности и ажурных частей отливок. Поэтому в практике литья приходится идти на компромисс. Так, для получения художественных отливок литьем по выплавляемым моделям (ЛВМ) используют набивные стержни на лигносульфонате техническом с нанесенными на поверхность двумя слоями этилсиликатного покрытия [2]. Такие стержни удовлетворительно выбиваются из отливок, однако склонны к трещинообразованию при удалении модели и обжиге керамических форм, не обеспечивают требуемую точность и трудоемки в изготовлении.

Для устранения указанных недостатков предложено изготовление стержней на алюмоборфосфатном концентрате (АБФК) уплотнением смеси в стержневом ящике вибрацией с последующим нанесением на их поверхность самотвердеющей суспензии на этом же связующем.

Известный способ изготовления стержней – «ФОСКОН-процесс» применительно к ЛВМ не обеспечивает требуемое качество художественных отливок. Кроме того, актуальными проблемами в этом случае остаются длительный цикл формирования манипуляторной прочности стержней и недостаточный уровень их прочности через 1 час, не позволяющий ускоренно извлекать их из оснастки. Также базовый способ приготовления смеси не обеспечивает равномерное распределение порошкообразного отвердителя и, следовательно, вызывает нестабильность получаемых свойств стержней.

Проведенные исследования показали, что успешное решение указанных проблем возможно за счет применения технологической добавки – водного раствора карбоксиметилцеллюлозы при следующем соотношении ингредиентов, мас. % [3]:

раствор алюмоборфосфатного концентрата……	2–8;
периклазовый порошкообразный отвердитель……	0,8–1,7;
раствор карбоксиметилцеллюлозы……..	1–3;
кварцевый песок…….	остальное.

При этом, перед введением раствора алюмоборфосфатного концентрата осуществляют плакирование кварцевого песка предварительно подготовленной суспензией из раствора карбоксиметилцеллюлозы и периклазового порошкообразного отвердителя с последующей обработкой плакированного песка в кипящем слое теплым воздухом с температурой 50–80 °С.

Применение в качестве связующего водного раствора алюмоборфосфатного концентрата и периклазового порошкообразного отвердителя обеспечивает требуемый цикл формообразования и исключает сушку изготавливаемых стержней вследствие химического затвердевания смеси.

Введение в состав смеси дополнительно карбоксиметилцеллюлозы в количестве 1–3 мас. % создает условия для плакирования и равномерного распределения периклазового поршкообразного отвердителя смеси, а также повышение прочностных характеристик стержней, в особенности сразу после затвердевания смеси.

Плакирование песка суспензией из раствора карбоксиметилцеллюлозы и периклазового поршкообразного отвердителя обеспечивает равномерное распределение отвердителя в объеме смеси. При этом плакированный песок может храниться в отдельной таре неограниченное время и при необходимости использоваться для подготовки холодно-твердеющей смеси (ХТС), что обеспечивает высокую технологичность разработанного способа приготовления смеси на АБФК.

Обработка плакированного песка в кипящем слое теплым воздухом с температурой 50–80 °С создает условия для ускоренной подготовки плакированного отвердителем наполнителя и улучшение физико-механических свойств стержней и качества художественных отливок.

Для получения сравнительных данных осуществляли приготовление смеси по базовому и разработанному вариантам. Составы смесей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Составы смесей

Наименование ингредиентов	Количество ингредиентов, мас. %, в смесях					
	базовый вариант	1	2	3	4	5
Раствор АБФК	4	2	5	8	5	5
Периклазовый порошкообразный отвердитель	1,5	1,2	1,2	1,2	0,8	1,7
Раствор карбоксиметилцеллюлозы	–	2	2	1	2	3
Кварцевый песок	Остальное	Остальное				

Результаты испытаний смесей приведены в табл. 2. Номера составов смесей соответствуют приведенным в табл. 1.

В целом, результаты испытаний показывают, что по сравнению с базовым разработанный состав смеси и способ ее приготовления позволяют ускорить цикл формообразования, повысить прочность стержней более чем в 2 раза, в особенности на ранних этапах формообразования, практически исключить осыпаемость стержней, облегчить выбиваемость художественных отливок. Это позволило значительно улучшить качество поверхности сложнопрофильных, тонкорельефных отливок.

Кроме того, для художественного ЛВМ в соответствии с намеченной технологической схемой изготовления стержней на их поверхность наносили химически отверждаемое огнеупорное покрытие [4] методом окунания.

Таблица 2

Результаты испытаний смесей

Показатели	Результаты испытаний смесей по составам					
	базовый вариант	1	2	3	4	5
1. Продолжительность затвердевания, мин	30	10	15	20	22	12
2. Живучесть, мин	6	20	25	30	40	28
3. Прочность при разрыве, МПа: а) через 1 час; б) через 24 часа	 0,15 1,0	 0,15 1,5	 0,45 1,9	 0,47 1,7	 0,41 1,72	 0,38 1,6
4. Выбиваемость (остаточная прочность), МПа	0,20	0,08	0,09	0,12	0,10	0,09
5. Осыпаемость, %	0,06	0,04	0,01	0,012	0,019	0,01

Использовали суспензию на основе водного раствора АБФК, как связующего, и измельченного кварцевого песка – основного компонента наполнителя. Диспергирование частиц кварцевого песка до зернистости 10–100 мкм может быть осуществлено помолом исходного кварцевого песка, например, марок $3К_3О_203$ или $5К_3О_203$ (ГОСТ 2138-91) в вибромельницах.

Варьирование содержания периклаза в суспензии дает возможность в широких пределах регулировать продолжительность отверждения, что определяет ее применение в производстве как мелких, так и крупных точных стержней для художественного литья по выплавляемым моделям.

АБФК в водной среде подвергается гидролизу с образованием раствора фосфорной кислоты, который взаимодействует с железом на частицах мелкодисперсного кварцевого песка с выделением водорода. Этот процесс, протекающий на границе «связующее – наполнитель», и химическое отверждение суспензии обеспечивают формирование равномерной пористой структуры оболочки стержней, повышающей ее газопроницаемость. На рис. 1 представлена структура излома оболочки стержней после прокалки, снятая на электронном растровом низковакуумном микроскопе JEOL JSM 6460LV с волновым анализатором.

С целью повышения механических характеристик стержней было предложено армирование их поверхностного слоя муллитосодержащей добавкой. В качестве такой технологической добавки использовали керамзит (ГОСТ 9757-90). Керамзитовый песок имеет фазовый состав: муллит, кристобалит, гематит, шпинели. Его пористая структура позволяет блокировать формирование и развитие трещин в стержнях, особенно в процессе прокалки и заливки высокотемпературных расплавов. Равномерно распределяясь в поверхностном слое стержней, в сочетании с мелкодисперсным кварцевым наполнителем керамзит образует полифракционную систему, повышающую физико-механические свойства стержней.

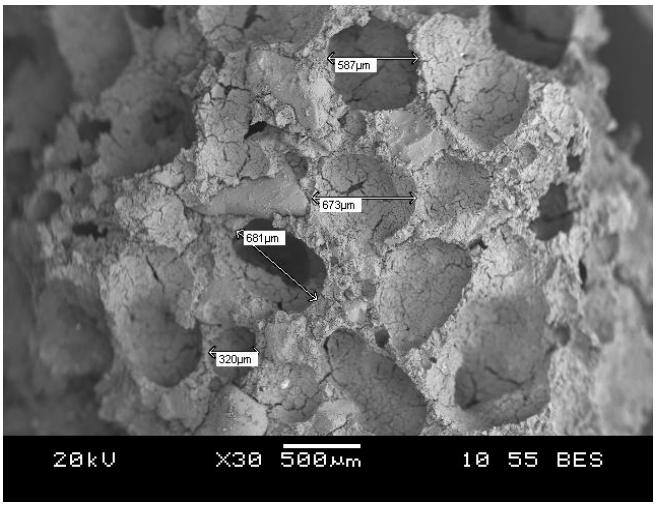


Рис. 1. Структура излома оболочки стержней

В табл. 3 приведены характеристики суспензии на АБФК и свойства получаемых из нее оболочек стержней.

Таблица 3

Результаты испытаний суспензии на АБФК и оболочек стержней

Показатели	Разработанная суспензия на АБФК
1.Затвердевание суспензии: – начало, мин – конец, мин	 10–15 20–30
2. Текучесть суспензии по Суттарду, мм	160–170
3. Газопроницаемость, ед.	5–7
4. Прочность оболочек при изгибе, МПа: – после сушки на воздухе (2 ч) – после сушки на воздухе (24 ч) – при температуре 900 °С	 2,5–3,0 4,5–5,5 6,0–7,0
5. Выбиваемость оболочек (остаточная прочность), МПа	1,21,3

Результаты испытаний оболочек стержней на АБФК выявили сочетание в них важнейших технологических свойств: высокой «холодной» и «горячей» прочности с одной стороны, и разупрочнения после формирования отливки и последующего охлаждения с другой.

В ходе опытно-промышленных испытаний стержни изготавливались методом вибрации, затем на них формировалось огнеупорное покрытие на АБФК. Полученные таким образом стержни устанавливались в пресс-форму и запрессовывались модельной массой. Модели с находящимися внутри стержнями, изготовленными по разработанной комбинированной технологии, проходили все стадии литья по выплавляемым моделям. Полученные художественные отливки из чугуна и латуни отличались повышенным качеством тонкорельефной поверхности. При этом, для них было характерно явление саморазупрочнения стержней после формирования художественных отливок и возможность их удаления из полостей отливок простым высыпанием через технологические отверстия в отливке диаметром 5–8 мм. Примеры полученных латунных отливок приведены на рис. 2–5.

Рис. 2. Отливка «восточная девушка»,
изготовленная по разработанной технологии

Рис. 3. Художественное изделие «герб»,
изготовленное по разработанной технологии

Рис. 4. Художественное изделие «конь вздыбленный», изготовленное по разработанной технологии

Рис. 5. Художественное изделие «лев с гирей», изготовленное по разработанной технологии

Библиографический список

1. Знаменский, Л.Г. Электроимпульсная и ультразвуковая обработка материалов в точном литье: монография / Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина, Б.А. Кулаков, В.В. Крымский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 259 с.
2. Зотов, Б.Н. Художественное литье / Б.Н. Зотов. – М.: Машиностроение, 1982. – 288 с.
3. Пат. 2469813 Российская Федерация, МПК В 22 С 1/00. Смесь для изготовления литейных форм и стержней и способ ее приготовления (варианты) / Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина, С.С. Верцюх., А.А. Солодянкин. – № 2011122902/02; заявл. 06.06.2011; опубл. 20.12.2012, Бюл. № 35. – 6 с.
4. Пат. 2385782. Российская Федерация, МПК В 22 С 1/18. Смесь для изготовления форм и стержней в точном литье и способ ее приготовления / Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина, А.С. Варламов. – № 2008141588/02; заявл. 20.10.2008; опубл. 10.04.2010. Бюл. № 10. – 5 с.

К содержанию

УДК 621.74.01

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СИЛИКАТНЫХ СВЯЗУЮЩИХ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В.К. Дубровин

В статье рассмотрены преимущества, недостатки, перспективы применения силикатных связующих на основе жидкого стекла, кремнезоля. Дана оценка технологических процессов на основе тепловой сушки, CO_2-процесса, пластичных и жидкоподвижных самотвердеющих смесей, а также отверждения современными отвердителями на основе сложных эфиров. Также затронуты актуальная проблема применения связующих на основе кремнезоля в литье по выплавляемым моделям.

Ключевые слова: связующее, силикат, жидкое стекло, кремнезоль, литейная форма, стержень, отверждение.

Литейное производство в силу своей специфики предусматривает большое разнообразие технологических процессов и используемых материалов. В значительной степени это относится к формовочным материалам, в том числе связующим.

Традиционным связующим для получения разовых объемных форм являются алюмосиликаты – формовочные глины. Их важным преимуществом является доступность и дешевизна. Применение современных способов формовки сырых песчано-глинистых форм в большинстве случаев позволяет получать отливки высокого качества различных размеров и конфигураций.

Формовочные глины как связующие по универсальности, дешевизне, доступности находится вне конкуренции, несмотря на уменьшающуюся долю в общем объеме литья. К сожалению, формовочные глины подходят только для форм, для стержней они не обеспечивает необходимые показатели прочности газотворности.

Традиционным связующим для стержневых смесей является жидкое стекло – водный силикат натрия. Впервые жидкое стекло было получено немецким химиком Яном Фуксом в начале XIX века, в литейном производстве в Англии было впервые опробовано в начале XX века, В России активно начало использоваться с середины прошлого столетия. Первоначально оно использовалось как связующее тепловой сушки. Прочность достигается за счет удаления влаги из раствора и образования стекловидной пленки силиката натрия. Смесь может применяться как стержневая, а также как облицовочная для стальных (до 10 т) и чугунных (до 20 т) отливок. Смеси тепловой сушки на жидком стекле имеют высокие прочностные показатели ($\sigma_{сж}$ до 15 МПа, $\sigma_{раз}$ до 3 МПа), низкая газотворность, высокая газопроницаемость, отсутствие токсичных газовыделений, доступность и недефицитность материалов [1].

К недостаткам процесса можно отнести повышенные энергозатраты, низкую производительность, высокую трудоемкость выбивки и очистки литья, снижение точности форм и стержней при сушке вследствие коробления.

Разработка и широкое внедрение CO_2-процесса (отверждение в оснастке углекислым газом) значительно расширили область применения жидкого стекла, позволили повысить точность, производительность процесса. Отверждение происходит за счет образования трехмерного пространственного скелета из агрегатированных частиц кремнекислоты, прочно склеивающих зерна наполнителя. Побочные продукты реакции (карбонат натрия) составляют интерглобулярную среду.

Смеси по CO_2-процессу используются для получения стальных и чугунных отливок массой до 3 т, содержание жидкого стекла составляет 5–7 %, $\sigma_{сж}$ до 1,5 МПа. Для более массивных отливок может применяться отверждение CO_2 в сочетании с тепловой сушкой, которая увеличивает противопригарные свойства смеси. Водные противопригарные краски имеют недостаточную прочность со смесью, поэтому применяют краски на спиртовой основе. При получении отливок массой менее 200 кг формы можно не окрашивать. Смеси по CO_2-процессу гигроскопичны, при увлажнении необратимо теряют прочность.

Несмотря на ряд положительных моментов, CO_2-процесс имеет и серъезные недостатки. Это в первую очередь затрудненная выбиваемость, а также пригар на крупных отливках и неудовлетворительная регенерируемость, что связано с высоким (5–7 %) содержанием жидкого стекла

в формовочной смеси. CO_2-процесс в настоящее время является самым распространенным среди жидкостекольных технологий. Совершенствование его идет по следующим направлениям: модифицирование полифосфатными соединениями, полиакрилатами, анионо-активными ПАВ, моно-, полисахаридами, подогрев газовоздушной смеси, импульсный способ продувки.

Эффективным развитием основных технологических приемов CO_2-процесса можно считать VRH-процесс, разработанный японской компанией Sinto. Формирование прочности обеспечивается дегидратацией и продувкой углекислым газом при низком давлении.

Основные технологические приемы VRH-процесса заключаются в следующем. На первой стадии отверждения опоку с уплотненной смесью помещают в камеру вакуумного отверждения; далее воздух откачивают из камеры, и понижение давления обеспечивает частичное удаление влаги и начало образования оболочек силикатного геля вокруг песчинок смеси. На второй стадии отверждения вакуум заменяют на атмосферу углекислого газа; при отсутствии воздуха и других газов реакция углекислого с силикатом натрия с образованием силикатного геля происходит быстро, твердость повышается.

Достигаемый технический результат VRH-процесса заключается в сокращении количества используемого жидкого стекла с 5–6 % до 2–3 %, углекислого газа с 6 % до 0,3–1,0 % при сохранении уровня рабочей прочности, более полном использовании регенерируемой смеси за счет более низкого содержания жидкого стекла; отсутствии загрязнения серой, углеродом, азотом и фосфором; улучшении выбиваемости смеси; возможности механизации процесса; повышении текучести смеси, минимальной конденсации влаги при хранении форм; низкой вероятности образования газовых дефектов и ужимин; повышении точности отливок. Технология VRH может применяться для получения отливок из сталей, чугунов, алюминиевых и других цветных сплавов.

Пластичные (ПСС) и жидкоподвижные (ЖСС) самотвердеющие смеси, отверждаемые твердыми отвердителями на основе двухкальциевых силикатов (шлак феррохромового производства, нефелиновый шлам), были разработаны в 60-х годах прошлого века и широко применялись вплоть до 90-х годов. Отверждение в них наступает за счет образования гидросиликатов кальция и натрия. ЖСС в свое время совершили качественный скачок в технологии изготовления крупных чугунных и стальных отливок. По сравнению с песчано-глинистыми смесями в 3–5 раз уменьшилась трудоемкость формовки из-за отсутствия уплотнения, в 2–3 раза повысилась производительность формовочных работ, на 30 % увеличился выпуск литья на существующих площадях, также отмечалось снижение брака по ужиминам, песчаным и газовым раковинам, трещинам в стальных отливках. Смеси имели прочность $\sigma_{сж}$ до 1,5 МПа.

Впоследствии ПСС и ЖСС были вытеснены холодно-твердеющими смесями на основе синтетических смол, которые позволили существенно улучшить качество отливок и производительность процессов как в мелкосерийном, так и в массовом производстве. Самым существенным недостатком синтетических смол является наличие токсичных выделений как при изготовлении стержней и форм, так и при заливке. Серъезной проблемой является также утилизация отработанных смесей, содержащих остатки этих связующих.

В связи с этим в настоящее время проводятся интенсивные исследования и производственные испытания в области изготовления стержней на основе нетоксичных связующих, в первую очередь жидкого стекла. Возрождающееся внимание к этим связующим определяется с возможностью значительного снижения их недостатков: плохой выбиваемости, гигроскопичности, невозможности или сложности процесса регенерации.

Большие надежды возлагаются на процессы изготовления жидкостекольных стержней и форм с применением сложноэфирных отвердителей (СЭО) на основе ацетатов этиленгликоля, глицерина, пропиленкарбоната. Жидкостекольные смеси со СЭО легко уплотняются вибрацией, имеют широкий диапазон живучести, удобство приготовления смеси и дозирования компонентов, не имеют в своем составе азота, фосфора, серы, хорошие санитарно-гигиенические условия. Содержание жидкого стекла в данных смесях снижается до 3 %, что позволяет улучшить выбиваемость, регенерируемость.

Представляет интерес процессы изготовления стержней в крупносерийном и массовом производстве отливок, такие как AWD-, Cordis-, Inotec-процессы [2]. В данных процессах применяется модифицированное жидкостекольное связующее. Смеси уплотняются пескострельным способом не хуже, чем при Cold-box-amin-процессе. Отверждение происходит в нагретом стержневом ящике за счет теплового воздействия на жидкое стекло. После извлечения из стержневого ящика стержни могут дополнтельно быть просушены в микроволновой печи. Прочность стержней на изгиб достигает $\sigma_{изг}$ 5 МПа. Количество связующего уменьшается до 2 %, отмечается хорошая выбиваемость и возможность регенерации смеси. Данные технологии позволяют свести к минимуму газовыделение при заливке (это в основном пары воды). Точность стержней может несколько уступать Cold-box-amin-процессу, но вполне удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Актуальным остается также применение неорганических силикатных связующих в литье по выплавляемым моделям. В настоящее время, это кремнезоли, которые могут заменить широко применяемые этилсиликатные связующие. Для литья химически активных сплавов наибольший интерес представляют кислые кремнезоли, не содержащие щелочных металлов и формирующие с огнеупорным наполнителем термохимически стойкие соединения в процессе обжига.

Таким образом, неорганические силикатные связующие (жидкое стекло, кремнезоли) в будущем могут стать эффективной заменой органических связующих, в первую очередь, благодаря высокой экологичности, доступности и относительной дешевизны.

Библиографический список

1. Формовочные материалы и технология литейной формы / С.С. Жуковский и др. – М.: Машиностроение, 1993. – 432 с.

2. Жуковский, С.С. Изготовление стержней из жидкостекольных смесей в массовом производстве отливок / С.С. Жуковский, Ф.С. Кваша // Литейщик России. – 2012. – № 7. – С. 41–44.

К содержанию

УДК 621.74.045

ЭКОНОМИЧНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ ФОРМЫ В ХУДОЖЕСТВЕННОМ ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Л.Г. Знаменский

В статье рассмотрены структура и свойства разработанных экономичных керамических форм на алюмоборфосфатном концентрате высокой точности для кабинетного художественного литья по выплавляемым моделям. Предложено армирование керамической формы муллитосодержащей технологической добавкой, позволяющей существенно повысить ее трещиноустойчивость. Разработанная, как альтернатива этилсиликатным формам, технология позволяет ускорить цикл формообразования, повысить прочность форм, обеспечить легкое удаление керамики.

Ключевые слова: литье по выплавляемым моделям, кабинетное художественное литье, керамические формы, алюмоборфосфатный концентрат, периклаз, керамзит.

Анализ известных способов литья показывает, что наиболее перспективным для изготовления художественных отливок, отличающихся повышенными требованиями к чистоте и точности рельефа поверхности, является метод литья по выплавляемым моделям (ЛВМ). Однако, в большинстве случаев, на практике этим прогрессивным способом получают художественные отливки лишь мелких и средних размеров. Представляющие наибольшую художественную ценность крупногабаритные кабинетные отливки, такие как «конь с попоной», «весна с Амуром», «лось» и др. получают литьем в кусковые формы.

Процесс формообразования в кусках, предусматривающий метод уплотнения смеси вручную, характеризуется низкой производительностью, повышенной сложностью и трудоемкостью, требует высокой квалификации формовщиков [1], а, главное, не обеспечивает на сегодня необходимое качество поверхности художественных отливок вследствие развитых процессов пригарообразования и заливов по швам.

Проведенный анализ художественного ЛВМ на ряде предприятий Уральского региона показывает увеличение брака с 9,3 % до 22 % по мере повышения массы кабинетных отливок с 0,5 кг до 10 кг.

В связи с вышеизложенным очевидна актуальность задачи совершенствования формообразования в производстве художественного ЛВМ, в особенности крупных размеров и массы.

Поставленная задача была успешно решена на кафедре металлургии и литейного производства ЮУрГУ разработкой процесса изготовления экономичных керамических форм на алюмоборфосфатном концентрате (АБФК) [2].

В соответствии с разработанной технологией формировали четыре слоя огнеупорного покрытия на АБФК, затем модели удаляли в перегретой модельной массе (МВС-15) при температуре 130–140 ºС, полученные керамические формы прокаливали при 900–950 ºС в течение 4–5 часов и заливали чугуном или латунью. Художественные отливки охлаждались, формы и стержни удалялись механически.

При изготовлении керамических форм использовали суспензию на алюмоборфосфатном концентрате и пылевидном кварце, а обсыпку осуществляли зерновым периклазом, являющимся отвердителем к связующему.

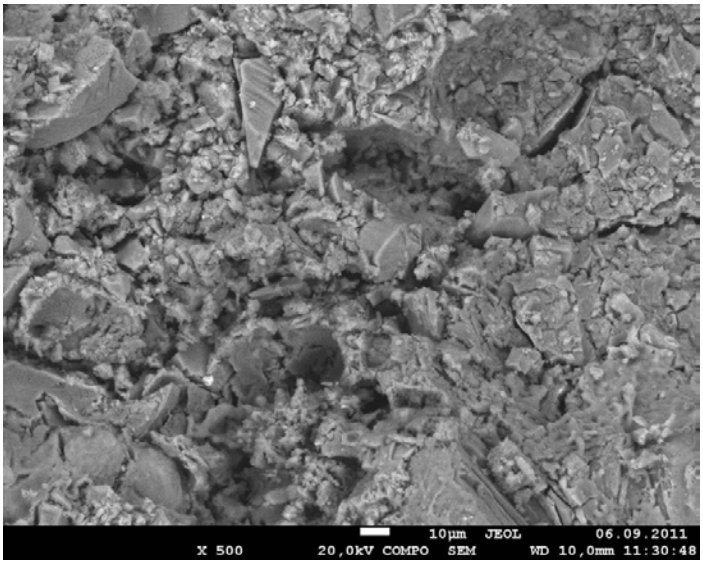
Как показали эксперименты, в этом случае обсыпка внедряется в слой суспензии и начинает взаимодействовать с алюмоборфосфатным концентратом с образованием объемной каркасной структуры из центров отверждения.

В результате сложных реакций между связующим и обсыпкой-отвердителем формируются системы из двузамещенных фосфатов магния, склонных к полимеризации и обуславливающих ускоренное формообразование. Наличие в суспензии фосфат-ионов уменьшает краевой угол смачивания и способствует качественному воспроизведению поверхности восковой модели. Структура прокаленной оболочковой формы, а также химический состав, полученные на электронном растровом низковакуумном микроскопе JEOL JSM 6460LV, представлены на рисунке 1.

Для повышения трещиноустойчивости керамики предлагается введение в состав суспензии высокопористого материала – керамзита, который создает своеобразный барьер, блокирующий возникновение и развитие трещин. В результате достигается минимальная склонность к образованию трещин керамических форм в процессе их прокалки. С целью установления влияния добавок керамзита на линейное изменение размеров образцов при нагреве

было проведено дилатометрическое исследование разработанной керамической формы на АБФК, результаты которого представлены на рисунке 2.

Дилатометрию керамических форм проводили на дилатометре «PAULIK» (Венгрия). Для этого образцы диаметром 5 мм и высотой 23 мм нагревали на воздухе со скоростью 10 °/мин, регистрировали со временем τ в зависимости от температуры Т (кривая Т) расширение (кривая TL), скорость изменения линейных размеров и рассчитывали относительное изменение размеров образцов в % при нагреве. Точность измерений составляла $\pm$0,1 %.



B	O	Mg	Al	Si	P	Примеси	Итог
13,48	49,57	5,20	2,35	20,54	6,93	1,92	100,00

Рис. 1. Структура оболочковой формы на АБФК с керамзитом (х500)

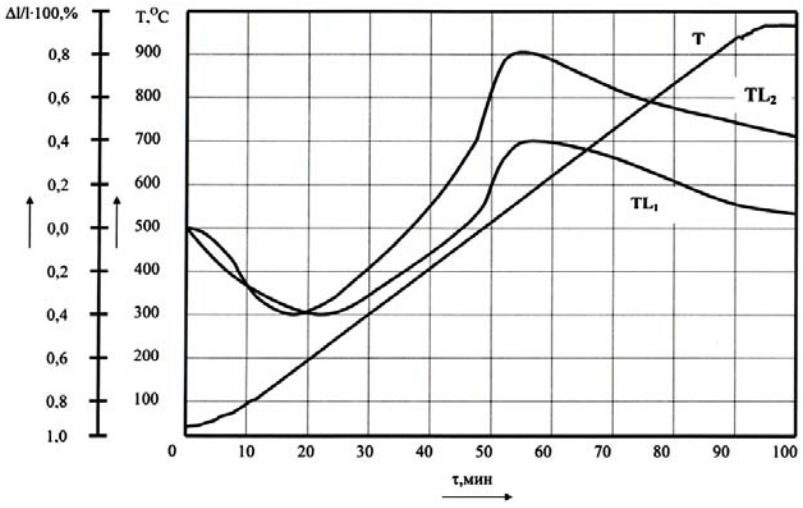


Рис. 2. Дилатометрия образцов керамических форм на АБФК.
Т – изменение температуры во времени, TL_1 и TL_2 – относительное изменение линейного размера образца, соответственно: с керамзитом и без керамзита

Как видно из графика, введение керамзита в суспензию позволяет снизить коэффициент термического линейного расширения в 4 раза, а следовательно, в этом случае значительно снижается вероятность трещинообразования в керамической форме.

В таблице 1 представлены результаты испытаний разработанной суспензии на АБФК по сравнению с базовой суспензией на гидролизованном растворе этилсиликата 40 (условное содержание SiO_2 14 %, наполнитель суспензии – пылевидный кварц).

В целом, результаты испытаний показывают, что по сравнению с используемой в художественном литье по выплавляемым моделям технологией оболочкового литья в керамическую форму на этилсиликате, разработанная способствует ускорению цикла изготовления форм в 4–6 раз, повышению прочности керамической оболочки. Это создает условия для значительного улучшения качества поверхности сложнопрофильных, тонкорельефных художественных отливок, изготавливаемых литьем по выплавляемым моделям. Кроме того, алюмоборфосфатный концентрат является недорогим, недефицитным, экологически чистым материалом.

Таблица 1

Свойства суспензий и форм
на гидролизованном растворе этилсиликата и АБФК

Свойства	Суспензия и форма на гидролизованном растворе этилсиликата (базовая технология)	Суспензия и форма на АБФК (разработанная технология)
Условная вязкость суспензии по ВЗ-4, с	65–75	55–65
Газопроницаемость керамической оболочки, ед.	2–4	11–16
Продолжительность изготовления оболочки, ч.	24	4–6
Прочность образцов на изгиб, МПа	2,8–3,0	5,5–6,0
Прочность образцов на изгиб после прокалки при 900 °С, МПа	4,0–4,8	6,5–7,0
Остаточная прочность (выбиваемость) образцов, МПа	2,3–2,5	1,0–1,5

Разработанный способ изготовления керамических форм на алюмоборфосфатном концентрате [3] решает важнейшую технологическую задачу в художественном литье по выплавляемым моделям по полной замене дорогостоящего, экологически вредного органического этилсиликата, требующего проведения длительной операции гидролиза с применением пожароопасного этилового спирта. Предложенная технология позволяет изготав-

ливать качественные керамические формы на дешевом безопасном алюмоборфосфатном концентрате, причем, с физико-механическими свойствами, не уступающими этилсиликатным формам, а по выбиваемости, газопроницаемости, скорости формообразования существенно их превышающими.

На основе дериватографического (рис. 3) и рентгенофазового анализов (рис. 4) установлены механизм формирования прочности форм на АБФК и процессы, протекающие при их нагреве и охлаждении, в том числе при армировании муллитосодержащей технологической добавкой – керамзитом.

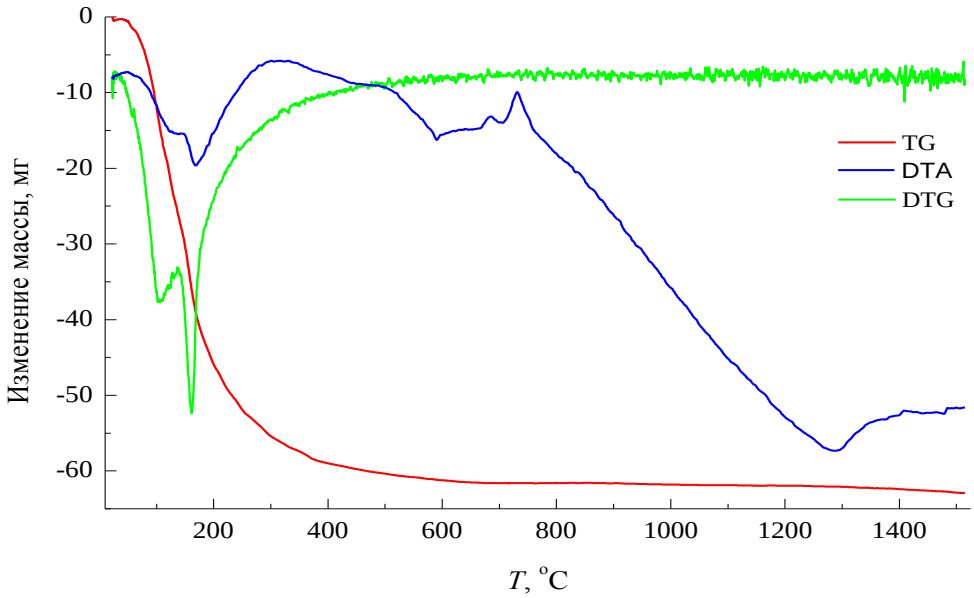


Рис. 3. Дериватограмма разработанной керамической смеси: масса образца 2 г

В результате выделения из раствора, роста и срастания кристаллогидратов различных форм фосфатов и полифосфатов происходит отверждение смеси. При этом основная роль принадлежит кристаллогидратам $Mg(H_2PO_4)_2 \cdot 3H_2O_{тв}$ и $MgHPO_4 \cdot 3H_2O_{тв}$, т.е. продуктам химического взаимодействия водного раствора АБФК и периклаза.

При нагреве форм из них удаляется кристаллизационная вода и протекают фазовые превращения, отвечающие за рост прочности. Двузамещенные ортофосфаты магния становятся безводными и переходят в пирофосфаты и метафосфаты. Параллельно проходит дегидратация борной кислоты с образованием оксида бора, который способствует спеканию при прокалке. Наличие в керамзите армирующей фазы муллита ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), равномерно распределенного в объеме формы в виде своеобразного каркаса, усиливает эффект спекания и обеспечивает высокую «горячую» прочность керамических форм.

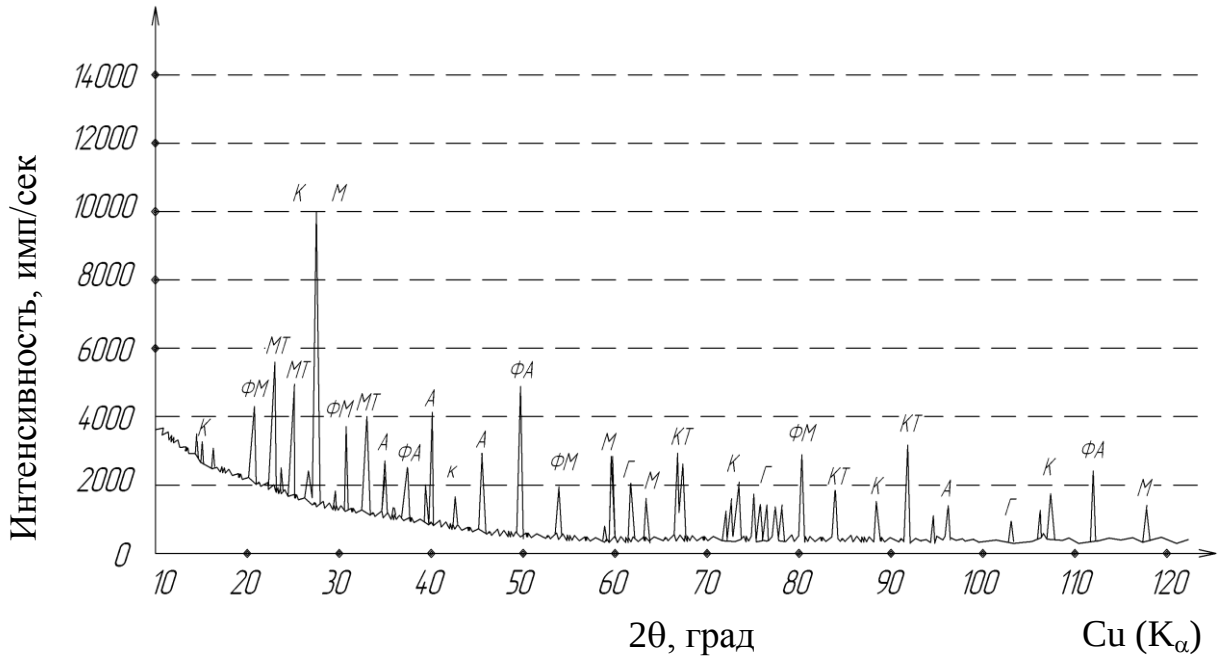


Рис. 4. Дифрактограмма прокаленного образца форм: А – Al_2O_3;
К – β-кварц; М – MgO; ФА – $AlPO_4$; ФМ – $Mg_3(PO_4)_2$;
КТ – кристобалит; Г – Fe_2O_3; МТ – $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$

Образующийся на этом этапе BPO_4, после формирования отливки и при последующем охлаждении форм ниже 500 ºС, распадается на кристаллический B_2O_3 и газообразный P_2O_5, что приводит к их разупрочнению и, как следствие, улучшению выбиваемости отливок.

Полученные художественные отливки («конь с попоной», «медведь на задних лапах» из чугуна, «лев», «тигр с гирей», «восточная женщина» из латуни и др.) отличались повышенным качеством тонкорельефной поверхности.

В целом, разработанная технология изготовления керамических форм позволяет в 1,4–1,6 раза уменьшить массу, снизить трудоемкость и продолжительность изготовления художественных кабинетных отливок методом ЛВМ за счет повышения в 2–3 раза размерной точности форм, а также ускорения цикла формообразования при одновременном увеличении прочности и термостойкости керамических форм. Снижение массы и толщины стенок художественных отливок существенно улучшают чистоту и качество поверхности рельефа, значительно повышают художественную ценность литья.

На примере ЗАО «Уральская бронза» калькуляция себестоимости 1 т годного художественного литья по выплавляемым моделям с использованием разработанных и базовых технологий приведена в табл. 2, а технико-экономические показатели (ТЭП) – в табл. 3.

Таблица 2

Калькуляция себестоимости 1 т годного литья по вариантам технологий (в ценах мая 2008 г.) на ЗАО «Уральская бронза»

Статья калькуляции	Затраты, тыс. руб.	
	Базовая технология	Разработанная технология
1. Основные материалы	165,21	152,9
2. Вспомогательные материалы	19,58	16,37
3. Топливо и энергия технологические	30,35	25,13
4. Основная заработная плата	96,47	91,43
5. Дополнительная заработная плата	41,72	37,71
6. Отчисления на соцстрах	25,4	23,82
7. Потери от брака	38,18	20,07
8. Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования	22,16	21,35
9. Общецеховые расходы	23,45	21,64
10. Специнструмент	28,09	26,18
11. Общезаводские и непроизводственные расходы	108,23	99,83
12. Возвратные отходы	-39,87	-36,51
Итого:	558,97	499,12

Таблица 3

Технико-экономические показатели

Наименование ТЭП	ЗАО «Уральская бронза»		
	Базовая технология	Разработанная технология	Отклонение, %
Годовой объем производства, т	28,0	30,1	7,5
Производительность, тыс.шт./год	4,2	4,5	7,14
Энергоемкость, руб./руб.	0,052	0,0495	-4,7
Материалоемкость, руб./руб.	0,337	0,333	-0,99
Трудоемкость 1 кг годного литья, чел.-час	2,14	1,95	-8,88
Потери от брака, %	6,83	4,02	-41,14
Себестоимость 1 т литья, тыс. руб.	558,97	499,12	-10,71
Годовая экономия затрат, тыс. руб.	1800,0		

Таким образом, разработанная технология ускоренного изготовления экономичных керамических форм на АБФК открывает широкую перспективу для перевода производства кабинетных художественных отливок с низкопроизводительной и трудоемкой кусковой формовки на прогрессивный способ ЛВМ.

Библиографический список

1. Зотов, Б.Н. Художественное литье / Б.Н. Зотов. – М.: Машиностроение, 1982. – 288 с.
2. Знаменский, Л.Г. Процессы ускоренного формообразования в литье по выплавляемым моделям: монография / Л.Г. Знаменский, А.С. Варламов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 246 с.
3. Пат. 2478453. Российская Федерация, МПК В 22 С 1/00. Способ изготовления форм по выплавляемым моделям (варианты) / Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина, С.С. Верцюх. – № 2011146577/02, заявл. 16.11.2011; опубл. 10.04.2013. Бюл. № 10. – 5 с.

К содержанию

УДК 621.74.002.6 + 669.01/.09 + 621.74:669

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ПРОЦЕССАХ МОДИФИЦИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

О.В. Ивочкина

В статье рассмотрены технологии модифицирования литейных сплавов с использованием наноструктурированного алмазного порошка. Разработанный способ модифицирования чугуна позволяет устранить пироэффект и повысить физико-механические свойства отливок за счет измельчения зерна и уменьшения склонности к отбелу при кристаллизации расплава. Модифицирование алюминиевых сплавов тугоплавкими частицами наноструктурированного алмазного порошка приводит к измельчению структурных составляющих, в том числе создаются условия для диспергирования упрочняющих интерметаллидов при последующей термообработке таких отливок. В результате существенно улучшаются литейные и физико-механические свойства отливок.

Ключевые слова: чугун, алюминиевый сплав, модифицирование, наноструктурированный материал, отливка.

Современный этап научно-технического прогресса в области металлургии и литейного производства неразрывно связан с созданием эффективных энергосберегающих технологий, обеспечивающих комплексное использование сырья, применение прогрессивных видов наноматериалов с уникальным комплексом свойств. В этом отношении представляется перспективным использование наноструктурированного алмазного порошка в процессах подготовки литейных сплавов.

Наноструктурированный алмазный порошок (НАП) состоит из тугоплавких ультрадисперсных частиц, которые являются эффективными центрами зародышеобразования при кристаллизации чугуна. Ультрадисперсный алмаз, или наноалмаз – это углеродная структура, имеющая кристаллическую решетку типа алмаза и размеры от 1–10 нм.

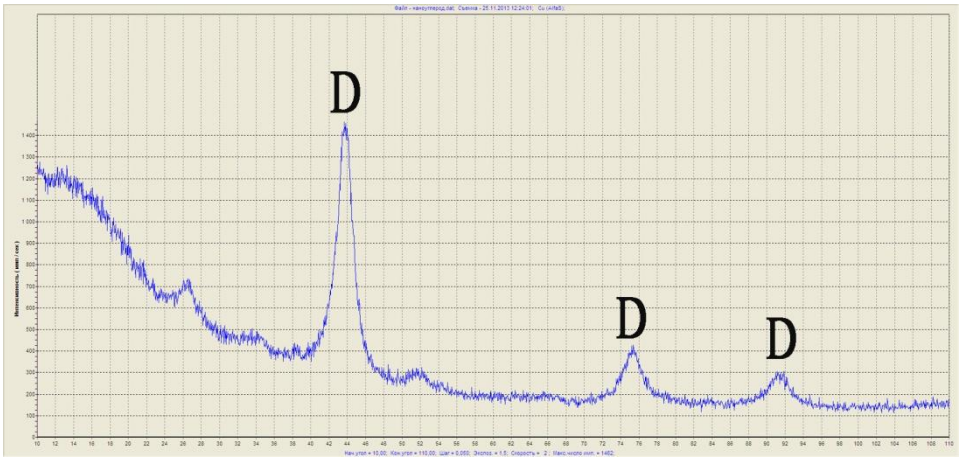
Существует несколько способов получения наноалмазов, из них наиболее экономичным и быстрым по времени является ударно-волновой синтез [1], который имеет ряд неоспоримых преимуществ перед статическим методом. Прежде всего, нет необходимости в металлах-катализаторах, примеси которых снижают прочность и термостойкость алмаза. Кроме того, параметры взрывного процесса, такие как давление, скорости нагружения, температуры сжатия и остаточные температуры, можно регулировать способом сжатия, подбором взрывчатого вещества с определенными свойствами, предварительным нагревом или охлаждением. В результате синтеза в сильнонеравновесных условиях получаются уникальные нанокристаллические структуры.

Для определения среднего размера частиц и соотношения размерных фракций посредством ультразвукового диспергирования получена суспензия диспергированного наноалмаза (ДНА) в воде с концентрацией частиц 0,1 мас. %. Размеры частиц в полученной суспензии определены прибором Zetasizer Nano ZS Malwern Instruments. Результаты показали, что средний размер частиц составляет 133 нм, а доля частиц размером менее 100 нм составляет 18,6 %, что позволяет отнести используемый материал к наноструктурированному.

Рентгенофазовый анализ используемого наноструктурированного порошка показал, что основной фазой в его составе является diamond (алмазная структура) (рис.). При этом значимое количество других фаз не было зафиксировано. Съемку проводили в отфильтрованном K_{α}-излучении медного анода на дифрактометре ДРОН-4-07, снабженном аппаратно-программным комплексом для автоматического управления и регистрации измерений. Комплекс содержит пакет программ для компьютерной обработки результатов измерений. Идентификацию фаз осуществляли с помощью программного обеспечения «X-RAY» путем сравнения экспериментальных рентгенограмм со стандартными штрих-рентгенограммами различных фаз базы данных международной картотеки PDF-2.

В ходе исследований разработаны способы модифицирования чугуна и алюминиевых сплавов наноструктурированным алмазным порошком.

Модифицирование чугуна осуществляли с использованием брикетов. При этом для изготовления брикета использовали смесь из зернистого магния, предварительно плакируемого суспензией из водного раствора алюмоборфосфатного концентрата и наноструктурированного алмазного порошка.



Результаты рентгенофазового анализа
наноструктурированного порошка: D – diamond

Влияние разработанного способа модифицирования на свойства чугуна представлено в таблице 1. Брикеты использовали для модифицирования чугуна следующего состава: 3,5 % C; 0,12 % P; 0,02 % S; 2,5 % Si; 0,6 % Mn. Плавильный агрегат – высокочастотная индукционная печь с хромомагнезитовой футеровкой. Температура расплава при модифицировании 1400–1420 °C. Формы для проб изготовлены из песчано-глинистой смеси влажностью 3–3,5 %. Для оценки структуры и механических испытаний получены цилиндрические пробы диаметром 30 мм и длиной 200 мм. Величина отбела определена по клиновидным пробам. Испытания на прочность проводили на разрывной машине INSTRON при скорости растяжения 2 мм/мин. В качестве базового взят способ модифицирования брикетами на основе коксовой мелочи [2].

Таблица 1

Показатели процессов модифицирования чугуна

Наименование показателя	Базовый вариант	Разработанная технология
1. Наличие пироэффекта при модифицировании	Есть	Нет
2. Толщина отбеленного слоя на отливке (клиновидная проба), мм	0,5–0,8	0
3. Твердость отливки, НВ	320	400
4. Прочность отливки при растяжении, МПа	300	440–470
5. Размер зерна металлической матрицы, мкм	210–230	20–30

Таким образом, разработанный способ модифицирования позволяет устранить пироэффект и повысить физико-механические свойства отливок за счет измельчения зерна и уменьшения склонности к отбелу при кристаллизации расплава.

Модифицирование алюминиевых сплавов наноструктурированным алмазным порошком осуществляли в печи. При этом модификатор вводили с помощью колокольчика.

Влияние разработанного способа модифицирования на свойства алюминиевого сплава АК8М представлено в таблице 2. Температура расплава при модифицировании 740–760 °С, время выдержки 5 минут. Склонность к образованию трещин определялась на технологических пробах по размеру кольца. Механические свойства определялись по образцам, вырезанных из отливок, после термообработки по режиму Т5: нагрев под закалку 2-ступенчатый при температуре 505 ºС – 4 ч + 515 ºС – 6 ч, закалка в воде 20 ºС, старение при 150 ºС – 10 ч, охлаждение на воздухе. В качестве базового взят способ модифицирования графитовой композицией [3].

Таблица 2

Показатели модифицирования алюминиевых сплавов

Наименование показателя	Базовый вариант	Разработанная технология
1. Размер зерна в структуре отливок, мкм	160–170	30–50
2. Предел прочности отливки (σВ), МПа	280–300	350–370
3. Относительное удлинение отливки (δ), %	6–10	12–14
4. Склонность к образованию трещин (толщина кольца, мм)	17,5	10

Анализ результатов показал, что модифицирование алюминиевых сплавов тугоплавкими частицами наноструктурированного алмазного порошка приводит к измельчению структурных составляющих, в том числе создаются условия для диспергирования упрочняющих интерметаллидов при последующей термообработке таких отливок. В результате для отливок из алюминиевых сплавов, полученных по разработанному способу, существенно улучшаются литейные и физико-механические свойства.

Учитывая повышенные физико-механические свойства получаемых отливок из чугуна и алюминиевых сплавов, разработанные способы модифицирования могут быть использованы для подготовки сплавов в отечественных и зарубежных литейных цехах при изготовлении продукции для нужд машиностроения, металлургии, авиации и других областей промышленности.

Библиографический список

1. Даниленко, В.В. Синтез и спекание алмаза взрывом / В.В. Даниленко. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 272 с.

2. Пат. 2330073 Российская Федерация, МПК С 22 В 1/243, С 22 В 5/12. Способ изготовления брикетов для металлургического производства / Л.Г. Знаменский, И.В. Речкалов, И.В. Курбатова, А.А. Ермоленко. – № 2006142619/02; заявл. 01.12.2006; опубл. 27.07.2008, Бюл. № 22. – 6 с.

3. Модифицирование алюминия технической чистоты комплексом наноструктурированных компонентов / Л.И. Мамина, В.Н. Баранов, А.И. Безруких и др. // Труды одиннадцатого съезда литейщиков России: сб. науч. тр. – Екатеринбург: РАЛ, 2013. – С. 120–127.

К содержанию

УДК 621.74:669.2/.8

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТЬЯ ТИТАН-АЛЮМИНИЕВОГО ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОГО СПЛАВА

А.В. Карпинский

Рассмотрен процесс моделирования центробежного литья интерметаллидных титан-алюминиевых сплавов на примере турбинной лопатки тракта низкого давления. Для моделирования заливки и затвердевания использована СКМ ЛП ProCast. С учетом результатов моделирования разработана литниково-питающая система, позволяющая получать ответственные отливки требуемого качества.

Ключевые слова: центробежное литье, компьютерное моделирование, интерметаллиды, титановый сплав, литниковая система, лопатка турбинная, двигатель газотурбинный.

В последнее время с развитием технологий все более возрастают требования к изделиям машиностроения. В частности, к отливкам, к их качеству, химсоставу, механическим свойствам и себестоимости. С целью выполнения этих требований в разработке современных технологических процессов литья целесообразно использовать CAE моделирующие программные комплексы. CAE комплексы работают совместно с CAD системами, в которых предварительно создается 3D модель отливки вместе с литниковой системой. Процессы моделирования основываются на физических законах гидравлики и теплопередачи. При наличии каких либо реальных практических данных их рекомендуется учитывать при задании граничных условий для моделирования.

В авиационном моторостроении существует тенденция перевода материалов деталей на новые титановые интерметаллидные сплавы, имеющие невысокую плотностью и способные работать при температурах до 750 °С.

Процесс компьютерного моделирования литья из таких сплавов был изучен на примере одной из наиболее перспективных отливок из титан-алюминиевого интерметаллидного сплава – турбинной лопатки тракта низкого давления газотурбинного двигателя. Эта лопатка имеет тонкое и длинное перо, которое практически невозможно пролить при заполнении

формы металлом под действием гравитационных сил. Кроме того в начале пера имеется массивный тепловой узел – замок для присоединения лопатки к диску, а на конце бандажная полка, также имеющая большой объем металла. Турбинная лопатка по модели которой осуществлялся процесс моделирования имеет массу 550 грамм и общую длину 310 мм.

Литье турбинных лопаток из титановых интерметаллидных сплавов ведется в вакуумных плавильно-заливочных установках, в которых металл заполняет форму под действием центробежных сил. Для моделирования заливки и затвердевания такой лопатки был выбрана система компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) ProCast. Она позволяет моделировать процесс центробежного литья, а также в базе данных ProCast присутствуют необходимые материалы, в частности, интерметаллидный сплав и керамическая форма.

При расчетах в СКМ ЛП ProCast используется метод конечных элементов, что в отличие от метода конечных разностей обеспечивает более точную геометрию модели после создания объемной сетки. Это особенно важно в тонких частях отливки, где даже небольшие нарушения геометрии значительно сказываются на полученных результатах. Программа также позволяет рассчитать тепловые поля в отливке и форме, оценить напряжения, возникающие в отливке и металлической оснастке. Кроме этого программный комплекс способен рассчитать цикличные нагрузки при центробежном литье. Течение расплава рассчитывается полным уравнением Новье-Стокса и может проводиться вместе с анализом температуры и напряжений. Комплекс проводит анализ турбулентных потоков, позволяет получить представление о характере заполнения формы расплавом, размывании формы, воздушных карманах, засорах, непроливах и холодных спаях.

Предварительные теоретические расчеты [1] и практические данные показали, что прибыль необходимо располагать ближе к оси вращения по отношению к питаемому узлу отливки, необходимая скорость вращения для заливки полости формы составляет около 200 об/мин. При меньшей скорости вращения наблюдались непроливы в форме, особенно в пере лопатки, максимальная толщина которого 2,5 мм. Если задать скорость вращения более 200 об/мин, то возрастает давление на стенку формы и при наличии термоудара повышает вероятность ее разрушения. При задании граничных условий в ProCast ориентировались на полученные практические и теоретические данные.

Моделирование проводилось для скорости вращения 200 об/мин по часовой стрелке, металл заливался в уже раскрученную до максимального числа оборотов форму, температура расплава перед заливкой – 1640 °С, температура формы – 700 °С. Использовался стандартные материалы, представленные в базе данных ProCast – сплав «Ti_45.5at%Al_8at%Nb» и керамическая оболочковая форма «Refractory Alumia».

С помощью ProCast были проверены различные варианты расположения отливки в форме и конфигураций ЛПС. По результатам моделирования выявлены такие недостатки, как образование усадочных дефектов в бандажной полке и (или) в замке лопатки; либо, при увеличении размеров прибылей или уменьшении количества отливок в форме, значительное уменьшение технологического выхода годного (ТВГ), что экономически нецелесообразно.

По результатам проведенных компьютерных экспериментов удалось определить наиболее рациональную литниковую систему для получения отливок из интерметаллидных титан-алюминиевых сплавов методом центробежного литья.

В таком варианте используется прибыль минимально необходимых размеров, при этом, чтобы прибыль качественно сработала, лопатка располагается в форме так, чтобы бандажная полка вместе с установленной на ней прибылью была приближена к оси вращения. Питатель подводится в замок лопатки и имеет коническую форму. Эти меры позволили вывести усадочные раковины из замка и бандажной полки, соответственно, в питатель и в прибыль. С целью повышения ТВГ в одном блоке размещается 16 лопаток, как показано на рис. 1. ТВГ при этом составляет 58,5 %, что почти в 3 раза больше, чем при схеме, когда в форме располагается по 4 отливки – по одной на литниковом ходе. Основные размеры блока отливок приведены на рис. 2.

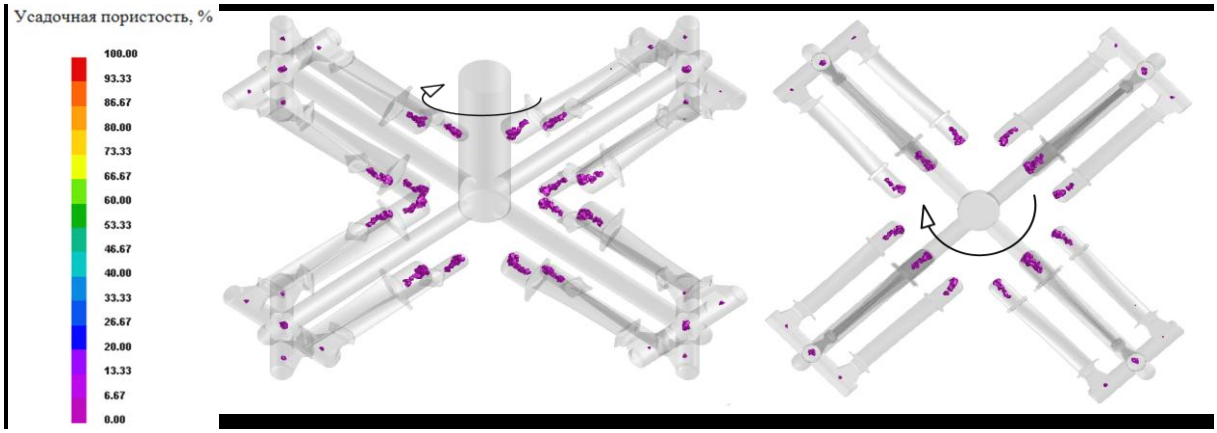


Рис. 1. Схема расположения лопаток и усадочных раковин
с обратным направлением заполнения

Как видно (см. рис. 1) при использовании данной литниковой системы тело отливок получается без усадочных раковин.

Результаты моделирования показали, что на протяжении всего периода заполнения формы температура расплава была выше температуры ликвидус (1586 ºС по данным ProCast), т.е. металл полностью, без затруднений заполняет форму.

Моделирование гидравлических процессов показало, что расплав течет в форме без завихрений, по ламинарному режиму. Заполнение происходит от дальней стенки к центру вращения всех отливок, что обеспечивает их одинаковые физико-механические свойства.

Полностью кристаллизация металла в полостях отливки, питателей, литниковых ходов и стояка формы происходит после 102 секунды моделирования, однако в стояке заливочного контейнера жидкая фаза присутствует дольше из-за его значительного объема.

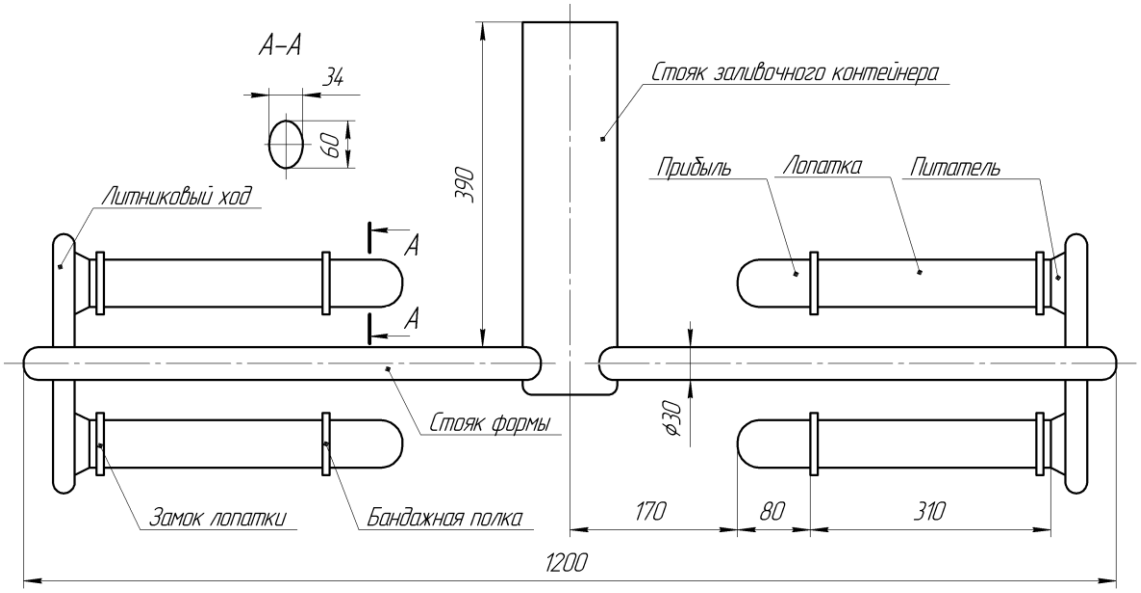


Рис. 2. Основные размеры блока отливок

Результаты моделирования также показали, что увеличение скорости вращения формы с 200 до 400 об/мин приводит к повышению скорости потока металла с 9,4 м/с до 18,7 м/с, давления металла на стенки формы с 5 до 12 bar, турбулизации потока металла. На процессы формирования усадочных дефектов увеличение скорости вращения влияния практически не оказывает.

Стоит отметить, что в реальных условиях заливки форм результаты могут несколько отличаться от полученных моделированием, так как программный комплекс ProCast не учитывает ряд свойств литейной формы и сплава (к примеру, точный состав формовочной смеси), что может незначительно изменить характер движения расплава и интенсивность теплоотвода через форму. Разработанная литниковая система более всего подходит для тонкостенных отливок типа крыльчаток, лопаток и им подобным. Для обеспечения направленной кристаллизации отливки рекомендуется располагать ее массивными узлами к оси вращения, а также обеспечить металлостатический подпор для каждой отливки в форме ее литниковой системой.

Библиографический список

1. Кулаков, Б.А. Влияние расположения отливок на параметры заполнения форм при центробежном литье / Б.А. Кулаков, А.А. Чесноков, В.К. Дубровин, А.В. Карпинский // Литейщик России. – 2014. – № 3. – С. 24–27.

К содержанию

УДК 669.053.2

СЕЛЕКТИВНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЖЕЛЕЗА ИЗ МАЛОТИТАНИСТЫХ МАГНЕТИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДОВ ВАНАДИЯ И ТИТАНА

Ю.Е. Капелюшин, В.Е. Рощин, А.В. Рощин

Экспериментально исследован процесс селективного извлечения железа из малотитанистых магнетитовых концентратов с ванадием путем твердофазного восстановления и жидкофазного разделения. Установлена роль электрохимического механизма восстановления. В процессе жидкофазного разделения ванадий и титан концентрируются в шлаковой фазе. Содержание ванадия и титана в конечном продукте становится выше, чем в исходном концентрате. Получены следующие продукты: шлак с титаном и ванадием; железо с относительно низким содержанием углерода – полупродукт на полученииe стали. Установлена особая роль подбора параметров (температуры, длительности выдержки и качества восстановителя), сильно влияющих на процессы спекания, а также на степень извлечения железа и его состав в отношении содержания в нем вредных примесей.

Ключевые слова: титаномагнетитовый концентрат, ванадий, титан, твердофазное восстановление, жидкофазное разделение.

Введение

Общие принципы переработки руд с ванадием были разработаны еще в начале 30-х годов. Наиболее перспективными являются два способа: химический и металлургический. Первоначально из сырой руды получают железованадиевый концентрат. При первом способе ванадий выщелачивают непосредственно из концентратов после их обжига со щелочными добавками. Второй способ, применяемый в настоящее время, состоит в том, что титаномагнетитовые руды с ванадием перерабатывают в доменных печах. Затем чугун с ванадием направляют на извлечение ванадия в шлак в конвертерах с последующей химической переработкой шлака [1].

Основной базой для производства ванадия в России является Качканарское месторождение ванадийсодержащих железных руд, которые помимо

ванадия содержат еще один ценный элемент – титан, извлечение которого также представляет научный и промышленный интерес. Технология переработки Качканарских титаномагнетитовых концентратов, включающая доменную плавку с последующим переводом ванадия в шлак в кислородных конвертерах, хорошо отработана. Но такой способ переработки может быть непригоден для титансодержащих руд и концентратов с более высоким содержанием Ti ввиду образования в доменной печи карбидов титана и получения гетерогенного шлака [2].

Важно также отметить, что целью доменной и конвертерной плавок является повышение концентрации V_2O_5. Однако при использовании такой схемы обогащения потери ванадия возникают еще на этапе доменного передела, где со шлаком теряются весь титан и 17–19 % ванадия. На этапе деванадации чугуна в кислородных конвертерах часть железа, а следовательно, и ванадия теряются в газовую фазу. Обогащение V_2O_5 осуществляется за счет больших энергетических затрат и потерь ценного элемента. Поэтому, достаточно остро стоит вопрос разработки комплексной технологии переработки ванадийсодержащих титаномагнетитовых руд и концентратов.

Целью данной работы является селективное извлечение железа из малотитанистых магнетитовых концентратов для увеличения содержания оксидов ванадия и титана.

Методика экспериментов

В экспериментах по селективному извлечению железа использовали Качканарский титаномагнетитовый концентрат.

Эксперименты по твердофазному восстановлению проводили в температурном интервале 900–1200 °С в печи сопротивления с графитовым нагревателем. В корундовый тигель послойно засыпали концентрат в виде частиц <1 мм и восстановитель в виде частиц энергетического угля размером примерно 5 мм. Количество восстановителя брали с избытком. Тигель, заполненный смесью, нагревали в печи Таммана со скоростью 20 °С/мин, после чего проводили его изотермическую выдержку. Охлаждение тигля происходило вместе с печью. Температуру выдержки для каждого эксперимента выбирали с шагом в 100 °С, начиная от температуры, при которой заметно протекание процессов восстановления железа и, заканчивая температурой, при которой развиваются процессы восстановления ванадия и появляются жидкие фазы. Измерение температуры проводили вольфрам-рениевой термопарой ВР5/20.

Продукты твердофазного восстановления отделяли от угля и золы при помощи магнитной сепарации. Часть магнитной фракции помещали в корундовый тигель для жидкофазного разделения на металл и шлак [3]. Шлак, полученный в ходе одного из экспериментов и исходный концентрат, после расплавления в молибденовом тигле закаливали охлаждением в воде. Исходный и закаленный концентрат, продукты твердофазного вос-

становления, продукты жидкофазного разделения и закаленный шлак заливали эпоксидной смолой в формы для изготовления микрошлифов. Химический состав определяли на микроскопе JEOL JSM 7001M.

Результаты экспериментов

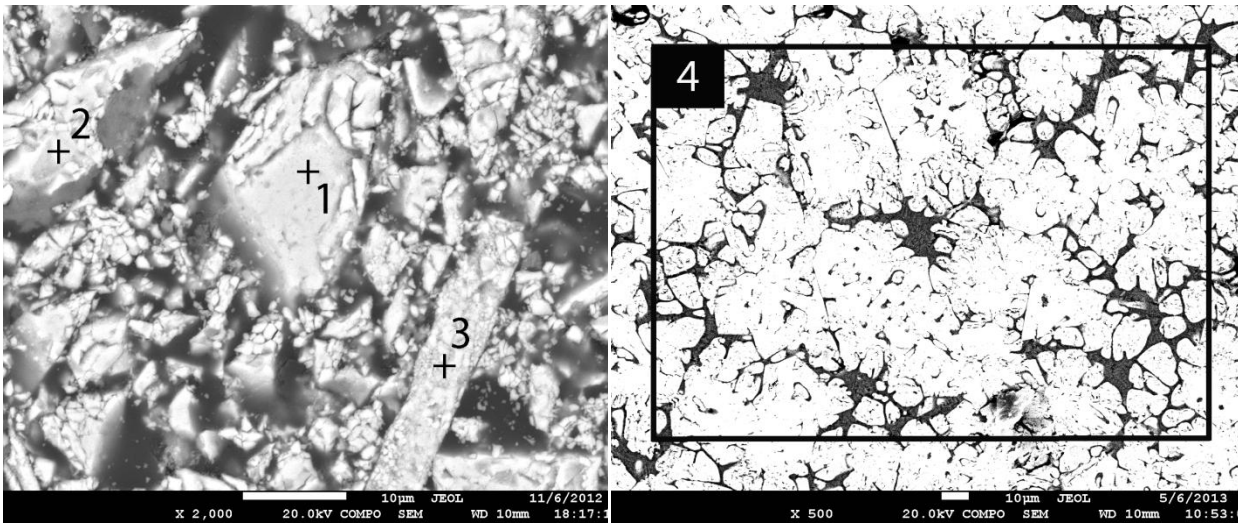
В табл.1 приведены параметры проведения экспериментов.

Таблица 1

Параметры твердофазного восстановления и жидкофазного разделения

Номер эксперимента	Твердофазное восстановление		Жидкофазное разделение			
	Температура выдержки, °С	Длительность выдержки, мин	Температура, °С	Длительность выдержки, мин	* Количество металла, масс %	Количество шлака, масс %
1	900	60	–	–	–	–
2	1000	60	1650	5	10,1	89,9
3	1100	60	1650	5	48,85	51,15
4	1200	60	1650	5	80,75	19,25
5	1100	30	1650	5	14,9	85,1
6	1000	240	1650	5	71,7	28,3
7	1100	240	1650	5	74,58	25,42

* Количество металла в тигле по отношению к шлаку (после удаления угля и золы)



а) б)

Рис. 1. Состав исходного (а) и закаленного (б) титаномагнетитового концентрата, ат. %:

Точки и области анализа	O	Mg	Al	Si	Ca	Ti	V	Fe
Исходный титаномагнетитовый концентрат (а)								
1	58,14	0,57	0,69	0,06	0,05	0,80	0,29	39,40
2	56,89	1,87	1,26	1,02	0,23	0,98	0,25	37,49
3	60,70	2,98	1,78	3,00	0,73	0,93	0,18	29,69
Закаленный титаномагнетитовый концентрат (б)								
4	56,65	2,41	2,83	3,46	0,94	1,15	0,31	32,25

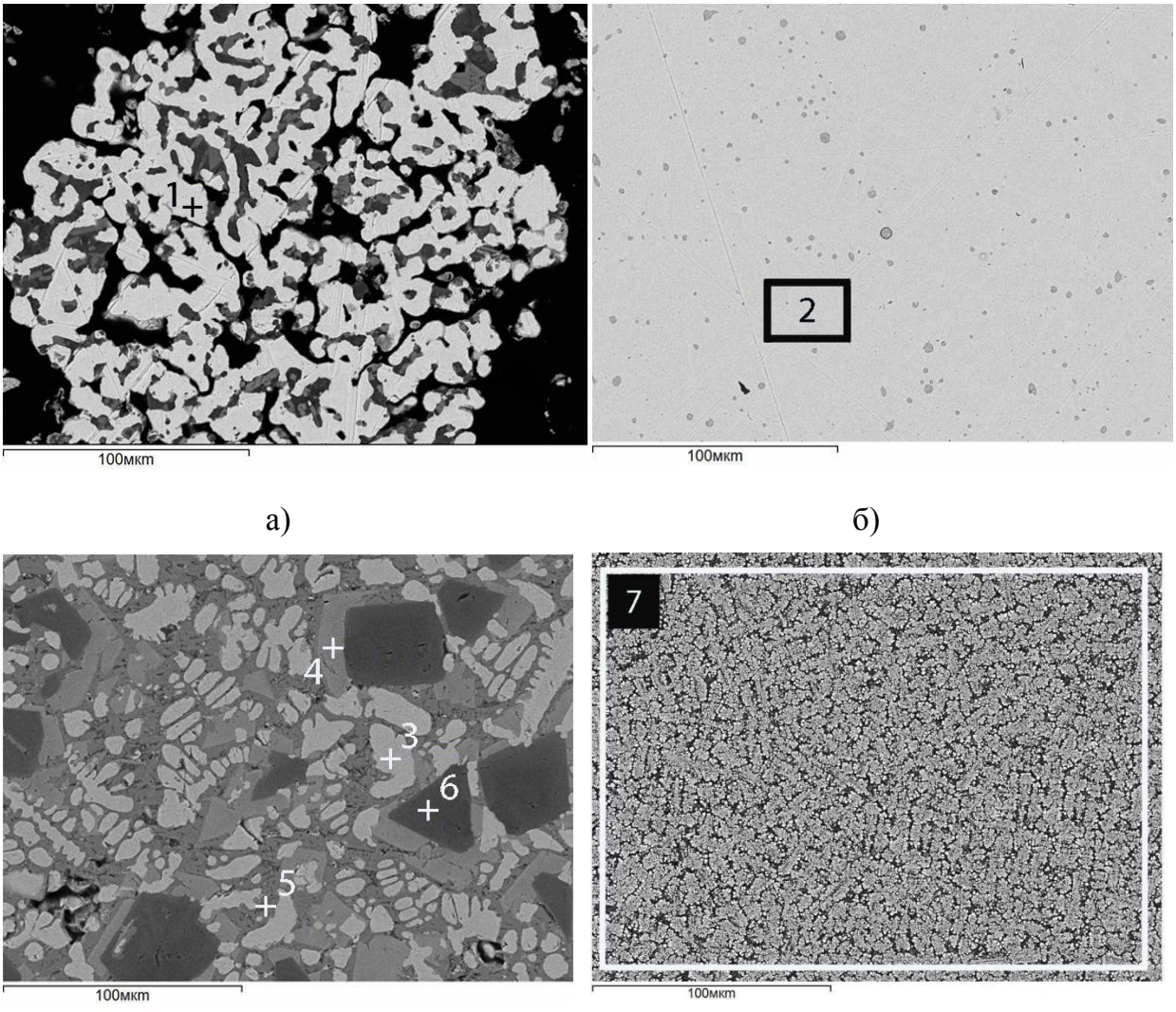
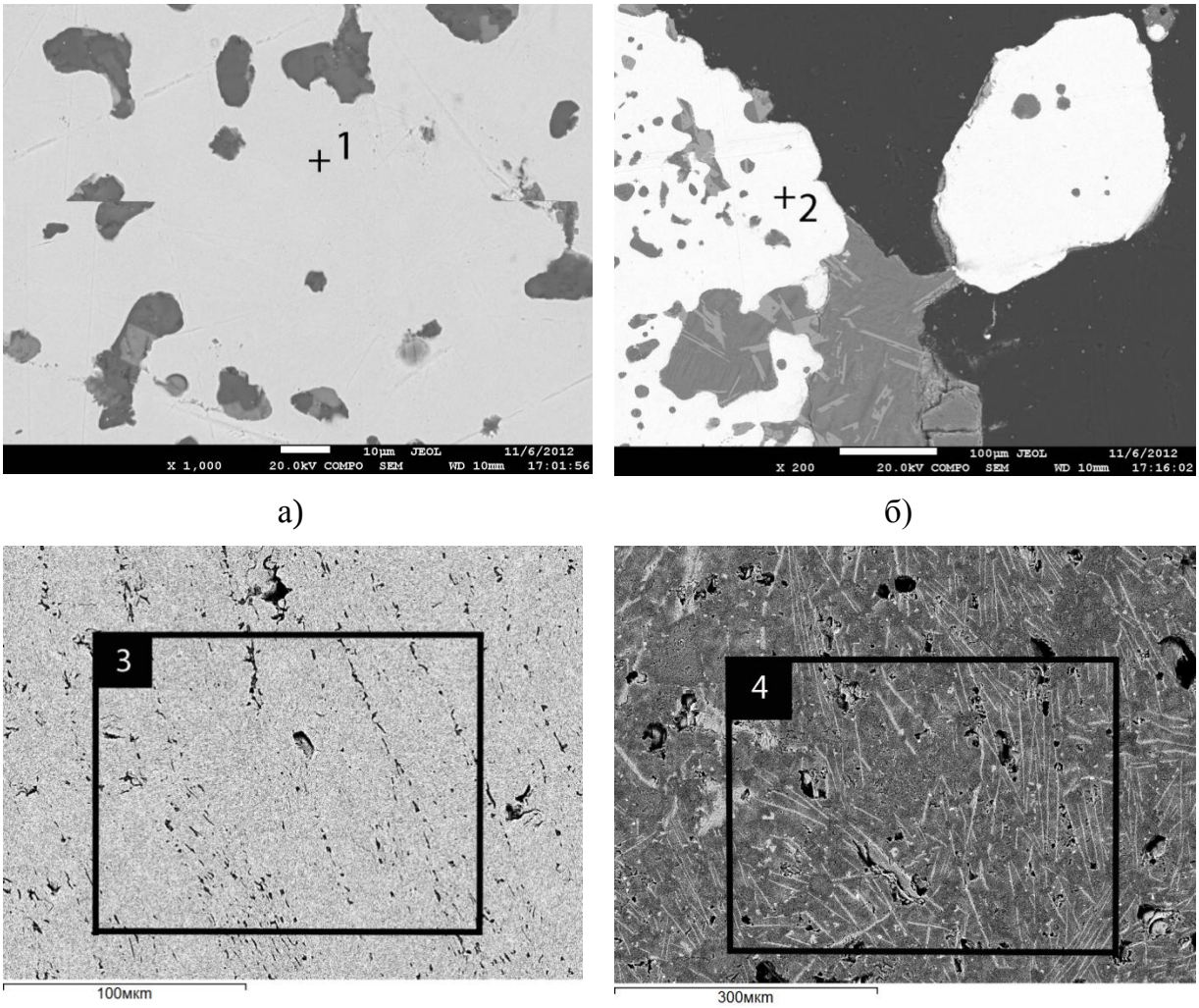


Рис. 2. Продукты твердофазного восстановления при 1100 °С
в течение 60 мин (а), жидкофазного разделения (б, в)
и закаленный шлак (г)

Точки и области анализа	O	Mg	Al	Si	Ca	Ti	V	Fe
Твердофазное восстановление (а) – ат. %:								
1	–	–	–	0,14	0,18	0,26	0,11	99,31
Жидкофазное разделение								
Металлическая фаза (б) **– ат. %:**								
2	–	–	0,21	0,24	–	–	–	99,55
Шлаковая фаза (в) **– ат, %:**								
3	55,25	1,67	0,90	0,13	0,03	1,74	0,35	39,93
4	59,29	2,81	7,18	0,16	0,01	7,62	0,66	22,28
5	59,06	1,41	4,36	9,75	4,35	1,45	0,10	19,51
6	56,96	7,56	23,30	0,06	–	0,99	1,47	9,66
Закаленный шлак (г) – ат, %:								
7	57,71	3,85	6,90	5,88	1,63	2,23	0,51	21,30



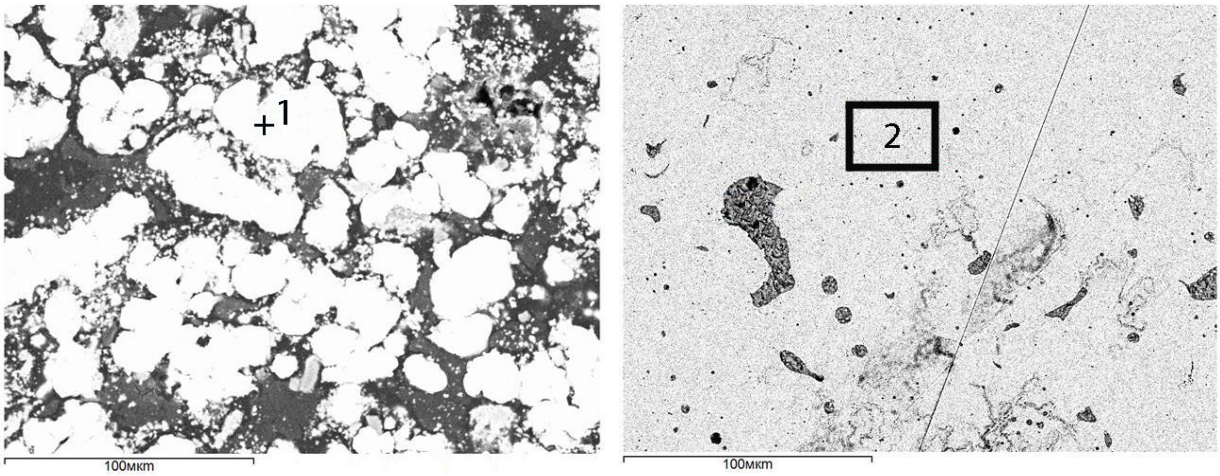
а) б)

в) г)

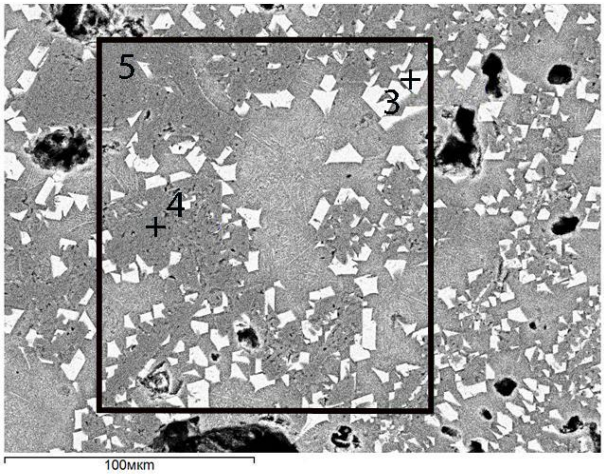
Рис. 3. Твердофазное восстановление при 1200 °С
в течение 60 мин (а, б), жидкофазное разделение (в, г)

Точки анализа	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Ti	V	Fe
Твердофазное восстановление (а) – ат. %:									
1	–	0,26	–	0,58	–	0,07	0,05	0,55	98,49
2	–	–	0,13	0,63	–	0,03	0,05	0,51	98,65
Жидкофазное разделение									
Металлическая фаза (б) – ат, %:									
3	–	–	–	–	0,91	–	–	0,06	99,03
Шлаковая фаза (в) – ат, %:									
4	64,7	6,1	7,5	10,4	0,1	2,9	4,1	0,7	3,6

После восстановления при 1200 °С произошло заметное спекание концентрата, что потребовало некоторой физической нагрузки для измельчения перед последующей магнитной сепарацией от угля и золы.



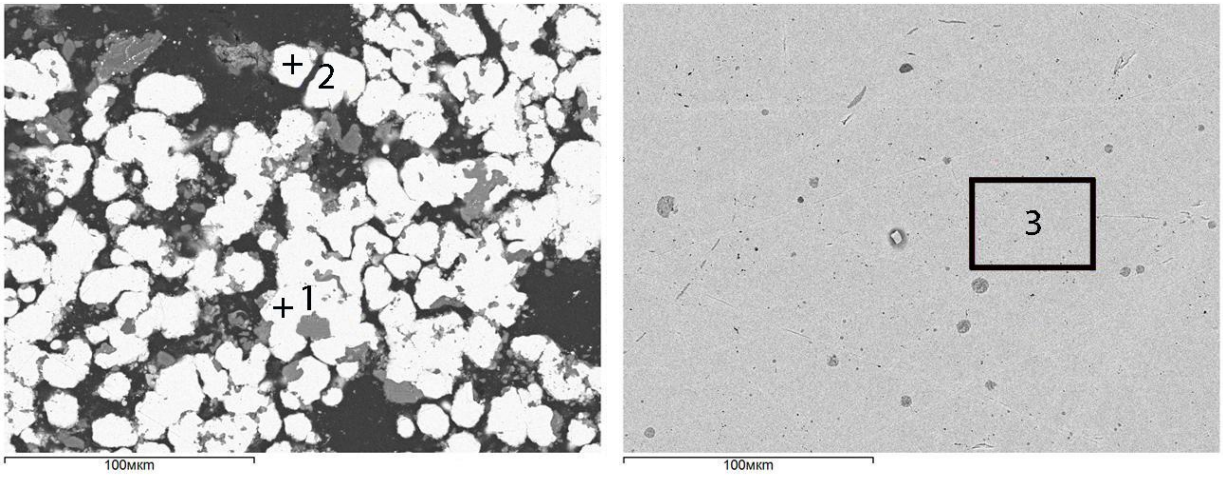
а) б)



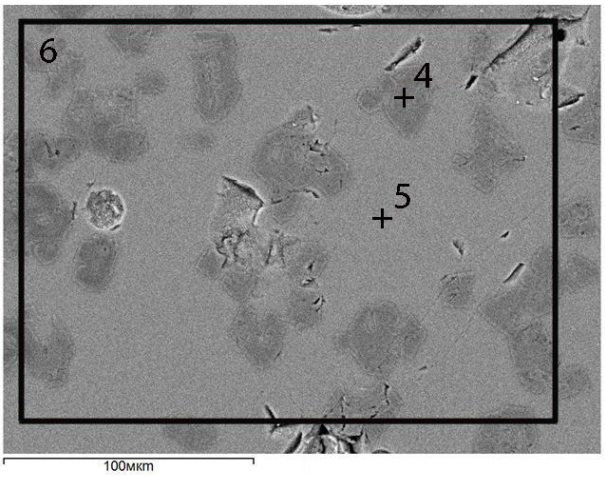
в)

Рис. 4. Твердофазное восстановление при 1000 °С
в течение 240 мин (а), жидкофазное разделение (б, в)

Точки и области анализа	O	Mg	Al	Si	Ca	Ti	V	Fe
Твердофазное восстановление (а) – ат. %:								
1	–	2,37	2,49	1,06	0,22	0,84	0,17	92,85
Жидкофазное разделение								
Металлическая фаза (б) – ат, %:								
2	–	0,12	–	0,22	0,05	–	0,05	99,56
Шлаковая фаза (в) – ат, %:								
3	59,6	7,2	4,6	0,3	0,1	10,2	1,2	16,8
4	56,6	10	22,1	1,2	0,4	1,4	2,9	5,4
5	60,5	7	10,5	8,5	2,2	3,6	1	6,7



а) б)



в)

Рис. 5. Твердофазное восстановление при 1100 °С
в течение 240 мин (а), жидкофазное разделение (б, в)

Точки и области анализа	O	Mg	Al	Si	Ca	Ti	V	Fe
Твердофазное восстановление (а) – ат. %:								
1	–	–	–	–	–	0,16	0,28	99,56
2	–	–	–	–	–	0,17	0,26	99,57
Жидкофазное разделение								
Металлическая фаза (б) – ат, %:								
3	–	–	–	–	–	–	0,05	99,05
Шлаковая фаза (в) – ат, %:								
4	55,7	9,6	21,7	1,9	0,4	1,7	3,4	5,6
5	62,8	5,2	6,6	12,3	2,6	4,2	0,4	5,9
6	60,9	6,3	10	10,2	2,2	3,6	1	5,8

Все полученные образцы металла легко деформируются и поддаются резке, что является свидетельством получения стали или безуглеродистого железа.

Обсуждение результатов

Качканарский титаномагнетитовый концентрат является продуктом обогащения, содержащим более 60 масс. % железа, которое достаточно легко восстанавливается при относительно низких температурах. Уже при 900 $^{\circ}$C становится заметным развитие процессов восстановления железа. Восстановление железа может протекать газообразным восстановителем – монооксидом углерода [4], ввиду того, что атмосфера герметизированной печи состоит из газов CO/CO_2, нагреватель изготовлен из графита, а концентрат находится в виде порошка. Но стоит отметить, что все протекающие здесь процессы происходят в твердом состоянии. Существуют различные модели восстановительного механизма, почти все из которых описывают лишь внешние процессы массопереноса и доставки реагентов в зону реакции. Модель твердофазного электрохимического механизма описывает процессы и превращения, происходящие внутри оксидов. В основе модели лежит то, что сутью реакции восстановления металлов углеродом

$$MeO + C = Me + CO, \quad (1)$$

является не процесс отнятия кислорода, а процесс возвращения металлу недостающих электронов:

$$Me^{2+} + 2e = Me^{0}, \quad (2)$$

из которого следует и электрохимическая природа процесса и допустимость пространственного разделения реакций восстановления металла и окисления восстановителя. Главным условием для реализации восстановления является появление «лишних» электронов и возвращение их катионам металлов. В данном случае источником недостающих электронов является твердый углерод. Более подробное описание модели электрохимического механизма восстановления металлов из оксидов отражено в работах других авторов [5, 6, 7].

Температура и длительность выдержки оказывают существенное влияние на процесс восстановления металлов. Влияние длительности выдержки наиболее заметно при восстановлении железа. В результате восстановления при 1100 °С в течение 30 мин после жидкофазного разделения образовалось 14,9 % металла и 85,1 % шлака (без учета восстановителя и CO). При увеличении длительности выдержки до 240 мин, соотношение между металлом и шлаком в тигле составило 74,58 и 25,42 % соответственно.

На процесс восстановления ванадия влияние температуры существенно заметнее. После восстановления при 1100 °С в течение 60 мин металл содержит около 0,1 ат.% ванадия, а при температуре 1200 °С и такой же длительности выдержки содержание ванадия увеличивается до 0,51–0,55 ат. %. При увеличении длительности выдержки при 1100 °С с 60 до 240 мин содержание ванадия увеличивается с 0,1 до 0,26–0,28 ат. %.

Несмотря на распределение ванадия между металлической и оксидной фазами после твердофазного восстановления (при 1200 °С) в процессе последующего жидкофазного разделения ванадий вновь переходит в шлаковую фазу. В работе авторов [8] отмечается, что ванадий на 90 % переходит в чугун при содержании FeO в шлаке до 0,5–1,5 %. В наших экспериментах содержание FeO в шлаке превышает 1,5 %, а сам металл (при качественном проведении магнитной сепарации от восстановителя) представляет собой железо или сталь, а не чугун. По всей видимости, обратный переход ванадия в шлак в эксперименте при 1200 °С объясняется меньшим сродством атома ванадия к электрону по сравнению с атомом железа, а также отсутствием источника недостающих электронов, которым являются углерод чугуна или восстановитель.

После восстановления при 1200 °С металл не содержит серы, но после жидкофазного разделения содержание серы достигает 0,9 ат. %. Это является свидетельством некачественного проведения магнитной сепарации от восстановителя (энергетического угля), что, в свою очередь, вызвано спеканием концентрата. В данном случае, необходимо либо проводить более тщательное измельчение концентрата после восстановления перед магнитной сепарацией, либо понижать температуру восстановления с увеличением длительности выдержки (когда слабо развиты процессы спекания), либо использовать в качестве восстановителя графит или другие марки углей с низким содержанием серы.

Во всех экспериментах, в зависимости от степени извлечения железа, содержание ванадия увеличивается с 0,3 ат.% (в исходном концентрате) до 0,7–1 ат. % (в конечном оксидном продукте), а содержание титана с 1,2 до 3,6–4,1 ат. % соответственно. При этом не происходит заметного перехода ванадия и титана в металл.

Если принять, что обогащение произойдет в 2,5 раза при селективном извлечении железа из концентратов, содержащих 53–56 % Fe, 12–15 % Ti и

1,4–1,9 % V (например, титаномагнетитов комплекса «Busheld» – ЮАР, состав приведен в [2]), то полученный продукт будет содержать 30–37,5 % Ti и 3,5–4,8 % V (если в пересчете на V_2O_5, то 6,2–8,5 %).

Выводы

1. Электрохимическим методом в титаномагнетитовых концентратах возможно селективное восстановление железа без плавления.

2. Для увеличения концентрации ванадия и титана в оксидной фазе целесообразно производить твердофазное восстановление железа и жидкофазное разделение металлической и оксидной фаз.

3. В зависимости от степени восстановления железа содержание ванадия и титана в шлаках может увеличиваться в 2–3 раза при минимальных потерях с металлом.

Библиографический список

1. Гасик, М.И. Теория и технология производства ферросплавов: Учебник для вузов / М.И. Гасик, Н.П. Лякишев, Б.И. Емлин. – М.: Изд-во Металлургия, 1988.

2. Рысс, М.А. Производство ферросплавов / М.А. Рысс // Металлургия. – 1985. – С. 294–307.

3. Рощин, А.В. Селективное восстановление и пирометаллургическое разделение металлов титаномагнетитовых руд / А.В. Рощин, В.П. Грибанов, А.В. Асанов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2006. – Вып. 2. – № 2 (18). – С. 20–24.

4. Богданди, Л. Восстановление железных руд / Л. Богданди, Г.Ю. Энгель; Пер. с нем. – М.: Изд-во Металлургия, 1971.

5. Рощин, А.В. Физические аспекты твердофазного восстановления металлов / А.В. Рощин, В.Е. Рощин // Электрометаллургия. – 2009. – № 1. – С. 13–22.

6. Рощин, А.В. Электрическая проводимость и кристаллическая разупорядоченность в оксидах при восстановлении и окислении металлов / А.В. Рощин, В.Е. Рощин // Металлы. – 2003. – № 2. – С. 3–9.

7. Рощин, А.В. Диффузия анионов и катионов в кристаллических решетках оксидов при восстановлении и окислении металлов / А.В. Рощин, В.Е. Рощин // Металлы. – 2003. – № 1. – С. 3–8.

8. Кобелев, В.А. Сравнительный анализ процессов пирометаллургического обогащения и комплексной переработки ильменитовых концентратов различных месторождений / В.А. Кобелев, Ю.А. Дерябин. – Екатеринбур: УрО РАН.

К содержанию

УДК 669.017 + 537.86 + 669-154:534-8

ИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА РАСПЛАВОВ: ОТ ПРАКТИКИ К ТЕОРИИ

Н.А. Шабурова

Приводится теоретическое обоснование возникновения в расплавах металлов ультразвуковых колебаний при воздействии электромагнитными импульсами большой мощности.

Ключевые слова: электромагнитные импульсы, ультразвуковые колебания, расплавы, алюминиевые сплавы, магниевые сплавы, литой металл, структура, механические свойства.

В проводимых экспериментах по обработке расплавов мощными электромагнитными импульсами использовался генератор типа GNP со следующими характеристиками импульса: амплитуда 10 кВ, длительность 1 нс, передний фронт 0,1 нс, частота повторения 1 кГц. Потребляемая мощность генератора от сети менее 100 Вт.

Известно, что распространение электромагнитных волн в расплавах металлов возможно только на глубину, не пресыщающую толщину скин-слоя. Следовательно, если сами импульсы на расстоянии скин-слоя затухают, то их энергия накапливается и может преобразовываться в другие виды энергии.

Проведенные расчеты [1] показывают, что тепловой эффект от импульсного воздействия невелик. В тоже время в структуре и свойствах литого металла наблюдаются заметные изменения. Сравнительный анализ характеристик металла после различных видов внешнего воздействия на расплав [2] показал сходство эффектов, производимых электромагнитной импульсной обработкой и ультразвуковой обработкой.

Таким образом, наиболее вероятным механизмом преобразования импульсной энергии является возникновение в расплаве ультразвуковых колебаний. Покажем это расчетом.

В подавляющем большинстве работ по УЗ обработке алюминиевых, магниевых сплавов и сталей показывается, что форма выделений первичной α-фазы меняется с дендритной на розеточную и округлую. В работе [3] для 0,35 кг сплава Al-5 масс.% Si показано, что ультразвуковая обработка металла мощность 4 кВт, на стадии кристаллизации способствует измельчению макрозерна металла с 1600 мкм до 100 мкм. Морфология зерен α-фазы меняется на более округлую. При этом частицы эвтектического кремния приобретают такую же грубую форму, как и в случае электромагнитной обработки. Эти авторы показали огрубление эвтектики и в сплавах Al–11 масс. %Si и Al–17 масс. %Si. Аналогично в работе [4] УЗ воздействие при температурах близким к кристаллизационным мощностью 1,5 кВт и частотой 20 кГц, приводит к огрублению эвтектического кремния.

В то же время, результаты работы по УЗ обработке мощностью 1,2КВт 0,4 кг сплава AlSi9Cu [5] свидетельствуют об уменьшении межпластинчатого расстоянии и измельчении частиц эвтектического кремния.

Противоречивые данные по изменению морфологии частиц эвтектического кремния этих и других авторов можно объяснить выбором температуры воздействия. При воздействии на ранних стадиях кристаллизации в результате кавитационных явлений происходит измельчение частиц кремния. При более низких температурах загустевший расплав препятствует распространению кавитационных потоков, мешая фрагментации фаз. Вводимая же энергия способствует подогреву и изменяет условия роста эвтектики, способствуя ее огрублению.

Упоминание о повышении содержания основных легирующих элементов в первичной α-фазе при УЗ воздействии есть в работе [6].

Повышение прочностных свойств и пластичности материала при УЗ воздействии мощностью 600 Вт и частотой 19,5 кГц, несмотря на сохранение грубой игольчатой эвтектики отмечено в работе [7]. В упомянутых выше работах [3–6] одновременное повышение предела прочности и относительного удлинения наблюдается на фоне измельчения зерна и эвтектики.

Поскольку наблюдаемые при импульсной обработке расплавов эффекты схожи с теми, что наблюдаются при ультразвуковой обработке, можно, по всей видимости, говорить, что расплав также испытывает давление сил акустического поля, создаваемого генератором электромагнитных импульсов.

Имеются работы [8–10], в которых показано, что в расплавах металлов при воздействии электромагнитных колебаний возникают ультразвуковые колебания. Расчет, проведенный для индукционной плавки алюминия [11], показывает, что при плавке алюминия в тигле диаметром около 300 мм с постоянным полем $5 \cdot 10^4$ А/м колебательное давление на расплав составляет 2 атм. Предполагается, что такого давления достаточно для получения полезных металлургических эффектов.

В связи с особенностью конструкции используемой установки для обработки расплавов электромагнитными импульсами – фактически возбуждение механических колебаний происходит контактным способом. Из-за особенности расположения излучателя ток протекает от излучателя по поверхности расплава и, возможно, эффективность возбуждаемых колебаний намного больше, чем в приведенных выше работах.

Для теоретического обоснования приведенной гипотезы проведем сравнительный расчет интенсивности колебаний. В некоторых работах по воздействию УЗ на расплавы указаны параметры, которые позволяют рассчитать возникающее механическое давление.

Звуковое давление и смещение частиц в металлах, как для плоских, так и для сферических волн связаны между собой соотношением [8]:

$$p=\rho c\omega\xi=z\omega\xi, \qquad (1)$$

где произведение плотности металла и скорости звука $\rho c=z$ – акустический импеданс (сопротивление); ω – круговая частота ($\omega=2\pi f$); ξ – смещение частиц от положения равновесия.

В работе [12] для излучателя в алюминиевом сплаве приведено: f=21 кГц, ξ=25 мкм, мощность генератора 1 кВт, интенсивность колебаний 100 Вт/см^2, масса обрабатываемого металла не указана. Скорость продольной волны в твердом алюминии 6260 м/с [13]. Скорость колебаний в расплаве может составить 70 % от скорости в твердом металле [13]. Плотность расплавленного алюминия 2390 кг/м^3 [14]. Расчет по формуле (1) дает величину давления на излучателе 29 МПа или 290 атм.

В работе [15] для излучателя в алюминиевом сплаве приведено: f=20 кГц, ξ=4 мкм, мощность генератора 150 Вт, масса обрабатываемого металла 200 гр. Расчет звукового давления дает величину 4,6 МПа (46 атм).

В работе [7] для излучателя в алюминиевом сплаве приведено f=19,5 кГц, ξ=30 мкм, мощность генератора 600 Вт, интенсивность колебаний 109 Вт/см^2, масса обрабатываемого металла 210 гр. Расчет звукового давления дает величину 34 МПа (340 атм).

В работе [11] отмечается, что для создания положительных металлургических эффектов электродинамическое давление в расплаве должно составлять 1–4 атм или $1–4\cdot10^5$ Па.

Для определения колебательного давления от воздействия электромагнитных импульсов можно воспользоваться формулой для расчета волнового давления на поверхности:

$$p=E(1+R)/c, \qquad (2)$$

где p – волновое давление, Н/м^2; E – мощность падающей волны, отнесенная к единице площади и единице времени, Вт/см^2; R – коэффициент отражения (R=0 при полном поглощении, R=1 при полном отражении); c – скорость распространения волны, м/с. Скорость распространения волны в расплавленных металлах составляет порядка $4\cdot10^3$ м/с [13].

При импульсном возбуждении колебаний падающую импульсную мощность можно приблизительно рассчитать по формуле:

$$P=\frac{U^2}{r}, \qquad (3)$$

где r – волновое сопротивление кабеля, равное 50 Ом; U – напряжение генератора, равное 10 кВ. Рассчитав по формуле (3) значение падающей импульсной мощности, получим $P=2\cdot10^6$ Вт. Площадь свободной поверхности металла в используемом тигле диаметром 80 мм равна $5\cdot10^{-3}$ м^2. Следовательно, импульсная мощность, приходящаяся на единицу площади равна $4\cdot10^8$ Вт/м^2.

Подставив полученное значение импульсной мощности в уравнение (1), получаем $P_{имп}$=1,3·10^5 Па (или 1,3 атм.). Это значение близко по величине к приведенным в работах [11] и [15] значениям используемого давления.

Таким образом, при импульсной электромагнитной обработке расплавов в них возникают процессы и явления, аналогичные тем, что происходят при ультразвуковой обработке: кавитация и акустические течения. Что и приводит к изменению структуры и механических свойств литого металла.

Библиографический список

1. Шабурова, Н.А. Обработка расплавов металлов и сплавов наносекундными электромагнитными импульсами: монография / Н.А. Шабурова; под ред В.В. Крымского. – Челябинск: изд-во ЧелЦНТИ, 2011. –94 с.

2. Shaburova, N.A. Changes in metal properties after thermal and electric impulse processing / N.A. Shaburova // Material science and engineering V. 81, 2015. – 012016.

3. L. Zhang, D.G. Eskin, A. Miroux and L. Katgerman. Light Metals 2012 Edited by: Carlos E. Suarez TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2012. Pp. 999–1004.

4. X. Jian, H. Xu , T.T. Meek, Q. Han. Materials Letters 59 (2005). Pp. 190–193.

5. H. Puga, S. Costa, J. Barbosa, S. Ribeiro, M. Prokic. Journal of Materials Processing Technology 211 (2011). Pp. 1729–1735.

6. Li Xin-tao, Li Ting-ju, Li Xi-meng, Jin Jun-ze. Ultrasonics Sonochemistry. 13 (2006). Pp. 121–125.

7. W. Khalifa, Y. Tsunekawa, M. Okumiya. Journal of Materials Processing Technology 210 (2010). Pp. 2178–2187.

8. Крауткремер, Й. Ультразвуковой контроль материалов: справ. изд. / Й. Крауткремер, Г. Крауткремер. – М.: Металлургия, 1991. – 752 с.

9. Pohl R.W. Einfűhrung in die Physik.: 3Bde. Berlin: Springer, 1962. 64 p.

10. Grubin H.L. IEEE. Trans SU. – 1970. – № 17. – Pp. 2207–432.

11. Аркин, М.Я. [и др.] // Акустический журнал. – 1968. – Т. XIV. – С. 344–350.

12. Yanfeng Han, Ke Li, Jun Wang, Da Shu, Baode Sun. Materials Science and Engineering A 405 (2005) 306–312.

13. Таблицы физических величин: справочник / под. ред. И.К. Кикоена. – М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.

14. Эмели, Дж. Элементы / Дж. Эмели. – М.: Мир, 1993. – 256 с.

15. S.R. Yu, H.K. Feng, Y.L. Li, L.Y. Gong. Journal of Alloys and Compounds 484 (2009) 360–364.

К содержанию

УДК 621.771.2 + 669.295

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРУЕМОСТИ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО ТИТАНА

Е.А. Горячев, В.И. Крайнов

По результатам проведенных исследований механических свойств холоднодеформированного титана при однократном и дробном нагружениях установлено, что с увеличением степени деформации до ε=20 % условный предел текучести растет, затем рост прекращается. При этом временное сопротивление и твердость по Бринелю изменяются с противоположной закономерностью. Отмечено возрастание всех механических характеристик при дробном нагружении.

Ключевые слова: условный предел текучести, временное сопротивление, твердость по Бринелю, титан ВТ1-0.

Развитие современных отраслей промышленности предъявляет все более высокие требования к качеству материалов и эксплуатационным свойствам изделий. Важными, с этой точки зрения является разработка новых подходов к созданию перспективных материалов, обеспечивающих высокий уровень свойств, например, конструкционной прочности, ударной вязкости и усталостных характеристик. В этой связи в последние годы большое внимание исследователей вызывают наноструктурные материалы, обладающие уникальной структурой и свойствами [1].

Среди методов получения наноструктурных материалов выделяются методы интенсивной пластической деформации (ИПД), позволяющие достичь сильного измельчения структуры за счет больших деформаций под высоким приложенным давлением. Например, метод равноканального углового прессования (РКУП) [1].

Холодная прокатка является распространенным методом упрочнения различных материалов и сплавов.

Для исследования режимов холодной деформации наноструктурного титана перспективным является прокатка на станах с четырехсторонним обжатием, конструкции ЧПИ.

Прокатка в калибрах, образованных четырьмя валками, показала возможность осуществления холодной упрочняющей обработки с суммарной степенью деформации до ε=90 %. Получены образцы квадратным сечением 14 мм с удовлетворительным качеством поверхности [2]. Однако для получения более стабильных условий деформирования необходимо провести исследования сопротивления деформации УМЗ титана.

С этой целью проведены пластометрические исследования на автоматизированном пластометре конструкции ЧПИ ЮУрГУ по методике разрабо-

танной на кафедре МиТОМД титанового сплава ВТ1-0. Химический состав сплава в % (по массе): ≤ 0,3Al; ≤ 0,05 C; ≤ 0,2 Fe; ≤ 0,08 Si; ≤ 0,1 (Ni+Cu); ≤ 0,08 Ni; ≤ 0,1O_2; ≤ 0,04 N_2; ≤ 0,008 H_2; остальное Ti.

После пластометрических исследований образцов были проведены испытания по определению временного сопротивления и твердости по Бринелю. Результаты исследования механических свойств холоднодеформированного титана при однократном нагружении приведены в табл. 1.

При увеличении степени деформации при однократном нагружении до 20 % условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$) интенсивно растет с 605,6 МПа (ε=2,8 %) до 808,2 МПа (ε=19 %), при дальнейшем увеличении степени деформации рост $\sigma_{0,2}$ приостанавливается.

Таблица 1

Результаты исследования механических свойств холоднодеформированного титана при однократном нагружении

№ п.п.	Деформация, ε, %	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Временное сопротивление, $\sigma_в$, МПа	Твердость, НВ
1	2,8	605 ,6	693,6	204
2	9,8	696,8	717,4	211
3	9,9	690,1	785,4	231
4	10,2	669,7	697,0	205
5	14,2	793,5	714,0	210
6	17,4	729,4	707,2	208
7	19,0	808,2	731,0	215
8	19,4	801,5	758,2	223
9	20,1	796,8	748,0	220
10	21,1	775,4	737,8	217
11	41,1	800,9	799,0	235
12	50,4	792,2	802,4	236
13	58,8	801,6	829,6	244
14	59,5	821,7	897,6	264

Временное сопротивление ($\sigma_в$) в случае однократного нагружения до 20 % существенно не меняется, при дальнейшем нагружении $\sigma_в$ возрастает с 748,8 МПа при ε=20,1 % до 897,6 МПа при ε=59,5 %. По аналогичной закономерности изменяется твердость по Бринелю.

Были проведены исследования УМЗ титана ВТ1-0 при дробном нагружении (табл. 2).

Как видно из табл.2 дробность деформации повышает предел текучести при всех степенях нагружения. Повышение $\sigma_в$ и твердости свидетельствует об измельчении зерна. Временное сопротивление при дробном деформировании значительно растет при ε>50 %. Так, если при ε=50,4 % σ=802,4 МПа при однократном нагружении, то при шестикратном нагружении до 52,9 % временное сопротивление достигает 992,8МПа.

Таблица 2

Влияние дробности нагружения на механические свойства холоднодеформированного титана

№ п.п.	Деформация, ε, %	Количество ударов	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Временное сопротивление, $\sigma_в$, МПа	Твердость, НВ
1	10,0	1	685,5	733,3	216
2	10,0	2	708,8	720,8	212
3	19,9	1	795,5	743,8	219
4	20,1	4	804,4	744,6	219
5	50,4	1	792,2	802,4	236
6	52,9	6	833,4	998,8	292
7	56,6	1	805,2	843,2	248
8	55,8	3	880,1	867,0	255

Твердость по Бринелю при дробном нагружении изменяется аналогично временному сопротивлению, при одинаковой конечной степени деформации ε=50 % НВ возрастает с 236 при однократном нагружении до 292 при дробном нагружении. Т.е. можно говорить об изменении зерна.

Исследование пластичности титана ВТ1-0 при дробном нагружении показало, что с увеличением числа ступеней нагружения пластичность титана возрастает. Если при однократном нагружении макротрещины появляются при ε=48,6 %, то при пятикратном нагружении разрушение наблюдается при ε=78,7 %.

Было исследовано влияние отпуска при многократном нагружении на отдельных стадиях нагружения, с целью сохранности величины зерна и его влияние на механические характеристики титана ВТ1-0. Эксперименты показали отсутствие значительного влияния отпуска на промежуточных ступенях нагружения на временное сопротивление и твердость титана.

Библиографический список

1. Валиев, Р.З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией / Р.З. Валиев, И.В. Александров. – М.: Логос, 2000. – 272 с.

2. Горячев, Е.А. Холодная прокатка наноструктурного титана / Е.А. Горячев, А.И. Жариков, В.С. Кропачев // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: межрегиональный сборник научных трудов. – Магнитогорск: МГТУ, 2002. – С. 29–31.

К содержанию

УДК 621.771.01

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА НА БАЗЕ ТРЕНАЖЕРОВ-ИМИТАТОРОВ ПРОЦЕССОВ ПРОКАТКИ

Ф.С. Дубинский, М.А. Соседкова, П.А. Мальцев

Одним из перспективных направлений в области обучения и контроля знаний технологического персонала металлургических предприятий является использование тренажеров. На базе авторских комплексной многоуровневой математической модели процессов и системы автоматизированного проектирования технологий сортовой прокатки создан учебно-исследовательский тренажер-имитатор «Сортовая прокатка», включающий в себя тренажер технолога, тренажер оператора, тренажер вальцовщика, а также теоретические и технологические модули и сервис. Тренажер предназначен для изучения основ технологии производства сортового проката; ознакомления с конструкциями и характеристиками основного технологического оборудования прокатных станов; приобретения навыков проектирования технологии прокатки сортовых профилей; ознакомления с процессом управления прокатным станом и непосредственного управления моделью стана; моделирования и отработки нештатных ситуаций; контроля знаний в области технологии и оборудования прокатного производства. Тренажер может быть использован для обучения основам прокатного производства, методам и приемам подготовки, контроля и управления технологическими процессами прокатки на промышленных предприятиях, а также в учебных заведениях высшего и специального образования.

Ключевые слова: тренажер-имитатор, сортовая прокатка, моделирование, автоматизированное проектирование, технолог прокатного производства, вальцовщик, оператор прокатного стана, управление, тренинг.

В период интенсивного развития рыночных отношений актуальным является формирование рациональных энерго- и ресурсосберегающих путей развития технологий обработки металлов давлением. Появление сложнейших высокотехнологичных автоматизированных технологических процессов предъявляет повышенные требования к качеству подготовки персонала. Одним из перспективных направлений в этой области является использование тренажеров-имитаторов для обучения и контроля знаний технологического персонала.

Тренажер-имитатор процессов прокатки разработан на основе авторской комплексной многоуровневой математической модели, разработанной на кафедре МиТОМД ЮУрГУ. Комплексная модель построена для ис-

пользования различных теоретических методов (классические модели, метод конечных элементов, нейронные сети и др.) и пакетов экспериментальных данных.

Предпосылкой для построения тренажеров является разработанная на кафедре система автоматизированного проектирования технологий сортовой прокатки «Калибр», которая внедрена на ряде промышленных предприятий (ОАО «Челябметкомбинат», ОАО «Корпорация «ВСМПО-Ависма», ОАО «МЗ «Камасталь», ОАО «Русская сталь» и др.).

Учебно-исследовательский тренажер-имитатор предназначен для изучения и освоения технологии и оборудования процессов прокатки, для получения опыта и навыков управления ими, эмулировать возможные аварийные ситуации и поломки, вызванные нарушением технологического процесса, ошибками операторов или обслуживающего персонала, проводить сравнение практических и теоретических результатов. Специализированное программное обеспечение должно обеспечивать возможность контроля органов управления процессом, диагностику и фиксирование проблем в его работе, обучении безопасным приемам работы, имитацию исследуемых процессов, исследование и задание технологических режимов и параметров процесса исследование и задание технологических режимов и параметров процесса. Наличие системы тестирования знаний должно обеспечивать оперативный и эффективный контроль знаний, умений и навыков.

Учебно-исследовательский тренажер-имитатор «Сортовая прокатка», созданный на кафедре «Машины и технологии обработки металлов давлением», позволяет

– изучать основы технологии производства сортового проката;

– знакомить с конструкциями и характеристиками основного технологического оборудования прокатных станов;

– приобретать навыки проектирования технологии прокатки сортовых профилей;

– знакомить с процессом управления прокатным станом и непосредственным управлением моделью стана;

– моделировать нештатные ситуации;

– контролировать знания в области технологии и оборудования производства проката.

Структура учебно-исследовательского тренажера-имитатора «Сортовая прокатка» представлена на рисунке 1.

Модуль «Теоретические и технологические основы» представляет собой основные положения сортовой прокатки с текстовым, иллюстративным и анимационным материалом. Он может использоваться как для самостоятельного обучения, так и в качестве презентации на лекционных и практических занятиях. Предусмотрена возможность контроля знаний.

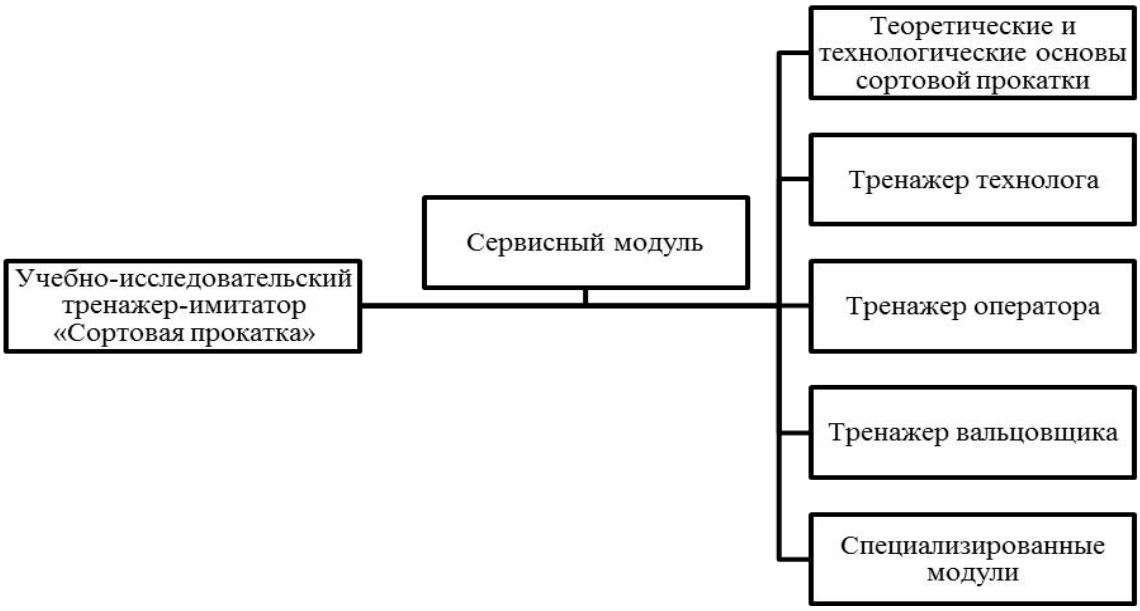


Рис. 1. Структура учебно-исследовательского тренажера-имитатора «Сортовая прокатка»

Использование промышленных программных комплексов при обучении, как правило, сводится к изучению непосредственно самих программных комплексов, а не той технологии, для автоматизации которой они предназначены. Очевидно, что обучение проектируемому процессу, а не системе проектирования, должно осуществляться в «облегченной версии» промышленного варианта. Для этого, в структуре учебно-исследовательского тренажера-имитатора «Сортовая прокатка» разработана программа-тренажер для технологов, обеспечивающих проектирование, обеспечение и контроль технологического процесса.

На первом этапе обучения на этом модуле тренажера происходит выбор типа стана, его характеристик и конфигурации; определение формы и размеров заготовки; разработка схемы прокатки; моделирование формоизменения металла; проектирование и построение калибров.

На втором этапе определяются скоростные характеристики процесса; рассчитываются температурные режимы; определяются энергосиловые параметры процесса сортовой прокатки и т.д.

На третьем этапе можно получить диаграммное представление и анализ показателей технологического процесса; создать необходимую технологическую документацию и архив.

Элементы тренажера технолога и его интерфейс представлены на рисунке 2.

В рабочей области происходит визуализация сечения очага деформации в текущем проходе и в последующих проходах (если имеются). Для каждого прохода отображаются: сечение калибра, поперечное сечение металла, основные размеры калибра, максимальная ширина сечения металла.

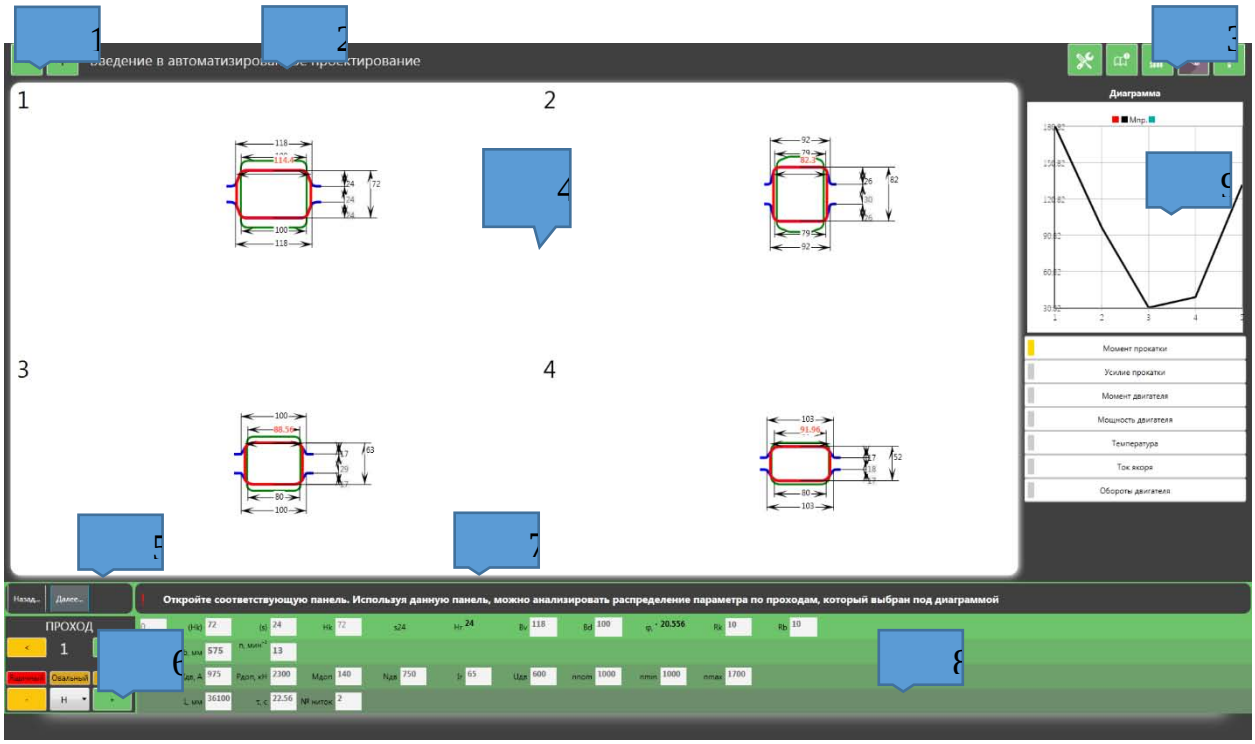


Рис. 2. Интерфейс тренажера технолога: 1 – изменение масштаба рабочей области; 2 – описание текущего задания; 3 – главное меню; 4 – рабочая область; 5 – управление заданием; 6 – управление проходом/параметрами калибра; 7 – текст задания; 8 – управление калибровкой

Важными преимуществами тренажера являются визуальная оценка изменения формы и размеров металла в процессе деформации; предоставление информации в наглядном и удобном для анализа виде: графики, таблицы, эскизы (рисунки 3 и 4).

В тренажере технолога предусмотрены следующие тренинги:

– вводный, где показаны основные инструменты для анализа и модификации существующих калибровок валков;
– уширение металла;
– закон постоянства секундного объема;
– методы определения энергосиловых параметров;
– непрерывный стан (температура);
– реверсивный стан (температура);
– общие вопросы проектирования калибров;
– проектирование предчистовых калибров;
– проектирование чистовых калибров;
– анализ настройки стана.

Тренинг «самостоятельная работа» позволит усилить исследовательские навыки и служит подготовительным этапом к контрольным заданиям данного раздела.

Парам.	Ед. изм.	Знач.	Парам.	Ед. изм.	Знач.
H_0	мм	101.2	H_1	мм	72
B_0	мм	101.2	B_1	мм	114.4
L_0	мм	-	L_1	мм	13213
λ	-	1.33221	F_1	мм²	7624
β	-	1.1304	η	-	0.66404
α	градус	19.075	f	-	0.5
ε	-	0.22	Uc	1/с	1.27
Vм	м/с	0.361	Dк	мм	529.73
tп.к.	°С	1113.5	tэ.к.	°С	1073.7
σs	МПа	67.7	pc	МПа	105.78
Fr	мм²	19261	P	кН	2037.4
Мпр.	кНм	180.82	Мдв.	кНм	2.81
Nдв.	кВт	243.53	Iдв.	А	480.34

Рис. 3. Панель с результатами расчета в виде таблицы

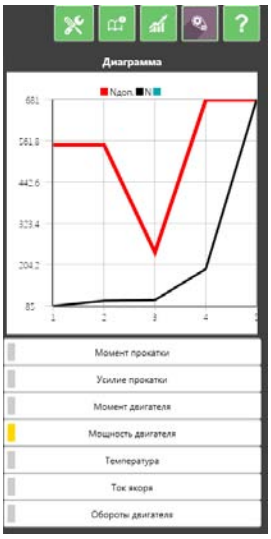


Рис. 4. Панель отображения диаграммы

Предусмотрены контрольные задания, которые выполняются в виде тестов с вопросами, обобщающих знания и опыт, полученный в ходе выполнения предыдущих занятий на тренажере, итоговое задание и комплексный тест.

На рисунке 5 показано окно модуля задания в процессе его выполнения.

Рис. 5. Окно модуля в процессе выполнения задания

Тренажер оператора прокатного стана позволяет осуществлять настройку прокатного стана и динамическое управление его работой, имитировать работу оператора прокатного стана в процессе прокатки.

Операции, выполняемые в тренажере оператора:

– выбор прокатываемого типоразмера и соответствующей ему технологии;

– ввод установок оборудования;

– слежение за процессом прокатки, геометрическими размерами раската, нагрузками в клети;

– аварийная остановка стана;

– корректировка скоростного режима прокатки;

– штатные, нештатные и аварийные ситуации на стане.

На рисунке 6 показан внешний вид тренажера оператора прокатного стана.

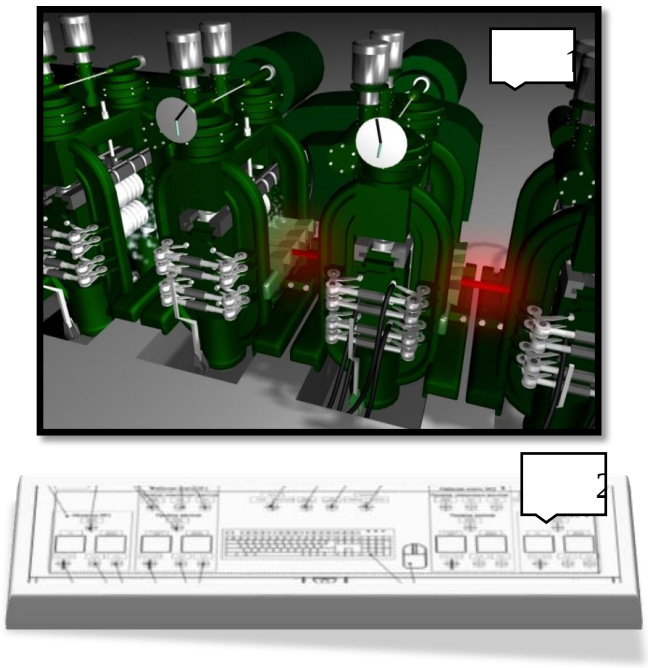


Рис. 6. Внешний вид тренажера оператора прокатного стана:
1 – монитор; 2 – физический пульт управления

В модуле отрабатываются следующие типовые ситуации:

– штатные сценарии: перестройка на новый профиль, корректировка скорости, прокатка настроечных полос (петли); прокатка настроечных полос (натяжение);

– нештатные: выход из строя одной из клети, сбой в работе системы автоматической регулировки;

– аварийные: разрыв полосы в валках клети, застревание полосы в валках клети и т.п.

На рисунке 7 показана работа тренажера оператора с имитацией возникновения петли в промежутке между клетями непрерывного стана.

В данной ситуации от пользователя ожидается корректировка оборотов валков с пульта управления в той мере, которая приведет к стабилизации процесса (в случае неверной корректировки предусмотрена ситуация развития петлеобразования и дальнейшее забуривание).

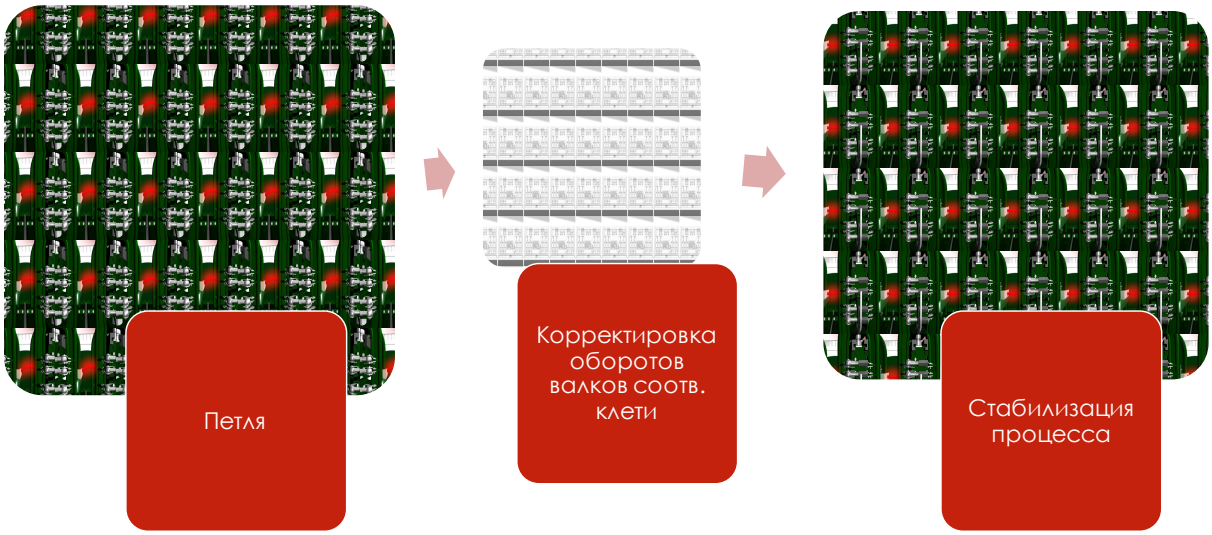


Рис. 7. Работа тренажера оператора

Контрольными заданиями для модулей «тренажер оператора» и «тренажер вальцовщика» являются тестовые формы контроля, настройка клетей на новый профиль, настройка скоростного режима непрерывной прокатки, выполнение действий при забуривании полосы, корректировка режимов при дефектах геометрии и др.

Учебно-исследовательский тренажер-имитатор имеет модульную структуру и при необходимости или по заданию пользователя легко может расширяться (путем добавления специализированных модулей) как в сторону включения в него новых рабочих мест, новых типов профилей (например, фасонных), нового марочного сортамента, нового оборудования, так и в сторону включения новых знаний в теории и технологии прокатного производства.

Тренажер может быть использован для обучения основам прокатного производства, методам и приемам подготовки, контроля и управления технологическими процессами прокатки на промышленных предприятиях, а также в учебных заведениях высшего и специального образования.

К содержанию

УДК 614.842.61

УСТРОЙСТВО, ДЕЙСТВИЕ И ИСПЫТАНИЕ ОГНЕТУШИТЕЛЯ «МАЛЫШ» С ПИРОТЕХНИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

Ю.П. Болдов, Н.Л. Кувшинова, С.В. Фирстова

Рассматривается устройство и действие компактного порошкового огнетушителя «Малыш». Приводятся характеристики огнетушителя. Показана схема периодических испытаний, подтверждающих его работоспособность. Сравнивается работа огнетушителей «Малыш», «Гном» («Миг-1»). Показаны возможности его использования для обеспечения пожаробезопасности в общественных зданиях.

Ключевые слова: компактный переносной порошковый огнетушитель «Малыш», пожаробезопасность общественных зданий.

Во многих случаях причинами крупных пожаров в общественных зданиях, таких как школы, торговые центры, бизнес-центры, гостиничные комплексы и другие многоэтажные здания с большим количеством помещений, является то, что локальный очаг возгорания не был вовремя потушен на начальной стадии. Таких ситуаций можно было бы избежать за счет применения компактных переносных порошковых огнетушителей. Такими огнетушителями можно снабдить персонал, в обязанность которых входят периодические обходы помещений.

«Малыш» – порошковый огнетушитель с импульсным выбросом огнетушащего порошка на очаг пожара давлением пороховых газов, изготовленный по техническим условиям ТУ 501К-А001-030-92 (рис. 1).

Рис. 1. Внешний вид огнетушителя «Малыш» в масштабе 1:2

Огнетушитель заряжается порошком ПСБ-3. Допускается заряжать огнетушитель порошками других марок, подтверждая испытаниями сохранение огнетушителем работоспособности и огнетушащей способности [3].

Огнетушитель соответствует исполнению V категории размещения 2 по ГОСТ 15150-69, для работы при температуре от –30 °С до +40 °С и влажности до 100 % при +25 °С.

Огнетушитель «Малыш» разработан по изобретениям № 1648509, № 5019237 от 25.12.91.

Он предназначен для тушения в начальной фазе горения локальных очагов классов А, В, С, Е, например, загораний древесины, бензина, дизельного топлива, лаков, красок и других горючих веществ, а также электроустановок под напряжением до 1000 В.

Огнетушитель работает по принципу елочной хлопушки. В металлической трубке размещены огнетушащий порошок, поршень и пиротехнический привод (рис. 2). При тушении огнетушитель удерживается в руке и направляется в основание очага. Для этого с него свинчивается крышка и выдергивается фал. Выброс порошка сопровождается хлопком. Тушение осуществляется мгновенно.

Дальность выброса огнетушащего порошка – не менее 4 м

Ширина порошкового облака на длине 4 м – не менее 0,7 м

Масса снаряженного огнетушителя – 0,5 кг

Масса порошкового заряда – 0,15 кг

Защищаемая площадь – до 0,3 м^2

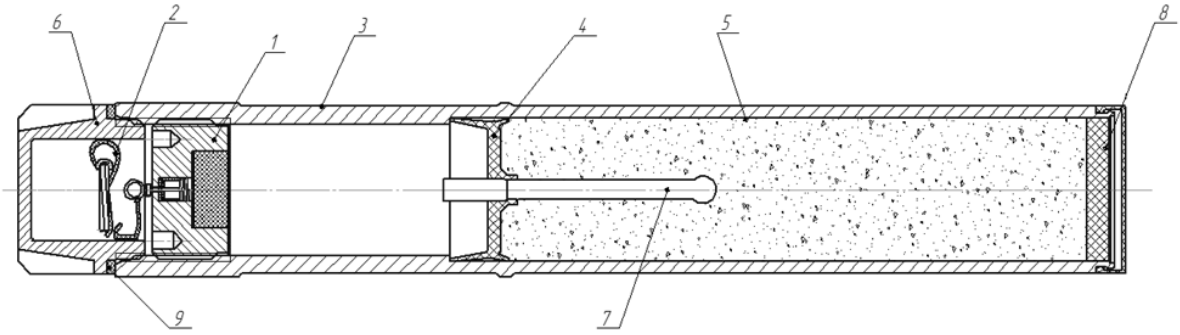


Рис. 2. Устройство огнетушителя «Малыш»: 1 – дно с терочным приводом; 2 – фал; 3 – корпус; 4 – поршень; 5 – порошок; 6 – крышка; 7 – трубка; 8 – пробка с колпачком; 9 – прокладка

Огнетушитель работоспособен в следующих случаях:

1. После транспортирования автомобильным транспортом по дорогам 1 категории на расстояние до 1000 км; по дорогам 2-й и 3-й категории и грунтовым дорогам на расстояние до 600 км со скоростью 50–70 км/ч (из них 200 км по грунтовым дорогам).

2. После транспортирования в упаковке железнодорожным транспортом в сочетании с автомобильным; водным.

Работоспособность огнетушителя подтверждается для каждой партии приемо-сдаточными и, 1 раз в 6 месяцев, периодическими испытаниями, см. рисунок 3. Вероятность безотказного срабатывания при испытаниях должна быть не менее 0,95 при доверительном уровне 0,8.

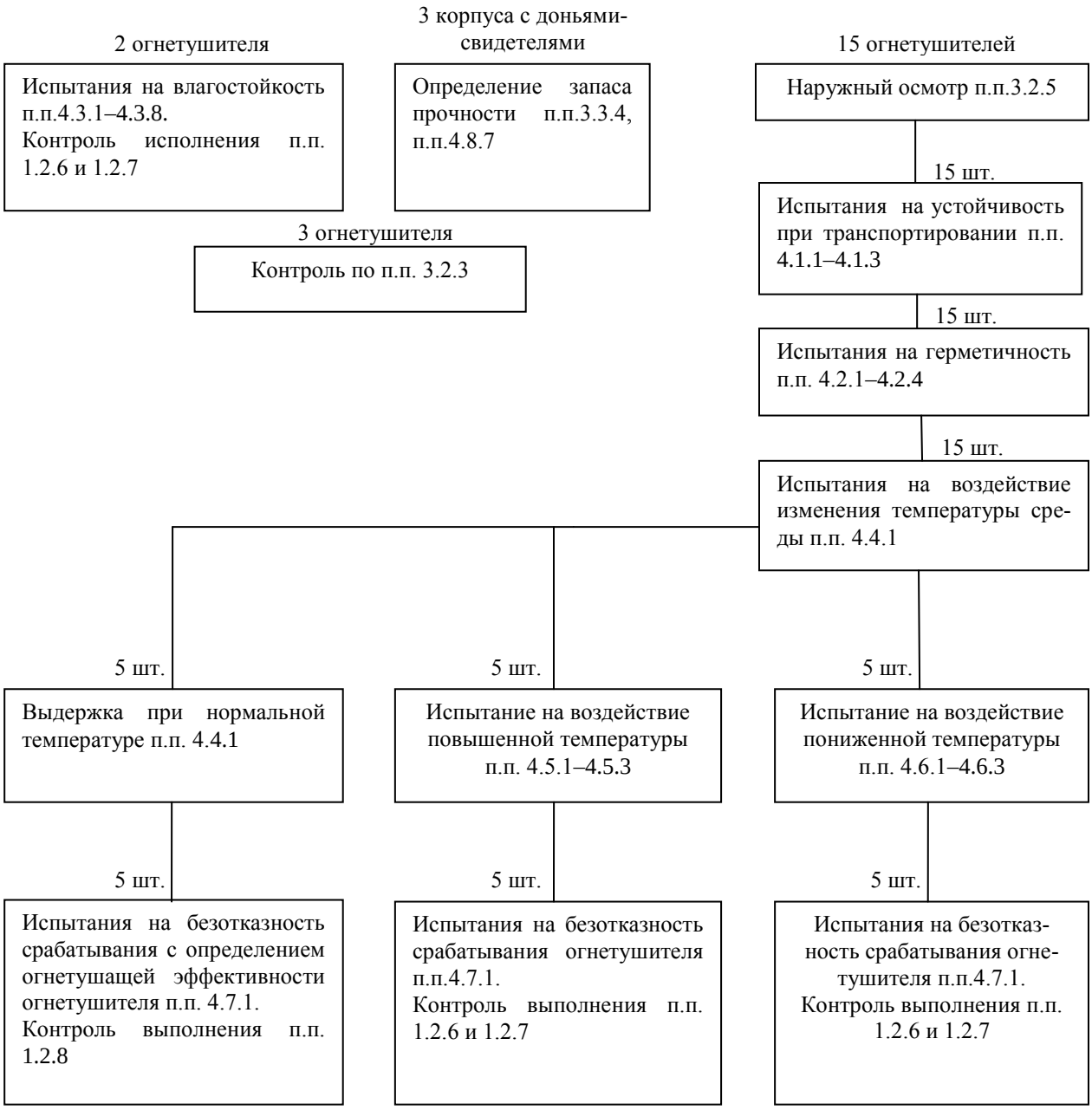


Рис. 3. Схема периодических испытаний

Огнетушитель, попавший в огонь, срабатывает в нем без взрыва. По сравнению с известными огнетушителями «Гном» и «Миг-1» [2], «Малыш» более эффективен. Достигается это за счет создания равномерной концентрации порошка в облаке. На рисунке 4 представлена работа огнетушителя «Гном» («Миг-1»). Выброс порошка из огнетушителя осуществляется струями. На рисунке 5 представлены фрагменты скоростной съемки работы огнетушителя «Малыш». Нужная эффективность и равномерная концентрация порошка при выбросе достигается за счет того, что порошок в «Малыше» выталкивается из трубы частями, путем применения в нем трубки (рис. 2).

Рис. 4. Работа огнетушителя «Миг-1»

Рис. 5. Работа огнетушителя «Малыш»

Огнетушитель «Малыш» переносится в накладных карманах, ранцах или пеналах. В комплект поставки может включаться кронштейн для закрепления огнетушителя на объекте. Планируется выпускать огнетушитель в комплекте с радиостанцией или как автоматический модуль [4] системы охранно-пожарной сигнализации.

Библиографический список

1. Огнетушитель «Малыш» технические условия ТУ 501К-А001-030-92.

2. Болдов, Ю.П. История развития порошковых выстрелов с пиротехническим приводом / Ю.П. Болдов, С.В. Фирстова, Н.Л. Кувшинова // Наука ЮУрГУ: материалы 66-й научной конференции. Секция технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – С. 832–837.

3. Плешкова, С.В. Применение порошковых огнетушителей для тушения пожаров в электроустановках / С.В. Плешкова, Н.Л. Кувшинова // Электробезопасность. – 2005. – № 1. – С. 3–6.

4. Плешкова, С.В. Испытания огнетушителей с мгновенным выбросом порошка / С.В. Плешкова, Н.Л. Кувшинова // Наука и технология: Избр. тр. Российской школы. Сер. Технологии и машины обработки давлением. – М.: РАН, 2005. – С. 178–180.

К содержанию

УДК 621.771.013

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНСТРУМЕНТА И ЛИСТА НА КАЧЕСТВО ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ДОГИБКЕ КРОМОК

В.Г. Ильичев, Я.Е. Залавин

Предложен и обоснован способ улучшения геометрических характеристик труб большого диаметра получаемых способом вальцевой формовки.

Ключевые слова: формовка, калибровка, геометрия периметра, крутящий момент.

В практике современного производства прямошовных труб большого диаметра формовку основного периметра заготовки перед сваркой осуществляют на гибочных прессах шаговой формовки (JOE) либо в трехвалковых листогибочных машинах ЛГМ (TRB).

К достоинствам прессовой технологии следует отнести возможность формовки заготовки труб с малым отношением R/h.

Основные недостатки прессовой формовки – неравномерная деформация по периметру, большая металлоемкость и высокая цена прессового оборудования, высокая стоимость инструментального обеспечения.

Формовка заготовки трубы на ЛГМ обеспечивает равномерную деформацию за счет непрерывности процесса формовки. Поскольку процедура подачи заготовки при формовке реализуется рабочим инструментом, конструкция машины проще, с меньшей металлоемкостью.

Основные недостатки процесса формовки в вальцах состоят в ограничении по усилию формовки при использовании безопорного нажимного валка из-за его прогиба между нажимными устройствами.

При использовании многоопорного верхнего валка ограничивающим фактором становится крутящий момент, приложенный к валкам, поскольку работа деформации при вальцевой формовки реализуется фрикционными силами на контакте инструмента с заготовкой.

К геометрии периметра труб, предъявляются очень жесткие требования. Так, к примеру, для труб Ø 1151х30,9 мм проекта Nord Stream овальность по торцам труб не должна превышать 5,0 мм, что составляет менее 0,5 % от диаметра. При этом на 50 % из партии величина овальности ограничена допуском 3 мм.

Геометрия периметра заготовки после вальцевой формовки представлена на рис. 1.

Для устранения несоответствия кривизны прикромочных участков заданной кривизне трубной заготовки предусмотрена операция догибки этих участков в калибре двухвалковой клети.

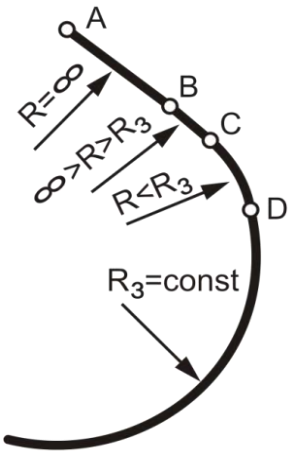


Рис. 1. Геометрия периметра в прикромочной области
после снятия усилия формовки: AB – участок полного распружинивания;
BC – участок переменной кривизны;
CD – локальный перегиб в зоне погружения без вращения;
D и далее – стабильная кривизна радиуса R3.

Поскольку валки клети догибки образуют круглый калибр, то окружные скорости по дну калибра и на выпусках существенно различаются (рис. 2). Для компенсации этого негативного фактора периферийная часть нижнего валка выполнена неприводной.

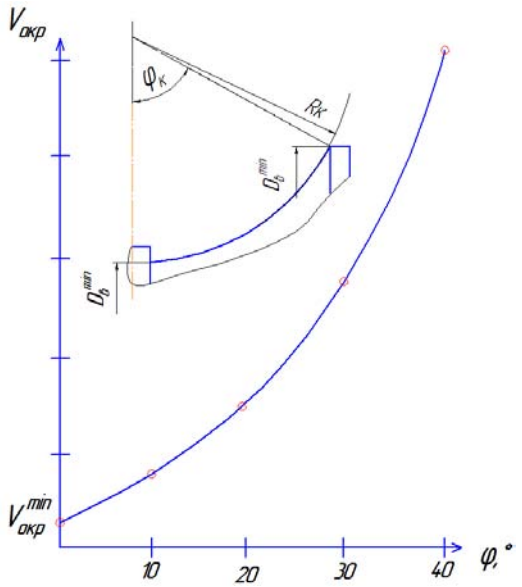


Рис. 2. Изменение окружной скорости на поверхности калибра
нижнего валка догибки в функции угловой координаты

Такая кинематика догибки приводит к очевидной необходимости минимизировать ширину прикромочной полки с целью снижения контактных усилий с одновременным снижением уровня скольжения, что в значительной мере позволит улучшить качество догибки.

Улучшение геометрии периметра, которое для процесса TRB сводится,по существу, к приведению кривизны прикромочных участков в соответствии с кривизной основного периметра, может быть достигнуто сочетанием эффективной калибровки валков догибки и минимизацией ширины прикромочных участков, которые не могут быть сформованы в вальцах и имеют после формовки переменную кривизну.

Задача разработки принципов калибровки является самостоятельной и в работе [1] приводится решения, которые определяют эффективность этого средства воздействия на качество изделия.

Другой путь улучшения качества геометрии периметра труб – минимизировать долю влияния процесса догибки путем уменьшения ширины участков переменной кривизны, прилежащих к кромке.

Поскольку при формовке в вальцах реализуется схема трехточечного изгиба, этот путь можно реализовать только уменьшением расстояния между опорными валками, что неизбежно приведет к росту усилий формовки.

В кругу специалистов существует ошибочное представление о том, что увеличение усилия формовки неизбежно влечет за собой рост крутящих моментов на валках листогибочной машины. Это представление основано на реальных фактах превышения допустимых нагрузок по крутящему моменту в результате увеличения нагрузок по усилию формовки за счет сближения опорных валков.

Действительно, применительно к условиям формовки, для связи усилия формовки и сил трения на контакте заготовки и инструмента может быть использовано уравнение Амонтона-Кулона

$$F_{\text{тр}} = P \cdot f, \tag{1}$$

где f – коэффициент трения

P – усилие сжатия контактирующих поверхностей.

Такая закономерность подтверждена экспериментально [2], и установлено значение коэффициента f, который для условий вальцевой формовки составляет 0,27–0,29. Однако совсем не следует, что потенциальная сила трения в соответствии с выражением (1) реализуется полностью в работу формовки.

Работа, которую необходимо затратить в процессе изгиба листа до кривизны радиуса R, определяется выражением:

$$A_{\text{ф}} = M_{\text{изг}} \cdot \varphi, \tag{2}$$

где $M_{\text{изг}} = \sigma_s \cdot W_{\text{изг}}$ – изгибающий момент;

φ – угол, на который изгибается лист.

В свою очередь, момент сопротивления изгибу $W_{\text{изг}}$ зависит только от геометрии сечения заготовки и для жестко-пластической среды может быть определен из зависимости:

$$W_{\text{изг}} = \frac{bh^2}{4}, \tag{3}$$

где b и h, соответственно, ширина и толщина изгибаемого листа.

Таким образом, в реальном процессе используется только часть потенциальной энергии фрикционных сил в количестве, определенном энергобалансом процесса.

В процессе численного эксперимента по определению параметров формовки были определены энергосиловые параметры процесса для трубы ∅1150 мм с толщиной стенки 30мм из стали Х70.

Как следует из графиков представленных на рис.3, уменьшение раствора L между опорными валками с 700 до 600 мм повлекло рост усилия формовки (рис. 3а,б), что совершенно естественно, поскольку почти на 15 % уменьшилась длина плеча опорной реакции при трехточечном изгибе, однако суммарный крутящий момент при этом уменьшился на 7 %, что объясняется изменением совокупной схемы взаимного положения опорных точек контакта валков с заготовкой и направлений векторов сил трения, которыми реализуется работа формовки.

Факт превышения крутящими моментами допустимых значений имеет следующее объяснение.

При изгибе, за счет удлинения растянутых по выпуклой поверхности и, сокращения длины сжатых по вогнутой поверхности волокон, в процессе формовки, скорости этих поверхностей отличаются с соответствующим знаком от скорости нейтральной по толщине листа поверхности, причем это различие для реальной технологии находится в диапазоне 2–4 %.

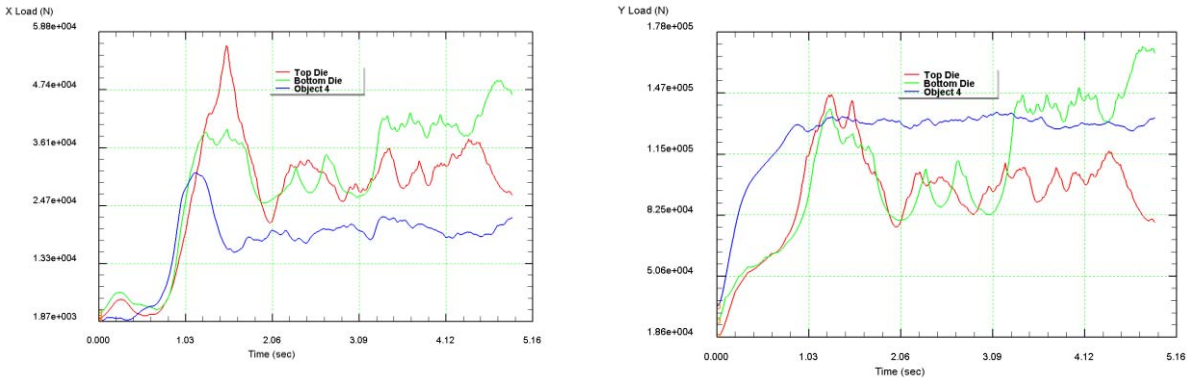
В начале процесса, когда происходит формирование очага деформации, идет перераспределение скоростей, что, в сочетании с нестабильностью кривизны прикромочного участка (см. рис. 1) вызывает существенные колебания крутящего момента (рис. 3в).

Что касается более выраженных динамических изменений крутящего момента при больших усилиях формовки, то это также имеет объяснение, которое состоит в том, что неуравновешенность моментов между валками при меньших усилиях компенсируется пробуксовкой в направлении, продиктованном кинематикой процесса.

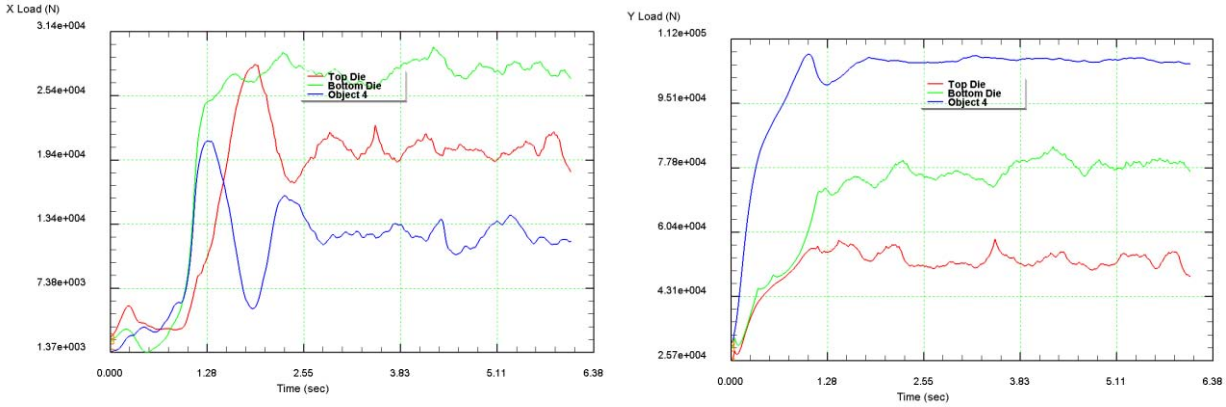
С ростом усилий прижатия на границе инструмента и заготовки снижаются ресурсы саморегулирования процесса из-за роста уровня фрикционных сил, т.е. потенциальной энергии фрикционного контакта.

Предотвращение этого явления может быть обеспечено только за счет реализации управления приводами вращения валков в следящем режиме с использованием схем автоматики.

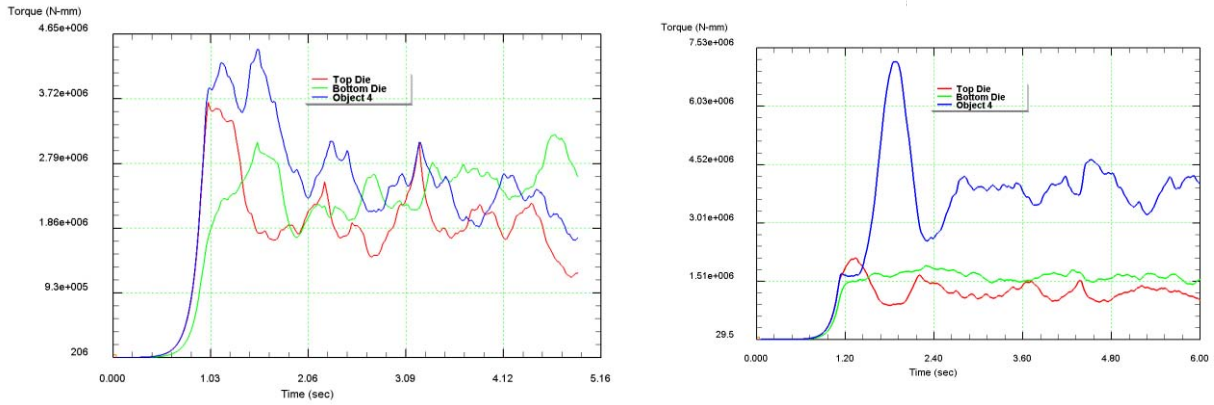
Это классическая задача, которая, применительно к объемным гидроприводам, основанным на использовании аксиально-плунжерных машин, может быть реализована путем использования сигналов датчиков давления для управления сервоклапанами расхода соответствующих гидромоторов.



а) L=600



б) L=700



в) L=600 г) L=700

Рис. 3. Энергосиловые параметры процесса формовки:
а, б – усилие на валках, в, г – крутящий момент

Необходимо также ограничить динамические характеристики (ускорения) приводов в пусковом периоде, поскольку можно полагать, что из-за большого рабочего объема машин гидропривода динамические составляющие гидропотерь инициируют рост нагрузок.

Определенным препятствием на пути уменьшения ширины полки является прогиб нажимного валка от усилия формовки, поскольку расстояние между нажимными гидроцилиндрами составляет порядка 15000 мм на формовочной машине для труб длиной 12000 мм.

Применение противоизгиба при такой длине валка только частично компенсирует прогиб от рабочей нагрузки (рис. 4):

$$f_{\text{в}} = \frac{PL^3}{48EI}\left[1 - 0.5\frac{b^2}{L} + \frac{b^3}{L}\right], \quad (4)$$

где $P = qL$ – усилие формовки;

E – модуль упругости материала валка;

I – момент инерции сечения валка.

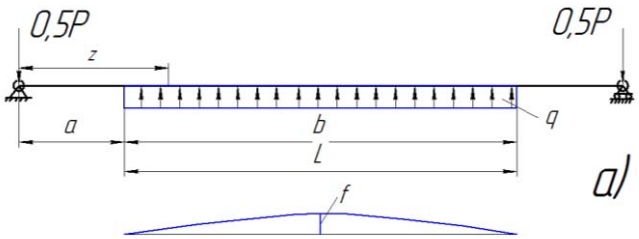


Рис. 4. Схема очага деформации при формовке

Кроме этого, циклические напряжения в зоне действия усилия формовки, в сочетании с касательными напряжениями от рабочего крутящего момента создают на приводной стороне нажимного валка угрозу усталостного разрушения.

Задача эта имеет решение. В последних конструкциях формовочных машин фирмы HAEUSLER, которая является лидеров в этом сегменте оборудования, станины объединены жесткой балкой, размещенной над нажимным валком, а нажимное устройство выполнено в виде нескольких гидроцилиндров, рассредоточенных по длине валка и установленных на этой балке. Таким образом, распределенная нагрузка со стороны заготовки компенсирована распределенным и диаметрально противоположенным усилием нажимных устройств.

Таким образом, как следует из энергобаланса процесса формовки, уменьшение ширины переходных прикромочных участков путем сближения опорных валков может служить эффективным средством улучшения геометрических характеристик прямошовных труб для транспортировки углеводородов за счет снижения роли в формировании геометрии периметра поперечного сечения более сложного и нестабильного процесса догибки прикромочных участков.

Библиографический список

1. Ильичев, В.Г. Особенности профилирования инструмента для догибки прикромочных участков при изготовлении труб большого диаметра / В.Г. Ильичев, И.А. Бобков // Труды 9-го конгресса прокатчиков. – Череповец, 2013.
2. Ильичев, В.Г. Экспериментальное определение сил трения в очаге деформации при формовке труб большого диаметра с малым отношением D/h в условиях ОАО «ВТЗ» / В.Г. Ильичев, Я.Е. Залавин // Сборник конгресса «ОМД-2014.Фундаментальные проблемы. Инновационные материалы и технологии». – М., 2014.

К содержанию

УДК 621.774.353:621.771

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ИЗНОСА ОПРАВОК СТАНА МРМ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ СРОКА ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

С.Н. Мишин, Е.А. Алюшкаев, Д.О. Струин, В.Г. Шеркунов

На основе опытных данных рассмотрены особенности износа оправочного узла непрерывного стана МРМ (Multistand Pipe Mill). Проведен анализ влияния различных факторов на эксплуатационную стойкость рабочей части оправок. Рассмотрены существующие пути повышения ресурса работы инструмента. Проведен анализ условий работы основных конструкций оправочных узлов, выделены достоинства и недостатки.

Ключевые слова: бесшовные трубы, непрерывный трубопрокатный стан, удерживаемые оправки, оправочный узел, износ, эксплуатационная стойкость.

В современной трубной промышленности наиболее прогрессивным и перспективным направлением считается процесс раскатки гильзы в непрерывном стане на удерживаемой оправке. К преимуществам ТПА с непрерывными станами относятся минимальные технологические отходы, удобное расположение оборудования и высокая производительность [1]. На ОАО «ВТЗ» для раскатки гильзы в черновую трубу применяют семиклетевой непрерывный стан с удерживаемой оправкой [2].

Используемые в производственном процессе на ТПА с непрерывными станами оправочные узлы состоят из трех частей (станы МРМ, PQF, FQM): цилиндрической оправки (рабочая часть) с направляющим конусным участком на переднем торце, которая посредством ниппельного соединения задним торцом соединена с удлинителем, а последний таким же образом соединен с замковым хвостовиком с кольцевой проточкой для удержания оправочного узла в захвате во время прокатки.

Рабочая часть оправочного узла (далее по тексту – оправка) эксплуатируется в процессе производства при сложных температурных условиях, и подвергается постоянным циклическим знакопеременным нагрузкам, в результате чего подвергается износу, величина которого напрямую влияет на качество готовых труб. Существенной проблемой при производстве труб на агрегатах с непрерывным станом является низкая стойкость и высокая стоимость оправок, закупка которых в основном проходит на импортной основе. В этой связи, исследование характера износа длинных оправок непрерывных раскатных станов и повышение срока их эксплуатации, является актуальной задачей [3].

Анализ литературных источников и экспериментальных данных показал, что основными видами износа длинных оправок непрерывных раскатных станов является образование сетки разгарных трещин, налипание металла, образование изношенной поверхности в виде «комет», вмятины на рабочей поверхности и уменьшение диаметра. В процессе прокатки на оправку действуют сжимающие и растягивающие напряжения, что приводит к образованию вышеупомянутых дефектов, что в итоге служит причиной отбраковки оправки. В результате циклического температурного воздействия, характеризующегося многократным нагревом и охлаждением оправок, образуются разгарные трещины. В процессе работы, по мере увеличения количества прокатанных труб, развитие трещин продолжается, они окисляются вследствие взаимодействия с агрессивной средой смазки и проникают вглубь металла, что в конечном итоге может привести к образованию глубоких трещин, выкрашиванию частиц металла и как следствие выходу оправки из строя [2].

В настоящее время для прокатки бесшовных труб всего сортаментного ряда на непрерывных раскатных станах с удерживаемой оправкой применяются оправки одинаковой длины от 11,5 до 15,5м (станы MPM – 15,5 м., PQF – 11,5 м., FQM – 13 м.). Анализ литературных данных показал, что при расчете длины оправки не учитываются следующие параметры:

– кратность прокатываемых труб;

– уменьшение длины оправки путем перереза рабочей части в результате возможных сбоев и аварийных ситуаций (разрушение сечения в месте сопрягаемых поверхностей рабочей части и удлинителя) и повреждения резьбового соединения;

– расположение и длина наиболее изнашиваемого участка;

– расстояние между непрерывным и извлекательно-калибровочным станами;

– режим деформации (скорость прокатки, вытяжка, производительность и т.д.).

Необходимо отметить, что в случае применения оправки большей длины, например для производства однократного проката вместо трехкратного, в результате ее неравномерного износа неизбежно приходится перета-

чивать оправки по всей длине на меньший по диаметру размер. Соответственно неизношенная часть оправки также подвергается переточке, что увеличивает затраты и время на ее обработку. Также необходимо отметить, что в случае применения оправки больше необходимой длины можно столкнуться с такими недостатками, как увеличение кривизны из-за высоких остаточных напряжений и неравномерного разогрева поверхности, что, также увеличивает величину снимаемого объема металла при переточке, особенно это характерно, если сбита ось прокатки. Стоит обратить внимание, что минусами нерационального подбора длины оправки также являются возрастающие нагрузки на двигатели рейки, увеличение напряжений в месте сочленения рабочей части и удлинителя, как в процессе прокатки, так и в процессе транспортировки, что увеличивает вероятность возникновения аварийных ситуаций.

На ОАО «ВТЗ» используются длинномерные оправки непрерывного стана ТПА 159-426, которые являются уникальными, их геометрические параметры таковы: диаметр 165–425 мм, длина рабочей части 15,5 м (общая длина оправочного узла – 24 м) и масса до 20 т, изготовлены из легированной марки стали 4Х5МФ1СА. Анализ статистических данных их износа позволяет сделать вывод: при относительно небольшом количестве проходов, наиболее вероятной причиной выхода из строя оправок является наличие дефектов поверхностного слоя, таких как «кометы» и разгарные трещины, в то время как диаметр находится в пределах допуска. Износ оправок по диаметру после их прокатной кампании незначителен, что подтверждается проведенными измерениями оправок, используемых для систем калибров 288 и 360 (рис. 1). Измерения проводились на изношенных оправках диаметрами 272,5; 266; 345 мм, отработавших в среднем: 200, 300 и 700 проходов соответственно. Стоит отметить, что при изготовлении оправок точность по диаметру составляет +0,0 мм/-0,3 мм, а их снятие с проката происходит при наличии участков с износом по наружному диаметру более 1,0 мм.

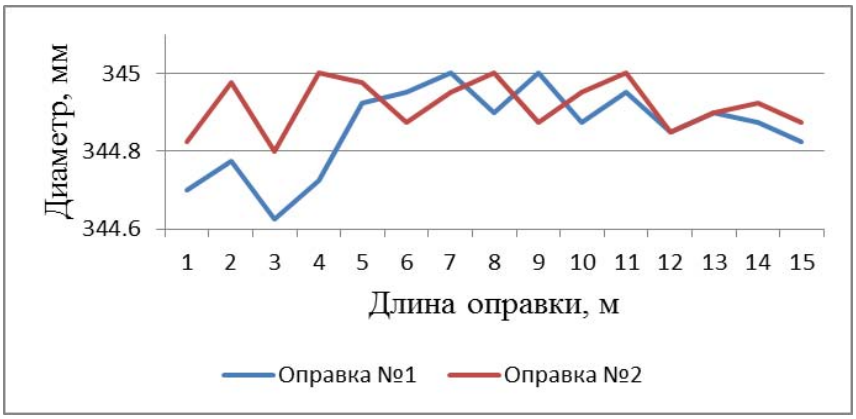


Рис. 1. Результаты измерений диаметра оправок Ø345
по длине после их прокатной кампании
(величина износа по диаметру оправок Ø 272,5; 266 мм аналогична)

Однако в ходе визуального осмотра отработанных оправок были выявлены дефекты в виде разгарных трещин и «комет» (рис. 2). Примечательно, что образование данных дефектов начинается на расстоянии 5,5 метра от носка оправки и продолжается до 11,5 метра, что согласуется с данными источников [1–7].

а) б)

Рис. 2. Характерные дефекты оправок непрерывного стана:
а) – трещина на расстоянии 8,1 м от носка оправки Ø241,5 мм;
б) – «кометы» на расстоянии 9,2 м от носка оправки Ø345 мм

Измерения глубины трещин при контроле оправок Ø345 мм позволяет в очередной раз подтвердить правильность сделанных выводов (рис. 3).

Рис. 3. Результаты измерений диаметра оправок Ø345
по длине после их прокатной кампании

Остается интересным тот факт, что образование данных дефектов в пределах указанного интервала длины оправки не зависит от кратности проката.

На основании вышеизложенного, а также данных источников [2], [8], были выявлены две наиболее рациональных конструкции оправок. В работе [2] предлагается применение оправки-вставки, которая позволяет повы-

сить стойкость работы оправок путем замены изношенной части бездефектными участками. Однако, в данном случае, раскатка гильзы происходит в месте сочленения тела оправки и оправки-вставки, что увеличивает риск преждевременного выхода из строя оправок ввиду возможного разрушения соединения под действием циклических знакопеременных нагрузок, температурных условий эксплуатации, также высок риск возникновения аварийной ситуации и увеличение брака на готовых трубах (попадание металла раската в зазор). Основным положительным моментом предлагаемой конструкции оправочного узла [8] является возможность переворота рабочей части оправки, что может повысить срок ее эксплуатации благодаря более равномерному износу по всей длине. Следует отметить, что недостатком предлагаемого оправочного узла является возможность попадания металла раската в зазор между рабочей частью оправки и направляющим конусом.

В результате проведенного анализа и выявления наиболее изнашиваемой части оправок, применяемых на ОАО «ВТЗ» был сделан вывод, что наибольшим деформациям подвержен участок с 5,5 по 11,5 м от переднего торца. Использование возможности переворота оправки позволит снизить интенсивность роста трещин, а в случае прокатки только однократного раската и путем настройки выдвижения оправки, подбора скорости ее перемещения, можно добиться смещения данного участка на 2,0 м в интервал 7,5–13,5 м, за счет чего эксплуатационная стойкость оправок повысится еще больше.

В работе [3] предлагается использовать наплавку изношенного участка оправки для увеличения срока ее службы. Данное направление требует проведения дополнительных исследований с целью возможного внедрения в производственный процесс с минимальными рисками.

Результаты исследований режимов работы и характера износа длинных оправок непрерывного стана, приведенные в источниках [1, 3] показали, что наибольшая стойкость наблюдается при прокатке толстостенного сортамента, а также при комбинированном режиме эксплуатации, когда сначала раскатывают гильзы из углеродистых марок стали, а затем из легированных. Это объясняется тем, что при вводе в работу новой оправки, ее структура «прорабатывается» и получает уков, то есть дополнительное упрочнение поверхности оправки. Также следует учитывать, что при вводе новой оправки в эксплуатацию целесообразно прокат начинать на более толстостенном сортаменте для придания оправке дополнительного упрочнения, что позволит повысить ее стойкость при дальнейшей прокатке труб более тонкостенного сортамента.

В работе [9] предлагается, путем внедрения диагностического комплекса на основе магнитной памяти металла, осуществлять своевременное определение предельного состояния оправки перед ее разрушением, тем самым увеличить ее эксплуатационный ресурс. Дальнейшее изучение данного вопроса также является одним из перспективных направлений.

Заключение

1. Проведен анализ условий работы используемых и предлагаемых конструкций оправочных узлов непрерывных станов, определены достоинства и недостатки.

2. Определены основные перспективные направления повышения срока эксплуатации оправочного узла стана МРМ ОАО «ВТЗ».

Библиографический список

1. Трубное производство: Учебник для ВУЗов / Б.А. Романцев, А.В. Гончарук, Н.М. Вавилкин, С.В. Самусев. – М.: МИСиС, 2011. – 970 с.

2. Чикалов, С.Г. Производство бесшовных труб из непрерывнолитой заготовки / С.Г. Чикалов. – Волгоград: Комитет по печати и информации, 1999. – 416 с.

3. Красиков, А.В. Исследование процесса раскатки труб на агрегатах с непрерывными станами с целью повышения износостойкости оправок: автореф. … канд. техн. наук / А.В. Красиков. – М., 2015. – 25 с.

4. Данилов, Ф.А. Горячая прокатка и прессование труб / Ф.А. Данилов, А.З. Глейберг, В.Г. Балакин. – М.: Металлургия, 1972. – 576 с.

5. Данченко, В.Н. Продольная прокатка труб / В.Н. Данченко, А.В. Чус. – М.: Металлургия, 1984. – 136 с.

6. Исследование деформации трубы при прокатке в круглом калибре на длинной оправке: обработка металлов давлением / Я.Л. Ваткин, А.А. Шевченко, Г. И. Гуляев и др. – М.: Металлургия, 1967. – 256 с.

7. Лубе, И.И. Исследование и совершенствование технологии горячей прокатки труб из непрерывнолитой заготовки на агрегатах с непрерывным станом: автореф. … кандидата технических наук / И.И. Лубе. – М., 2010. – 21 с.

8. Оправочный узел непрерывного трубопрокатного стана: 2486976 С1 Рос. Федерация: МПК B21B 25/00 (2006.01) / И.Ю. Пышминцев, А.В. Никитюк, А.В. Поливец, Д.О. Струин; заявитель и патентообладатель Челябинск. Рос. науч.-исслед. ин.-т трубной промышлености. – № 2011147981/02; заявл. 24.11.2011; опубл. 10.07.2013, Бюл. № 19. – 5 с.

9. Горюнова, Л.Г. Контроль технического состояния оправок непрерывного стана ТПА 159-426 с использованием нового диагностического комплекса на основе метода неразрушающего контроля магнитной памяти металла / Л.Г. Горюнова, В.В. Ананян // Сборник докладов международного научно-технического конгресса «ОМД 2014». Фундаментальные проблемы. Инновационные материалы и технологии. Ч. 2. – М.: ООО «Белый ветер», 2014. – С. 33–40.

К содержанию

УДК 621.771.26.06

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОПРОКАТА НА СОВРЕМЕННОМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ КОМБИНАТЕ

В.Г. Шеркунов, Ф.С. Дубинский, О.В. Загуменнов, М.Е. Моторыгин, В.С. Симачев

В настоящее время обеспечение грузовых и пассажирских перевозок в соответствии с потребностями различных отраслей промышленности обеспечивает стабильность и интенсивность развития экономики любого государства. Жесткие климатические условия в России, а также скорости передвижения подвижных составов до 250 км/ч формируют повышенные требования к железнодорожной технике и к железнодорожным рельсам, в частности. Российская Федерация занимает третье место в мире по объему потребления транспортного проката, уступая США и Китаю.

Ключевые слова: рельсобалочное производство, технологическая схема, сортовая прокатка, гидросбив окалины, закалки рельсовой стали, оператор прокатного стана, управление.

В 70–80 годы прошлого века Россия занимала лидирующие позиции в области развития технологии производства железнодорожных рельсов. К середине 90-х годов первенство в данной области было утрачено. На данный момент для обеспечения высокоскоростных магистралей дорогостоящие рельсы длиной 100 м приобретаются на заводах VoestAlpine (Австрия) и Nippon stell (Япония). Цена за тонну импортных рельсов превышает возможную цену российских поставщиков.

Современные и перспективные требования российских железных дорог к рельсам непосредственно вытекают из существующих и перспективных условий их эксплуатации и стратегии развития железнодорожного транспорта. Уже первый этап стратегии развития железнодорожного транспорта предусматривает коренную модернизацию производственной базы основных поставщиков отрасли и снятие ограничений в пропускных провозных способностях для того, чтобы обеспечить растущий спрос на грузовые и пассажирские перевозки. Приоритетами для ОАО «РЖД» являются развитие инфраструктуры и обеспечение безопасности движения.

Развитие и совершенствование рельсобалочного производства Российских производителей осуществлялось постепенно в несколько этапов. В 2010 году на предприятиях ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат» (ОАО «НКМК») и ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» (ОАО «НТМК»), входящих в состав Евраз Холдинга, был проведен первый этап реконструкции рельсобалочных цехов, заключающийся

в установке в термоотделениях объемной закалки новых линий отделки. В перечень установленного оборудования вошли современные правильные агрегаты, линии неразрушающего контроля, сверлильно-отрезные станки. Параллельно на ОАО «Челябинский металлургический комбинат» (ОАО «ЧМК») было возобновлено строительство всех участков рельсобалочного стана производства компании «Danieli». В 2012 году на ОАО «НКМК» был демонтирован действующий стан и началось строительство нового прокатного стана фирмы «SMS Meer». В 2013 году оба предприятия начали горячие испытания новых производственных линий. Рельсобалочный стан ОАО «ЧМК» производит качественные железнодорожные рельсы длиной до 100 метров с применением передовых технологий прокатки, закалки, отделки и контроля качества.

Современная технологическая схема производства рельсов показана на рисунке 1. Данная схема производства высококачественных рельсов является типовой для современных заводов во всем мире.

Технология рельсобалочных станов различных поставщиков и разработчиков оборудования включает в себя следующие этапы и агрегаты:

1. Нагрев заготовок в методических нагревательных печах. Большинство предприятий, выпускающих рельсовую продукцию, оснащены печами с шагающими балками. Техническое исполнение данных агрегатов позволяет вести равномерный нагрев металла. Качественный нагрев стали перед прокаткой позволяет получить равномерные свойства по всему сечению профиля, а так же требуемое качество поверхности.

2. Устройства гидросбива окалины установлены после нагревательной печи, а также на сторонах входа и выхода непрерывной группы клетей УГР (ультрагибкий реверсивный стан) и на входе в чистовую клеть. Внедрение такой технологии обеспечивает хорошее качество удаления печной, а также вторичной окалины и хорошее качество поверхности проката.

3. Разработан ряд современных процессов прокатки рельсов и балок, например процесс PSP (Profile Sizing Process) с применением компактных универсальных групп клетей SCC (Standart Core Concept) и отдельно стоящей чистовой клети (рис. 2). Подобная концепция устройства клетей широко применяется на современных рельсобалочных станах в Австрии, КНР, США, Индии, Турции.

Использование PSP процесса позволяет достичь:

1) высокое качество выпускаемой продукции с соблюдением строгих допусков размеров благодаря высокой жесткости и устойчивости клетей и гидравлической системе регулировки;

2) высокую эффективность производства;

3) возможность производства мелких партий заказов благодаря короткому времени смены программы прокатки.

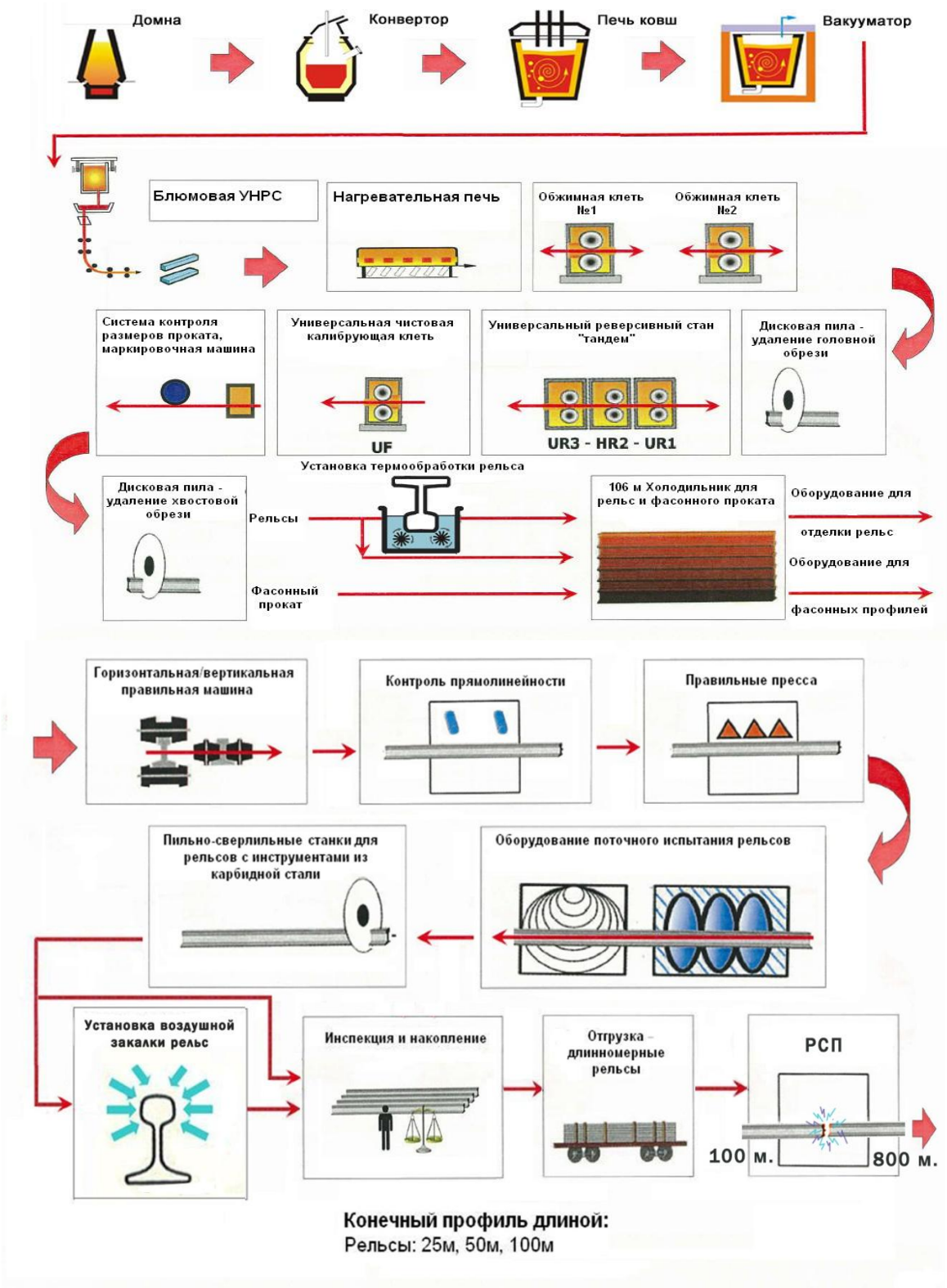


Рис. 1. Схема технологического процесса производства рельсов

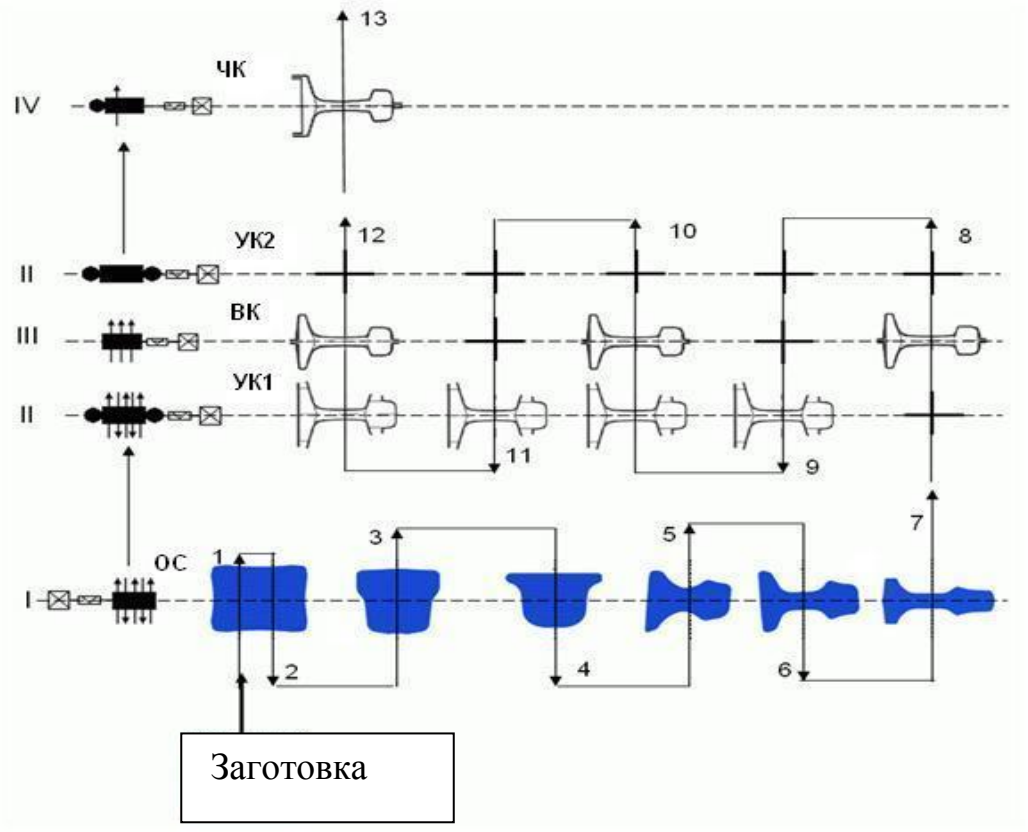


Рис. 2. Схема прокатки рельсов по способу PSP

В состав универсального рельсобалочного стана входят реверсивная обжимная клеть (обжимной стан ОС); непрерывная группа клетей УГР, состоящая из двух универсальных четырехвалковых реверсивных клетей (УК1 и УК2) и вспомогательной двухвалковой реверсивной клети (ВК); чистовая универсальная калибрующая (ЧК) клеть (рис. 2). В зависимости от схемы прокатки клети группы УГР и чистовая клеть могут работать как в четырехвалковом режиме, так и в горизонтальном двухвалковом. Универсальные клети позволяют получать балки и швеллеры с параллельными гранями полок и осуществлять прямое обжатие головки рельса, формируя тем самым необходимую мелкозернистую структуру, улучшая качество поверхности и гарантируя получение необходимой формы. Кроме того, прокатка в универсальных клетях обеспечивает одновременную равномерную деформацию всего профиля четырьмя валками, снижение напряжений в поперечном сечении рельса благодаря симметричной деформации (рис. 3), более высокую точность рельсового профиля из-за раздельной регулировки горизонтальных и вертикальных валков. При проектировании калибровки валков могут быть использованы рекомендации, полученные в работе.

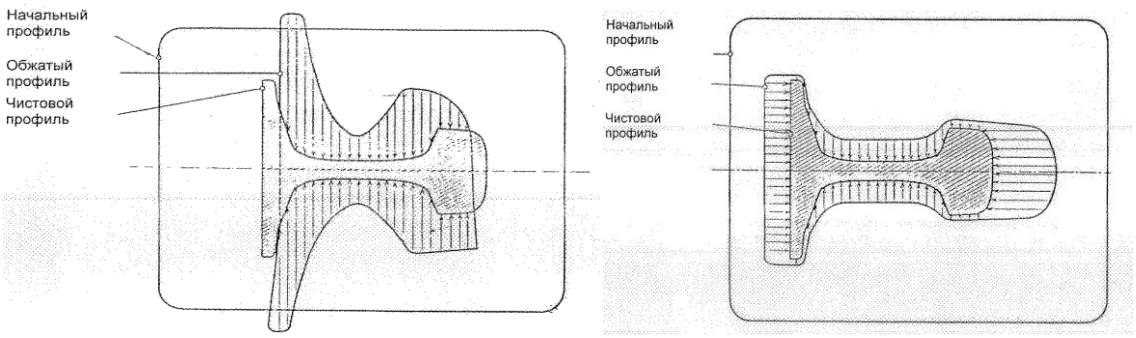


Рис. 3. Сравнение формообразование в двухвалковом и универсальном калибрах

4. Для получения требуемых свойств рельсового проката все производственные линии комплектуются установками дифференцируемого термического упрочнения. Достоинством этой технологии по сравнению с объемной закалкой является получение высокой прямолинейности рельсов, благоприятных остаточных напряжений и дифференцированной прочности по сечению рельса.

Наиболее распространенной технологией закалки, применяемой на заводах США, Японии, а так же российских предприятиях, является закалка головки рельса воздухом. Принцип данного способа термического упрочнения заключается в подачи струй воздуха на головку рельса из расчета удаления паровой рубашки с поверхности металла и передачи требуемой охлаждающей способности среды. Проведен сравнительный анализ закалки рельсовой стали с использованием различных охлаждающих сред: водных растворов полимера, сжатого воздуха и водовоздушной смеси. Наилучшую закалочную способность обеспечили водные растворы полимеров и водовоздушные смеси, наименьшую – сжатый воздух.

В настоящее время наилучшие эксплуатационные характеристики рельсов были получены на металле, прошедшем закалку в полимерной среде на заводе VoestAlpine (Австрия).

Принцип закалки рельсов на данном оборудовании заключается в погружении головки профиля в циркулирующий полимер определенной температуры и концентрации. При этом осуществляется интенсивный отвод тепла из шейки и подошвы рельса, что в совокупности обеспечивает требуемую скорость охлаждения головки и рельса в целом.

5. Одними из важнейших качественных показателей рельсов, влияющих на срок службы, являются прямолинейность и уровень остаточных напряжений в шейке профиля. Для получения требуемой прямолинейности на современных рельсовых предприятиях используются многовалковые правильных комплексы. Количество правящих роликов на горизонтальных правильных машинах может достигать 12 единиц. В сравнении с шестивалковыми машинами, широко применяемыми на российских предприятиях до недавнего времени, на современных РПМ возможно применение режимов мягкой правки, обеспечивающих низкий уровень остаточных напряжений в шейке рельса.

Вывод

Проведение реконструкции рельсобалочного цеха на предприятии ОАО «Евраз ЗСМК» (объединенные Новокузнецкий и Западносибирский металлургические комбинаты), а также строительство рельсобалочного цеха на ОАО «ЧМК» положило начало нового этапа развития производства транспортного металла в России.

Внедрение современных технологий и оборудования позволяет освоить производство высококачественных фасонных профилей и рельсов различного назначения в длине до 100 м, не уступающих продукции ведущих мировых производителей.

Пуск в эксплуатацию рельсобалочных станов позволит инициировать развитие смежных отраслей промышленности России, обеспечить Российские железные дороги и предприятия стройиндустрии металлопродукцией высокого качества по конкурентным ценам, а также снизить их зависимость от импортных поставок и конъюнктурных колебаний на международных рынках.

К содержанию

УДК 621.771.8

ВЛИЯНИЕ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИОННОГО ОТЖИГА НА СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПЛАКИРУЮЩЕГО СЛОЯ БИМЕТАЛЛА

Н.Т. Карева, А.П. Пелленен, А.А. Хабибуллин

Целью работы явилось исследование влияния отжига в протяжной печи на строение и свойства тонкой биметаллической ленты латунь Л90–алюминий АМг2–латунь Л90 после плакирования (сварки) холодной прокаткой. Отжиг при температуре печи в зоне выдержки 550 °С продолжительностью выдержки в течение более 180 секунд и последующим охлаждением на воздухе сопровождается образованием вздутий на поверхности пакета. Это объясняется увеличением уровня термических напряжений в присутствии образовавшихся во время выдержки хрупких интерметаллидов в диффузионной зоне. Снижение температуры отжига до 500 ºС позволяет уменьшить толщины диффузионного слоя, а также снизить уровень термических напряжений.

Ключевые слова: плакирование, биметаллическая лента, термообработка, отжиг, дефекты, диффузионная зона, интерметаллиды, термические напряжения.

Одним из способов изменения свойств поверхности изделия является в настоящее время плакирование путем нанесения на его поверхность другого металлического материала с требуемыми свойствами, например, с по-

вышенной коррозионной стойкостью. Соединение плакирующего слоя с основным материалом осуществляется разными путями: горячей и холодной прокаткой, сваркой взрывом и т.д.

Для обеспечения необходимого сцепления между слоями при использовании холодной прокатки необходима дополнительная термическая обработка, способствующая, во-первых, формированию переходной диффузионной зоны с образованием интерметаллидов разного состава и разной толщины. Кроме того, эта обработка должна обеспечить удаление холодного наклепа с тем, чтобы полученный пакет можно было довести до нужной толщины последующей дополнительной холодной прокаткой.

В настоящей работе приводятся результаты исследования влияния режима рекристаллизационного отжига биметаллического материала латунь Л90-магналий АМг2-Л90. Такой биметалл может использоваться, например, в теплообменниках (радиаторах) взамен дорогой чистой латуни.

Данные [1] свидетельствуют, что пакет, полученный из названных материалов с помощью холодной прокатки, полностью рекристаллизуется при температуре 380 °С за время не менее 1 часа. При этом механические характеристики (твердость, предел прочности, относительное удлинение) соответствуют требованиям. Однако в производственных условиях для повышения производительности процесса необходимо сократить длительность термообработки, используя проходные печи, где можно одновременно повысить температуру и сократить время пребывания ленты в зоне высоких температур [2].

Предварительные опыты показали, что нагрев до 550 °С для такого биметалла допустим: центральный слой из более легкоплавкого материала АМг2 еще не испытывает пережога (местного оплавления, развитие которого оценивалось микроструктурно).

Однако рекристаллизационный отжиг при температуре 550 °С продолжительностью выдержки в течение более 180 секунд и последующим охлаждением на воздухе, как оказалось, сопровождается образованием на поверхности пакета дефектов – вздутий (рис. 1). Плакирующий латунный слой при этом легко отделяется вручную от пакета.

Пузыри после отделения имеют более светлую окраску (рис. 2). Данные электронно микроскопического исследования (сканирующий микроскоп фирмы JEOL JSM – 6460 LV) свидетельствуют о хрупком разрушении по диффузионному слою в месте образования пузыря, прилегающего к Л90, который частично отделяется вместе с нею (рис. 3а, б). На фото (рис. 3б) отчетливо видны трещины в интерметаллидном слое. Основная часть этого слоя остается на поверхности магналия (рис. 3в, г). Общая толщина переходного слоя достигает 70–76 мкм.

Понижение температуры отжига на 50° до 500 °С позволяет устранить пузыри на поверхности биметалла. При этом уменьшается толщина переходного диффузионного слоя до 15–38 мкм (рис. 4).

Рис. 1. Пузыри на поверхности биметалла

Рис. 2. Строение поверхности биметалла после отделения плакирующей латуни (левая часть фото – латунь Л90, правая – Амг2). Отжиг при температуре в зоне выдержки 550 °С, время выдержки 360 секунд

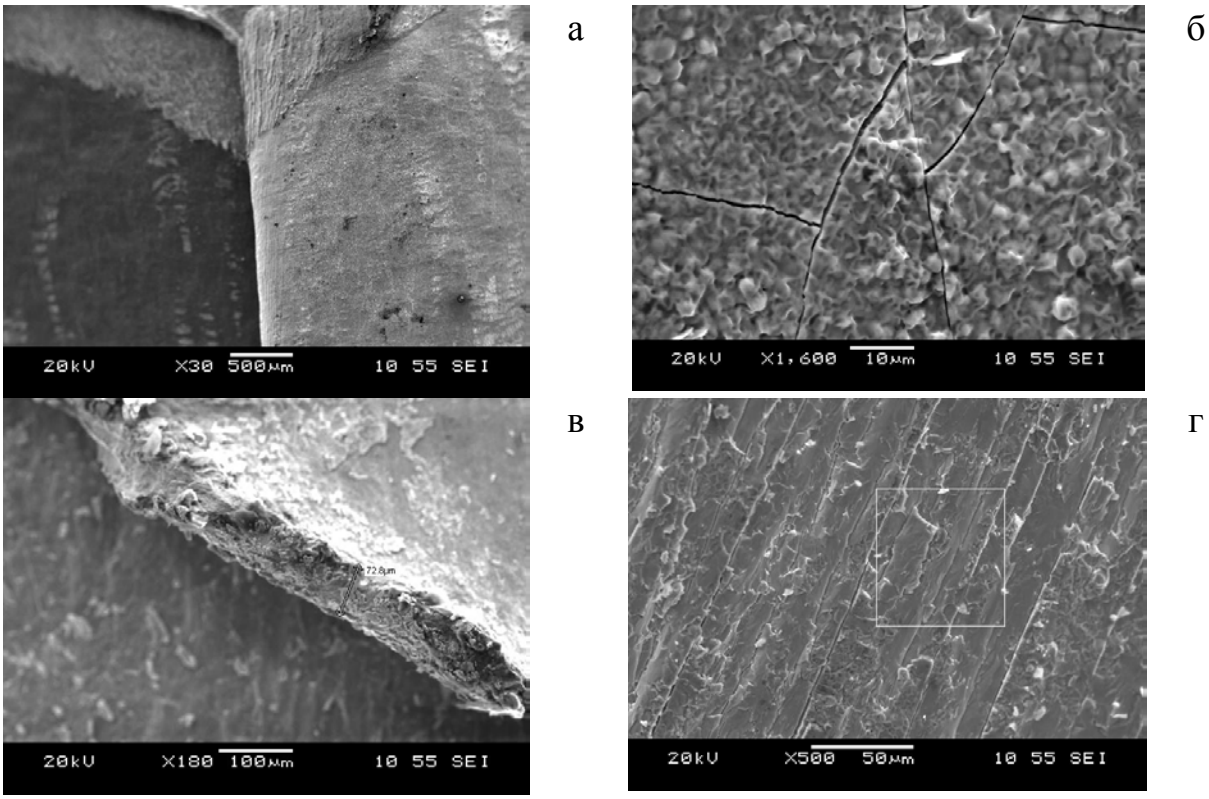


Рис. 3. Строение внутренней поверхности латунной пластины: а – место отделения плакирующей латуни (светлое поле справа) от темного магналия; б – общий вид внутренней поверхности латуни; в – темный магналий; г– поверхность хрупкого разрушения в области пузыря, сохранившаяся на магналии

Химические составы (по результатам микрорентгеноспектрального анализа) участков поверхности разрушения после отжига при 550 °С (спектры 4, 5, 6 , таблица) и диффузионного подслоя около пластины из Л90 (спектр 3, таблица) после такого отжига заметно отличаются в сторону более высокого содержания алюминия по сравнению с высоко температурным процессом при 550 °С.

Таблица

Химический состав биметалла в разных точках после отжигов.
Температура в зоне выдержки 500 °С, время выдержки 360 секунд
(спектры 1, 2, 3) и 550 °С – 360 секунд (спектры 4, 5, 6)

Спектр	Mg	Al	Mn	Cu	Zn
	% вес.				
1				89,35	10,65
2				89,45	10,55
3		20,59		74,75	4,66
4	–	28,1		67,97	3,93
5	5,06	30,04		65,12	4,03
6	5,06	39,32		54,38	1,24

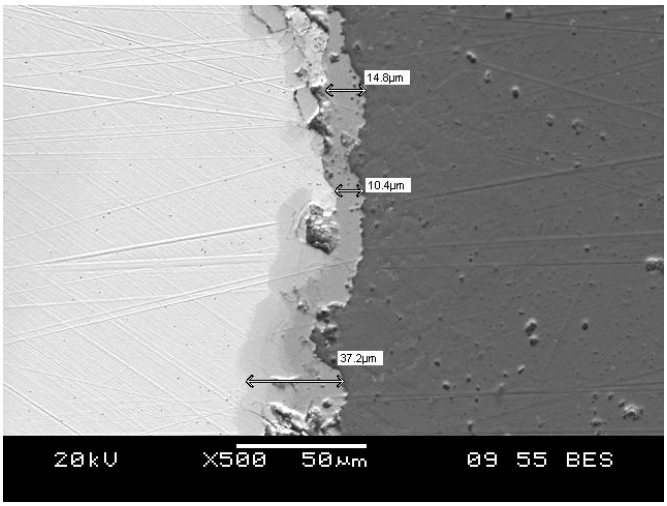


Рис. 4. Глубина и строение переходного диффузионного слоя
в биметалле после отжига. Отжиг при температуре
в зоне выдержки 500 °С, время выдержки 360 секунд

На процессы схватывания металлических поверхностей в ходе изготовления биметалла оказывает влияние множество факторов: от природы материала и деформации (вида, ее степени, скорости) до режима процесса отжига (скорость и температура нагрева, продолжительность выдержки, скорость охлаждения) [3].

В данной работе можно считать переменными факторы, связанные с термической обработкой; все остальное в проведенном эксперименте не претерпевало изменений.

Повышение температуры рекристаллизационного отжига до 550 °С сопровождается наибольшим увеличением уровня термических напряжений, возникающих в связи с неодинаковой скоростью нагрева и особенно последующего охлаждения поверхностных и внутреннего слоев биметалла, а также благодаря разнице в коэффициентах термического расширения составляющих биметалла. Причем, охлаждение инициирует в поверхностных слоях напряжения сжатия, тем более, в присутствии образовавшихся во время выдержки хрупких интерметаллидов в диффузионной зоне на стыке магналия и латуни. В результате латунь отслаивается, образуя дефект в виде вздутия на поверхности биметалла.

Как следует из данных эксперимента, избежать возникновения пузырей на поверхности плакированного пакета в протяжной печи можно, используя отжиг при температурах в зоне выдержки не выше 500 °С и продолжительностью от 80 до 360 секунд. Это достигается уменьшением почти вдвое толщины диффузионного слоя, изменением его химического состава, а также снижением уровня термических напряжений в плакирующем слое.

Заметим, вздутия образуются на поверхности горячее плакированного дюраля, при горячем цинковании сталей, когда тоже образуется диффузионный слой. Правда, в последнем случае появление вздутий на цинковом покрытии авторы [4] объясняют выделением водорода после химической подготовки поверхности изделий перед цинкованием.

Библиографический список

1. Исследование влияния отжига на строение и свойства биметаллических лент латунь-алюминий-латунь / Н.Т. Карева, А.П. Пелленен, А.А. Хабибулин, Д.М. Галимов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2014. – Т. 14. – № 1. – С. 54–60.

2. Гусовский, В.Л. Современные нагревательные и термические печи: конструкции и технические характеристики: справочник / В.Л. Гусовский, М.Г. Ладыгичев, В.Б. Усачев. – М.: Машиностроение, 2008. – 656 с.

3. Повышение качества поверхности и плакирование металл. Справ. / Под ред. К. Кнаушнера, пер. с нем. – М.: Металлургия, 1984. – 387 с.

4. Дефекты на горячеоцинкованных изделиях. Справ. / Под ред. Д. Хорстманна, пер. с нем. – М.: Металлургия, 1983. – 32 с.

К содержанию

УДК 621.791.75.01

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ МНОГОДУГОВОЙ СВАРКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

А.М. Уланов, М.А. Иванов

Многодуговая сварка под флюсом используется для сварки больших толщин и протяженных швов труб большого диаметра. В данной статье рассмотрена методика увеличения скорости сварки при производстве труб большого диаметра. На примере расчета параметров режима четырехдуговой сварки в математической модели, заложенной в основу программного комплекса «WeldCalc» подробно изложена последовательность действий. Во-первых, проводится подстройка математической модели под существующий режим. В данной статье проводится подстройка под данные сварки лабораторного образца толщиной 27,7 мм; с микрошлифа полученного сварного соединения снимаются геометрические размеры сварного шва (площадь сварного шва в частности). Исходные данные заносятся в программный комплекс «WeldCalc» и выполненный расчет проверяется по соответствию расчетной параметрам (погонной энергии сварки) с реальными значениями сварки образца. При несовпадении значений погонной энергии сварки проводится корректировка входных данных. Корректировка данных и подстройка математической модели происходит по коэффициентам долей участия каждой из дуг и коэффициентам напряжений Ku для каждой дуги до соответствия их значений реальному режиму сварки. После успешной реконструкции режима сварки увеличивают скорость сварки. При этом происходит изменение параметров режима сварки, однако при этом увеличивается суммарная мощность источников питания, а погонная энергия сварки не изменяется. Проведена сварка образца на новом режиме и проверка геометрических размеров соединения (высота, ширина, глубина проплавления, площадь сварного шва). Приведены полученные результаты.

Ключевые слова: трубы большого диаметра, четырехдуговая сварка, режим сварки, WeldCalc.

Для расчета параметров режима четырехдуговой сварки в разработанной математической модели [1, 2] необходимо провести подстройку ряда параметров под существующий режим сварки, данные которого были получены на лабораторном образце толщиной 27,7 мм (табл. 1). А так же для проведения расчета потребуются размеры геометрии выполненного сварного соединения (площадь сварного шва), определенные на вырезанном микрошлифе (рис. 1).

Таблица 1

Параметры режима сварки

№ п/п	Параметр	Значение
1	Сварочный ток на 1-й дуге, А	1180
2	Сварочный ток на 2-й дуге, А	900
3	Сварочный ток на 3-й дуге, А	800
4	Сварочный ток на 4-й дуге, А	780
5	Напряжение на 1-й дуге, В	32
6	Напряжение на 2-й дуге, В	34
7	Напряжение на 3-й дуге, В	37
8	Напряжение на 4-й дуге, В	39
10	Диаметр электродной проволоки, мм	4
11	Скорость сварки, см/с	2,4167
12	Погонная энергия сварки, кДж/см	54,21
13	Площадь сварного шва, см^2	2,2261

Исходные данные заносятся в программный комплекс «WeldCalc», реализующий математическую модель [1, 2, 3–7] (площадь сварного шва, количество дуг, диаметр электродной проволоки на каждой дуге, скорость сварки, распределение мощности между дугами).

Выполненный расчет проверяется по соответствию расчетной погонной энергии (табл. 2) сварки с реальными значениями (табл. 1, п. 12) сварки образца. В случае несовпадения расчетной погонной энергии сварки более чем на 5 %, необходимо провести уточняющий расчет площади сварного шва.

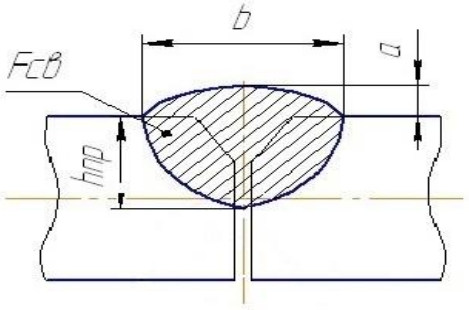


Рис. 1. Геометрические параметры
сварного соединения образца,
полученные четырехдуговой сваркой

Таблица 2

Расчетные значения погонной энергии и мощности сварки

№ п/п	Параметр	Значение
1	Погонная энергия сварки, кДж/см	54,1
2	Суммарная мощность сварки, кВт	130,8

По известному режиму сварки (см. табл. 1) рассчитываем коэффициенты долей участия каждой из дуг D^{I}, D^{II}, D^{III} (табл. 3) по следующей формуле:

$$I_{св2} = D^{I} I_{св1}, \quad (1)$$

$$I_{св3} = D^{II} I_{св2}, \quad (2)$$

$$I_{св4} = D^{III} I_{св3}, \quad (3)$$

Подбираем коэффициенты напряжений Ku для каждой дуги (табл. 4) до соответствия их значений реальному режиму сварки.

Подстройка под режим осуществляется посредством расчета и уточнения коэффициентов долей участия каждой из дуг D^{I}, D^{II}, D^{III} и коэффициентов напряжений Ku для каждой дуги.

Таблица 3

Значения коэффициентов долей участия каждой из дуг

Коэффициент	D^{I}	D^{II}	D^{III}
Значение	76	89	98

Таблица 4

Значения коэффициентов коэффициенты напряжений Ku для каждой дуги

Коэффициент	Ku 1-й дуги	Ku 2-й дуги	Ku 3-й дуги	Ku 4-й дуги
Значение	0,011	0,017	0,022	0,0255

После реконструкции режима сварки увеличиваем скорость сварки в 1,3 раза (рис. 2). При этом происходит увеличение суммарной мощности источников питания, тока, напряжения на каждой из дуг при неизменной погонной энергии сварки.

Таблица 5

Параметры нового режима сварки при повышенной скорости сварки

№ п/п	Параметр	Значение
1	Сварочный ток на 1-й дуге, А	1436
2	Сварочный ток на 2-й дуге, А	1092
3	Сварочный ток на 3-й дуге, А	972
4	Сварочный ток на 4-й дуге, А	952
6	Напряжение на 1-й дуге, В	34,8
7	Напряжение на 2-й дуге, В	37,6
8	Напряжение на 3-й дуге, В	40,4
9	Напряжение на 4-й дуге, В	43,3
11	Диаметр электродной проволоки, мм	4
12	Скорость сварки, см/с	3,1667
13	Погонная энергия сварки, кДж/см	54,1
14	Суммарная мощность сварки, кВт	171,4

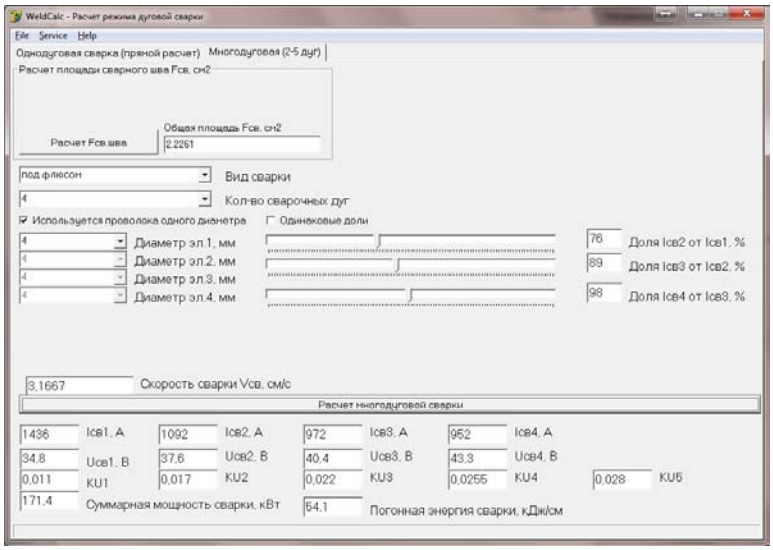


Рис. 2. Программный комплекс «WeldCalc» с расчетом сварного соединения образца, полученного четырехдуговой сваркой

Полученный режим для четырехдуговой сварки с увеличенной скоростью процесса был опробован на образце той же марки и толщины при сохранении того же флюса, электродной проволоки, разделки кромок, применявшиеся при сварке первоначального образца.

Из нового сварного соединения был изготовлен микрошлиф (рис. 3) и аналогично первому образцу были проанализированы геометрические размеры (высота, ширина, глубина проплавления, площадь сварного шва).

Рис. 3. Микрошлиф сварного соединения образца, выполненного четырехдуговой сваркой

Полученный сварной шов имеет удовлетворительное соотношения по коэффициентам формы шва и валика, то есть имеет хорошую геометрию шва (высоту, ширину, глубину проплавления, площадь сварного шва), достаточное проплавление. Таким образом, предложенная методика может быть использована при увеличении скорости четырехдуговой сварки труб большого диаметра.

Библиографический список

1. Уланов, А.М. К расчету режима четырехдуговой сварки труб большого диаметра / А.М. Уланов, М.А. Иванов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15. – № 1. – С. 53–56.

2. Иванов, М.А. К вопросу математического моделирования параметров сварки в производстве стальных труб большого диаметра / М.А. Иванов, А.М. Уланов // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Колокольцева. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та им. Г.И. Носова, –2012. с. 173-177.

3. Пат. 2011613354 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Расчет режима дуговой сварки Welding Rate Calculation» / М.А. Иванов, А.М. Уланов. – № 2011611511; заявл. 9.03.11; зарегистрировано 28.04.11.

4. Уланов, А.М. Расчет температуры сварочной дуги при многодуговой сварке / А.М. Уланов, М.А. Иванов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2014. – Т. 14. – № 1. – С. 93–95.

5. Иванов, М.А. Теоретический подход к расчету режима трехдуговой сварки под флюсом стыкового соединения деталей тележки рельсового транспорта / М.А. Иванов, А.М. Уланов, Ю.В. Безганс // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 146–149.

6. Уланов, А.М. Развитие технологии многодуговой сварки трубных сталей / А.М. Уланов, М.А. Иванов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2012. – Вып. 19. – № 39. – С. 152–154.

7. Уланов, А.М. Современный подход к разработке технологических параметров сварки в производстве труб большого диаметра / А.М. Уланов, М.А. Иванов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2012. – Вып. 19. – № 39. – С. 150–151.

К содержанию

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УДК 621.314.6+ 621.314.228

УЛУЧШЕНИЕ МАССОГАБАРИТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ С ДРОССЕЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Ю.И. Хохлов, В.В. Прохоров

Рассмотрены некоторые способы повышения быстродействия дроссельного управления мощными выпрямительными агрегатами, а также снижения установленной мощности дросселей насыщения и потерь энергии в них.

Ключевые слова: выпрямительные агрегаты, дроссельное управление, дроссель насыщения, установленная мощность дросселя насыщения.

Потребление электрической энергии в ряде энергоемких отраслей промышленности осуществляется на постоянном токе с использованием полупроводниковых диодных преобразователей. Применение управляемых вентилей зачастую нецелесообразно ввиду больших величин преобразуемой мощности. Вместе с тем, объекты электротехнологии и транспорта требуют оснащения выпрямительных агрегатов системами автоматического или ручного регулирования электрического режима. В установках электролиза алюминия, например, необходимо стабилизировать выпрямленный ток, поскольку от этого зависит производительность и устойчивость работы электролизеров. На подстанциях городского, промышленного и железнодорожного электрического транспорта для оптимальной работы необходимо поддерживать определенный уровень напряжения.

Эффективным способом управления диодными выпрямителями является дроссельное регулирование, которое для предотвращения резкого снижения энергетических показателей осуществляется в пределах одной ступени трансформаторного регулирования [1–4]. В докладе рассматриваются возможные пути повышения быстродействия такого управления, а также снижения установленной мощности дросселей насыщения (ДН) и потерь энергии в них.

Известны различные схемы включения дросселей насыщения для регулирования напряжения [1, 2]. Они различаются по месту включения рабочих обмоток и по способу соединения обмоток подмагничивания. Простейшим примером является мостовая схема, в которой дроссели насыщения включены последовательно с вентилями. Здесь число дросселей насыщения равно числу вентильных плеч. Величина выпрямленного напряже-

ния в такой схеме регулируется длительностью процесса выведения дросселей из ненасыщенного состояния путем изменения величины тока в их обмотках управления.

Основные недостатки такой схемы – неоптимальные массогабаритные показатели дросселей насыщения, большие потери энергии в них, а также малое быстродействие регулирования за счет инерционности изменения тока в цепи управления ввиду ее большой индуктивности.

С целью уменьшения избыточности мостовой схемы с дросселями насыщения в каждом вентильном плече дроссели противофазных вентильных плеч могут быть выполнены на одном магнитопроводе (рис. 1) [5]. Поскольку на один магнитопровод уложены две противофазные рабочие обмотки, каждый дроссель дважды за период выводится из ненасыщенного состояния, т.е. дважды задает угол управления.

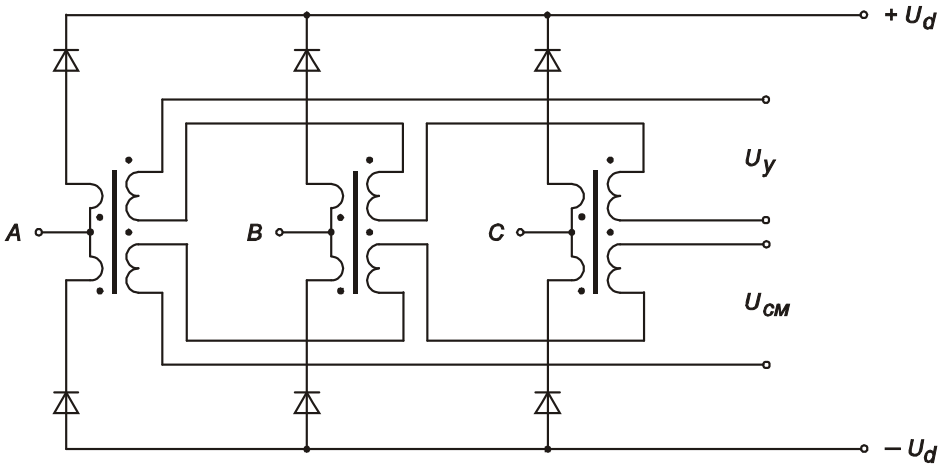


Рис. 1. Насыщения противофазных вентильных плеч на одном магнитопроводе

Оценим выигрыш в установленной мощности дросселей насыщения в схеме на рис. 1. Типовая мощность одного дросселя:

$$P_{\text{дн}} = 1{,}05 \frac{\pi}{6} \frac{1}{2\sqrt{2}} I_{\text{р}} \Delta U_{dm},$$

где $I_{\text{р}}$ – действующее значение тока рабочей обмотки, ΔU_{dm} – максимальная глубина регулирования выходного напряжения выпрямителя, коэффициент $1{,}05$ учитывает токи в обмотках смещения и управления.

Действующее значение тока в рабочей обмотке дросселя насыщения для схемы с шестью дросселями:

$$I_{\text{р 6дн}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{1 - \frac{\gamma}{2\pi}}\, I_d .$$

Здесь I_d – выпрямленный ток, γ – угол коммутации. Если пренебречь индуктивностью рассеяния обмоток трансформатора, то можно записать:

$$I_{\text{р 6дн}} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_d .$$

Поскольку каждый дроссель участвует в работе дважды за период напряжения сети, действующие значения токов рабочих обмоток в них будут:

$$I_{\text{р 3дн}} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \sqrt{1 - \frac{\gamma}{2\pi}}\, I_d ,$$

или при $\gamma = 0$:

$$I_{\text{р 3дн}} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} I_d .$$

С учетом этих соотношений установленная мощность шести дросселей насыщения:

$$P_{\text{6дн}} = 1{,}05 \frac{1}{2\sqrt{2}} \frac{\pi}{\sqrt{3}} I_d \, \Delta U_{dm},$$

установленная мощность трех дросселей насыщения:

$$P_{\text{3дн}} = 1{,}05 \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1}{2\sqrt{2}} \frac{\pi}{\sqrt{3}} I_d \, \Delta U_{dm}.$$

Очевидно, что:

$$P_{\text{3дн}} = \frac{1}{\sqrt{2}} P_{\text{6дн}},$$

т.е. установленная мощность дросселей насыщения в схеме на рис. 1 примерно в 1,41 раза меньше, чем в мостовой схеме с последовательно включенными ДН в каждом вентильном плече.

Можно отнести суммарную мощность дросселей насыщения к типовой мощности трансформатора, которая для трехфазной мостовой схемы определяется по формуле:

$$P_{\text{т}} = \frac{\pi}{3} I_d \, U_d .$$

Тогда:

$$P^*_{\text{дн}} = \frac{P_{\text{дн}}}{P_{\text{т}}} = 1{,}05 \frac{1}{2} \frac{1}{2\sqrt{2}} \frac{I_{\text{р}}}{I_d} \Delta U^*_{dm},$$

где $\Delta U^*_{dm} = \dfrac{\Delta U_{dm}}{U_d}$ – максимальная глубина регулирования выходного напряжения выпрямителя, приведенная к напряжению холостого хода;

$$P^*_{6дн} = 1{,}05\,\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}}\,\Delta U^*_{dm};$$

$$P^*_{3дн} = 1{,}05\,\frac{1}{\sqrt{2}}\,\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}}\,\Delta U^*_{dm}.$$

При 100-процентной глубине регулирования установленная мощность дросселей насыщения в процентах от типовой мощности трансформатора составила бы 64 % для схемы с шестью дросселями и 45 % для схемы с тремя дросселями. Но поскольку в реальных выпрямительных агрегатах глубина дроссельного регулирования в пределах одной ступени трансформатора не превышает, как правило, 5–10 %, установленная мощность ДН в процентах от типовой мощности трансформатора составит примерно 3–6 % и 2–4 % соответственно.

Таким образом, совмещение дросселей насыщения противофазных вентильных плеч на одном магнитопроводе позволяет снизить их установленную мощность, уменьшить потери электрической энергии в них, уменьшить габариты и упростить конструкцию преобразователя.

В [6] предложено схемное решение быстродействующего регулирования (рис. 2). Управляющие обмотки дросселей насыщения шунтируются тиристорами. Ток в обмотках смещения устанавливает исходное магнитное состояние дросселей на границе режима насыщения на обратной ветви кривой намагничивания, что задает максимальный угол дроссельного управления. При открывании тиристоров в обмотках управления образуются короткозамкнутые контуры, что приводит к насыщению дросселей. Это ограничивает длительность их выведения, а следовательно, и угол управления. Регулирование угла управления производится путем изменения фазы управляющих импульсов.

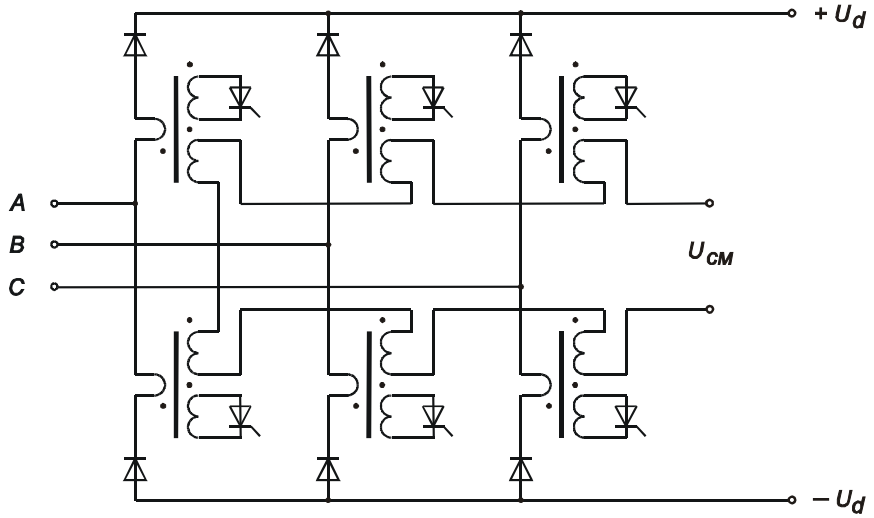


Рис. 2. Схемное решение быстродействующего регулирования

Схема на рис. 3 объединяет рассмотренные решения, позволяя осуществлять быстродействующее регулирование в схеме с тремя дросселями. Здесь каждый тиристор должен открываться дважды за период питающего напряжения.

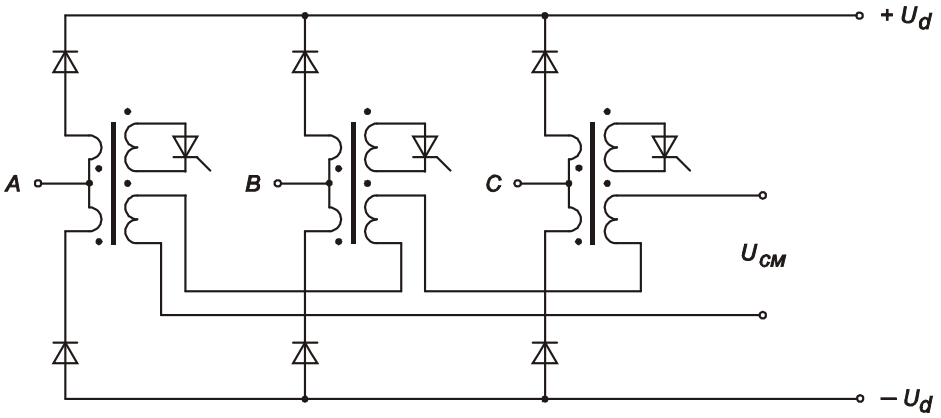


Рис. 3. быстродействующее регулирование в схеме с тремя дросселями

Следует заметить, что дроссельное управление, как и любое фазовое регулирование, сопровождается снижением энергетических показателей агрегатов. Эффективно применение дроссельного управления в компенсированных преобразователях [3, 4]. При этом наряду с нормализацией энергетических показателей улучшается и ряд других технических характеристик агрегатов. В частности, обеспечивается равномерное распределение тока между выпрямительными блоками, что позволяет упростить систему управления агрегатами, описанную в [7].

Библиографический список

1. Толстов, Ю.Г. Силовые полупроводниковые выпрямители, управляемые дросселями насыщения / Ю.Г. Толстов, Г.П. Мосткова, Ф.И. Ковалев. – М.: Наука, 1968. – 260 с.

2. Мосткова, Г.П. Сравнение схем включения дросселей насыщения при использовании их для управления трехфазным полупроводниковым выпрямителем / Г.П. Мосткова, Ф.И. Ковалев // Электромеханика. – 1962. – № 5.

3. Хохлов, Ю.И. Режимы работы компенсированных полупроводниковых выпрямителей с комбинированным способом регулирования напряжения / Ю.И. Хохлов, А.В. Баев // Промышленная энергетика. – 1974. – № 8. – С. 16–20.

4. Хохлов, Ю.И. Компенсированные выпрямители с фильтрацией в коммутирующие конденсаторы нечетнократных гармоник токов преобразовательных блоков / Ю.И. Хохлов. – Челябинск: ЧГТУ, 1995. – 355 с.

5. Патент 2100896 (РФ). Многофазный выпрямительный агрегат / Ю.И. Хохлов // Бюл. изобр. – 1997. – № 36.

6. Патент 1781793 (РФ). Управляемый выпрямитель / Ю.И. Хохлов // Бюл. изобр. – 1992. – № 46.

7. Система управления током серии электролизеров 21/22 корпусов АО «Братский алюминиевый завод» // Технический отчет по наладке и испытаниям. – Екатеринбург: АО «Российская электротехническая компания», 1996. – 21 с.

К содержанию

УДК 621.314.6+ 621.314.228

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В НЕКОМПЕНСИРОВАННЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЯХ С ПОВЫШЕНИЕМ ФАЗНОСТИ ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Ю.И. Хохлов, В.И. Сафонов, П.В. Лонзингер

Рассмотрены две схемы 24-фазных некомпенсированных выпрямителей, в которых повышенная фазность преобразования создается установкой фазоповоротных автотрансформаторов или применением индивидуальных для каждого 12-фазного преобразовательного блока устройств векторного управления. В MATLAB Simulink проведено компьютерное моделирование протекающих в схемах электромагнитных процессов при одинаковом режиме работы нагрузки. По результатам моделирования проведено сравнение гармонических и энергетических показателей токов и напряжений исследуемых схем. Сделан вывод о наличии в схеме с повышением фазности векторным управлением неравномерности распределение выпрямленного тока между 12-фазными выпрямительными блоками. Сформулированы рекомендации по устранению данной неравномерности и проведена оценка возможной области применения исследуемого выпрямителя.

Ключевые слова: некомпенсированный выпрямитель, векторное управление, повышение фазности преобразования, автономный инвертор напряжения, широтно-импульсная модуляция.

Введение

Характерной особенностью ведомых сетью статических некомпенсированных преобразователей является потребления реактивной мощности и несинусоидальность токов в питающей сети. При работе мощных выпрямительных агрегатов это вызывает дополнительные потери электроэнергии в элементах сети и понижение качества напряжения на шинах подстанции предприятия. Проблема потребления реактивной мощности эффективнее всего решается применением компенсированных преобразовательных агрегатов [1]. Улучшение гармонического состава сетевых токов мощных преобразовательных агрегатов решается повышением фазности преобразования [2]. Традиционно с целью повышения фазности преобразователей применяют преобразовательные трансформаторы со специальными схема-

ми соединения обмоток, а также фазоповоротные автотрансформаторы. Однако с развитием элементной базы устройств силовой электроники появилась возможность управления амплитудами и фазами питающих напряжений преобразовательных агрегатов посредством соответствующего подключения автономных инверторов напряжения с широтно-импульсной модуляцией (АИН с ШИМ) [3,4]. Это позволяет находить новые пути повышения фазности преобразовательных агрегатов.

Постановка задачи

На рис. 1 представлены две схемы 24-фазных некомпенсированных выпрямителей.

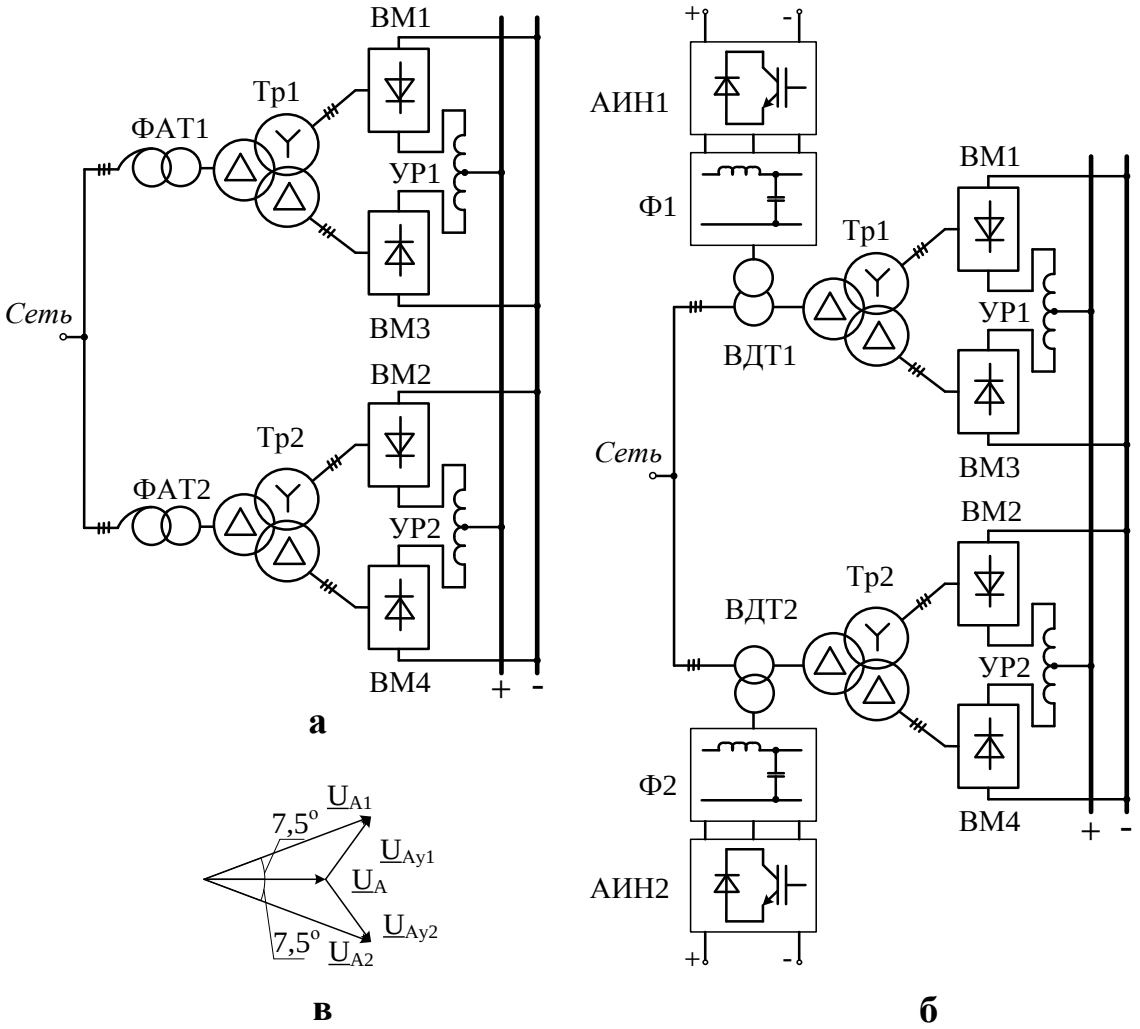


Рис. 1. 24-фазные некомпенсированные выпрямители:
а) – с фазоповоротными автотрансформаторами; б) – с векторным управлением;
в) – векторная диаграмма к рис.1б (Тр1 и Тр2 – преобразовательные трансформаторы;
ВМ1-ВМ4 – вентильные мосты, УР1 и УР2- уравнительные реакторы;
ФАТ1 и ФАТ2 – фазоповоротные автотрансформаторы; АИН1 и АИН2 –
автономные инверторы напряжения с ШИМ; Ф1 и Ф2 – низкочастотные фильтры)

В схеме на рис. 1а повышение фазности осуществляется установкой фазоповоротных автотрансформаторов. В схеме на рис. 1б – установкой устройств векторного управления, состоящих из автономных инверторов с ШИМ (АИН1 и АИН2) и низкочастотных фильтров (Ф1 и Ф2). Зажимы постоянного тока АИН присоединяют к звену постоянного тока активного выпрямителя, включенного параллельно к питающей сети (на схеме не показан). Внесением соответствующего напряжения управления каждым из АИН последовательно с напряжением сети обеспечивается соответствующий сдвиг по фазе между питающими напряжениями на входе преобразовательных трансформаторов. Векторная диаграмма для фазы А показана рис. 1в, где $\underline{U}_A$ – напряжение питающей сети, $\underline{U}_{Ay1}$ и $\underline{U}_{Ay2}$ – напряжения управления, создаваемые АИН1 и АИН2 соответственно, $\underline{U}_{A1}$ и $\underline{U}_{A2}$ – напряжения на входе преобразовательного трансформатора.

Для показанных на рис. 1 схем были созданы математические модели в среде MATLAB Simulink. Для преобразователя на рис. 1б устройства векторного управления в модели были заменены идеальными источниками ЭДС. Компьютерные модели составлены с соблюдением стандартных для мощных преобразовательных агрегатов допущений в соответствии со вторым уровнем абстракции [1]. Параметры моделей подобраны таким образом, чтобы получаемые при решении величины токов и напряжений были в 1000 раз больше соответствующих величин, выраженных в относительных единицах. Базисными величинами являются: $U_б = \frac{3}{\pi} E_{km}$; $I_б = h_2 \frac{E_{km}}{x_k}$, где E_{km} и x_k – ЭДС и индуктивное сопротивление контура коммутации; $h_2 = 4$ – число параллельно соединенных коммутирующих групп. Активное сопротивление нагрузки цепи постоянного тока $R_{d*} = 130{,}646$, сглаживающий реактор в цепи постоянного тока имеет индуктивность $L_d = 1$ Гн. Ветви уравнительных реакторов в модели представляют собой индуктивности $L_{ур} = 0{,}5$ Гн, не имеющие между собой магнитных связей. Относительное индуктивное сопротивление питающей сети $q = 0{,}3$. При решении выбран метод discrete с шагом дискретизации $T_s = 2$ мкс. Компьютерные модели используются для получения осциллограмм токов и напряжений исследуемых преобразователей, измерения коэффициента реактивной мощности в точке подключения преобразователя к питающей сети и гармонического анализа полученных временных зависимостей.

Результаты и их обсуждение

В результате моделирования получены осциллограммы выпрямленных напряжений всего преобразователя и его вентильных мостов, а также временных зависимости токов, потребляемых преобразователем из питающей сети. Зависимости токов и напряжений при $U_{d*} = 0{,}992$; $I_{d*} = 7{,}6 \cdot 10^{-3}$ показаны на рис. 2 и 3 для преобразователей на рис. 1а и 1б соответственно. Для преобразователя на рис. 1а сетевые токи (рис. 2б) содержат 23-ю и

25-ю гармоники, равные соответственно 2,54 % и 2,14 % от основной гармоники. 11-я и 13-я гармонические составляющие входных токов 12-фазных блоков не проникают в питающую сеть. Для сетевого тока коэффициент гармоник равен 3,39 %. Коэффициент реактивной мощности в точке подключения преобразователя к питающей сети $tg\varphi_{п} =$. Выпрямленное напряжение преобразовательного агрегата содержит 24-ю гармонику, равную 0,52 % от постоянной составляющей. В силу полной симметрии преобразователя все выпрямленные напряжения вентильных мостов имеют одинаковую форму с соответствующим сдвигом по отношению друг к другу на 15 электрических градусов.

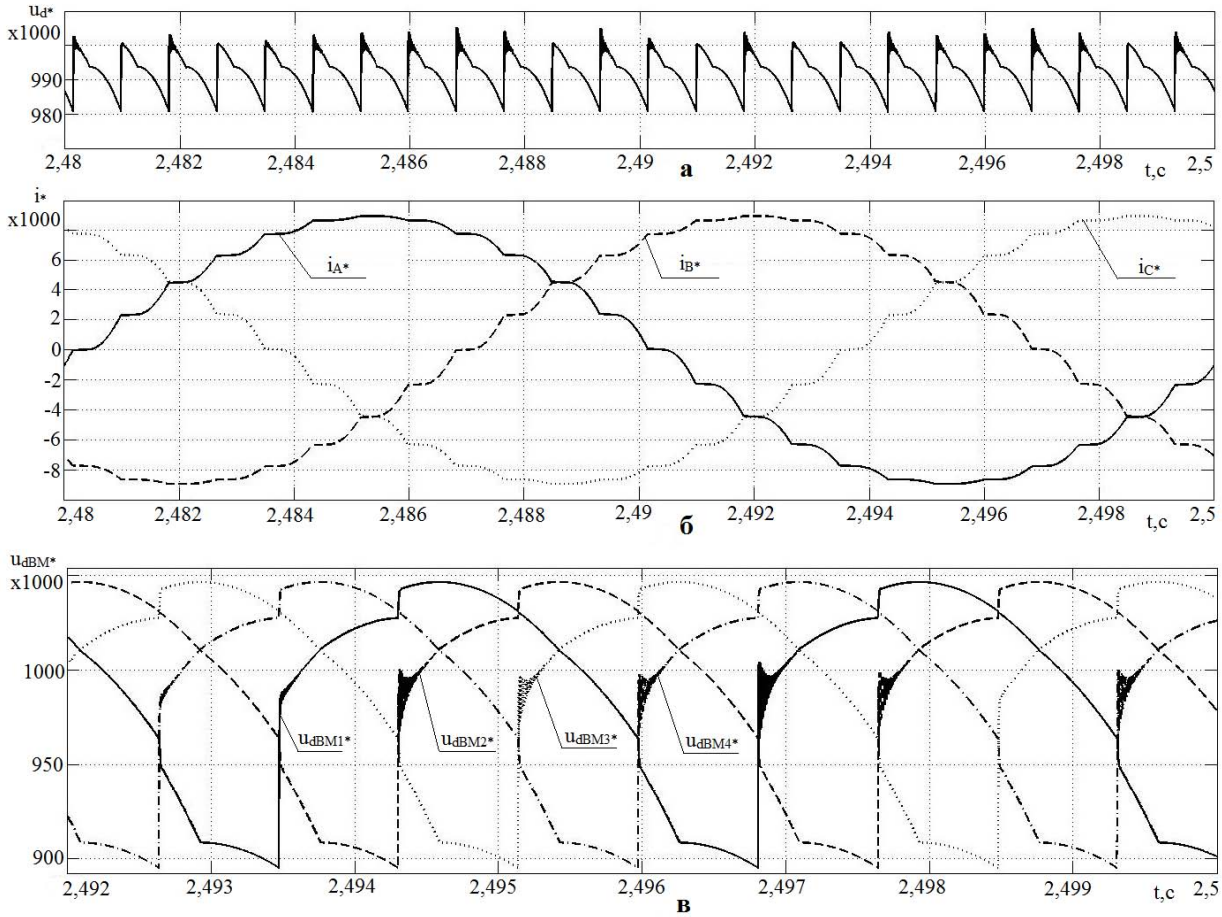


Рис. 2. Осциллограммы выпрямленных напряжений преобразовательного агрегата (а), вентильных мостов (в) и сетевых токов (б) 24-фазного некомпенсированного преобразователя на рис.1а

При существенной величине индуктивного сопротивления питающей сети напряжения на входе преобразовательного агрегата будут несинусоидальны. Характерной особенностью традиционных фазоповоротных устройств (например, фазоповоротных автотрансформаторов на рис. 1а) является обеспечение сдвига на требуемую часть периода напряжения питаю-

щей сети (в рассматриваемом случае – на 48-ю часть периода для каждого 12-фазного блока) всех гармоник входных напряжений преобразовательного агрегата. В случае повышения фазности векторным управлением (см. рис. 1б) фазосдвигающему воздействию подвергается только первая гармоника напряжения на входе преобразователя, а высшие гармоники трансформируются в контур коммутации обоих 12-фазных блоков без сдвигов. В результате наблюдается существенное различие в формах кривых выпрямленных напряжений для каждого из 12-фазных блоков (рис. 3в), что вызывает значительное различие выпрямленных токов вентильных мостов. Выпрямленные токи вентильных мостов, принадлежащих к разным 12-фазным блокам, отличаются примерно в 2 раза. Выпрямленное напряжение преобразовательного агрегата содержит 12-ю, 24-ю и 36-ю гармоники, равные соответственно 0,71 %, 0,43 % и 0,36 % постоянной составляющей.

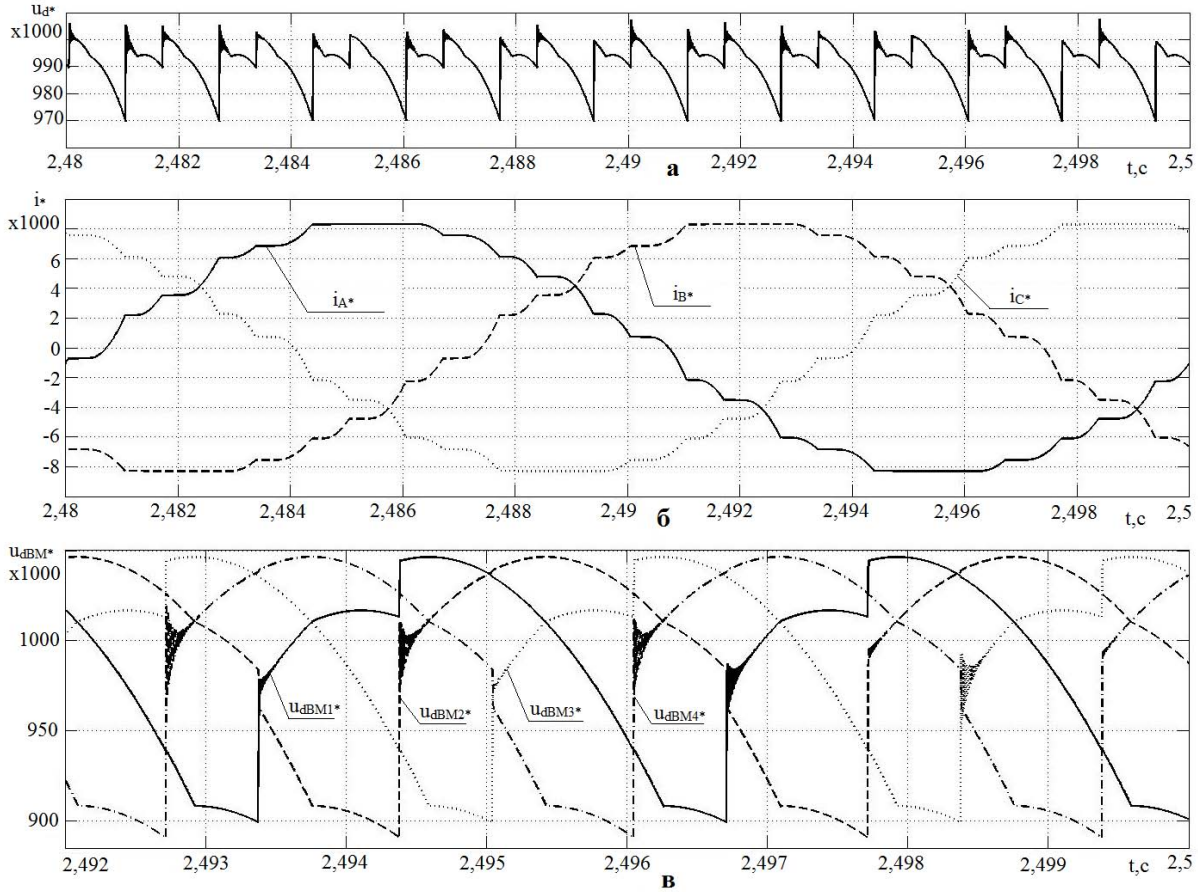


Рис. 3. Осциллограммы выпрямленных напряжений
преобразовательного агрегата (а), вентильных мостов (в)
и сетевых токов (б) 24-фазного некомпенсированного преобразователя
на рис. 1б при отсутствии симметрирования токов вентильных мостов

Сетевые токи содержат 11-ю, 13-ю, 23-ю и 25-ю гармоники, равные 2,29 %, 2,83 %, 2,44 % и 1,74 % соответственно от основной гармоники. Коэффициент гармоник сетевого тока равен 4,85 %. Коэффициент реактивной мощности в точке подключения преобразователя к питающей сети $\mathrm{tg}\varphi_{\text{п}} = 0$.

Указанное выше неравномерное распределение выпрямленного тока по 12-фазным выпрямительным блокам можно устранить, соответствующим образом изменив напряжения, вносимые АИН с ШИМ в контуры питания 12-фазных блоков. Для точного определения параметров напряжений управления требуется подробное аналитическое исследование электромагнитных процессов, протекающих в показанном на рис. 1б преобразователе.

Таким образом, применение показанной на рис. 1б схемы при указанных на рис. 1в параметрах векторного управления может оказаться целесообразным только в случае малого индуктивного сопротивления питающей сети (большой мощности короткого замыкания в точке подключения преобразователя к питающей сети). В остальных случаях целесообразно использование традиционных фазопоровотных устройств совместно с индивидуальными для каждого 12-фазного блока или общими для всего преобразователя устройствами векторного управления. В случае невозможности установки фазоповоротных устройств, в целях обеспечения равномерного распределения выпрямленного тока между 12-фазными выпрямительными блоками необходимо изменять параметры векторного управления индивидуальных устройств векторного управления в соответствии с найденными из теоретического исследования законами.

Выводы

Поскольку 24-фазный выпрямитель в случае применения традиционных фазоповоротных устройств обладает полной симметрией протекающих в нем электромагнитных процессов, установкой общего для всего 24-фазного агрегата устройства векторного управления можно обеспечить его управляемость при наименьшей установленной мощности оборудования. В этом случае характеристики выпрямителя в относительных единицах будут аналогичны соответствующим характеристикам 12-фазного преобразователя с векторным управлением [4]. Установка индивидуального устройства векторного управления для каждого 12-фазного блока совместно с традиционными фазоповоротными устройствами может оказаться целесообразной в целях недопущения ухода преобразователя в глубокий режим созданием малой несимметрии между 12-фазными блоками. Если, по каким-либо причинам, невозможно применение традиционных фазоповоротных устройств, необходимо применение индивидуального для каждого 12-фазного блока устройства векторного управления с соответствующими законами управления.

Библиографический список

1. Хохлов, Ю.И. Компенсированные выпрямители с фильтрацией в коммутирующие конденсаторы нечетнократных гармоник токов преобразовательных блоков / Ю.И. Хохлов. – Челябинск: ЧГТУ. – 1995. – 355 с.

2. Фишлер, Я.Л. Трансформаторное оборудование для преобразовательных установок / Я.Л. Фишлер, Р.Н. Урманов, Л.М. Пестряева. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 320 с.

3. Пат. 2333589. Российская Федерация. Способ управления многофазным выпрямительным агрегатом / Ю.И. Хохлов; заявитель и патентообладатель Юж.-Урал. гос. ун-т. – 2007109991/09; заявл. 19.03.2007; опубл. – 10.09.2008, Бюл. № 25. – 13 с.

4. Хохлов, Ю.И. Внешние и энергетические характеристики двенадцатифазных компенсированных выпрямителей с векторным управлением / Ю.И. Хохлов, В.И. Сафонов, П.В. Лонзингер // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2014. – Т. 4. – № 4– С. 37–45.

К содержанию

УДК 621.314.6

УПРОЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ДВЕНАДЦАТИФАЗНОГО КОМПЕНСИРОВАННОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

В.И. Сафонов, К.А. Джакупова

Предложена методика адаптации математической модели 12-ти фазного компенсированного выпрямителя с коммутацией в конденсаторы 5-ой и 7-ой гармоник для выполнения инженерных расчетов. Получены аппроксимационные формулы для анализа качества выпрямленного напряжения, качества электроэнергии в сети и выбора параметров элементов выпрямителя. Предложенная методика позволяет детализировать математическую модель введением дополнительных функций и дополнительных параметров.

Ключевые слова: 12-и фазный компенсированный выпрямитель, аппроксимационные функции.

Введение

Использование компенсированных выпрямителей с фильтрацией в конденсаторы 5-ой и 7-ой гармоник [1] позволяет осуществлять компенсацию реактивной мощности наиболее эффективно по сравнению с другими вариантами компенсированных выпрямителей.

Теоретическое исследование указанного 12-и фазного компенсированного выпрямителя выполнено [1] в предположениях, характерных для мощных выпрямителей [2], когда индуктивное сопротивление контура коммутации много больше активного сопротивления. В общем случае характеристики выпрямителя являются сложными функциями. Область применения зависимостей ограничивается основным режимом работы выпрямителя. Рабочий диапазон токов выпрямителя, как правило, не выходит за границы основного режима и не превышает 10 % от тока короткого замыкания. С учетом этих ограничений теоретически полученные характеристики выпрямителя могут быть аппроксимированы более удобными для практического использования функциями.

Конечным результатом анализа электромагнитных процессов в выпрямителе являются оценка качества выпрямленного напряжения, влияние выпрямителя на качество электрической энергии в сети и выбор параметров элементов выпрямителя. Качество выпрямленного напряжения определяется жесткостью внешней характеристики выпрямителя. Качество электроэнергии в сети определяется коэффициентом несинусоидальности напряжения в точке подключения выпрямителя, а также потребляемой им реактивной мощностью. Наиболее сложным является выбор конденсаторов компенсирующего устройства, работающих в несинусоидальном режиме. Поэтому для построения упрощенной модели выпрямителя авторы ограничились получением простых функций для указанных выше зависимостей.

Материалы и методы исследования

Математическая модель компенсированного выпрямителя сформирована [1, 3] в относительных единицах. Базисный ток равен току короткого замыкания, базисное напряжение – выпрямленному напряжению в режиме холостого хода. Все процессы в выпрямителе определяются параметром $\nu = X_C / X_k$, где X_k – сопротивление контура коммутации, X_C – сопротивление конденсаторной батареи для $f = 50$ Гц.

Порядок получения упрощенной функциональной зависимости рассмотрим на примере зависимости реактивной мощности. Сначала при заданном значении параметра ν выбираем вид аппроксимационной функции $Q_e(I_d) = AI_d + BI_d^2$. Коэффициенты A и B в функции вычисляем методом наименьших квадратов, используя набор значений выпрямленных токов из рабочего диапазона выпрямителя и соответствующие им точные значения [3] реактивной мощности. Правильность выбора аппроксимационной функции подтверждалось расчетом коэффициента корреляции, значение которого по модулю было близко к единице.

Выполнив указанный расчет для всего диапазона параметров ν от 0 до 6 для неизменного вида аппроксимационной функции $Q_e(I_d) = AI_d + BI_d^2$, по-

лучаем зависимости коэффициентов $A(\nu)$ и $B(\nu)$. Для этих зависимостей выбираем функции $A(\nu) = A_1 + B_1\nu^2$ и $B(\nu) = A_2 + B_2\nu^2 + C_2\nu^4$. Коэффициенты в них также вычисляем методом наименьших квадратов. Правильность выбора функций подтверждалась расчетом коэффициента корреляции.

Результаты и их обсуждение

В результате для реактивной мощности получается следующая аппроксимационная функция:

$$Q_e(I_d,\nu) = (0.128 - 1.508\cdot10^{-3}\nu^2)I_d + (2.969 - 0.069\nu^2 - 9.197\cdot10^{-4}\nu^4)I_d^2. \quad (1)$$

На рис. 1 показаны зависимости реактивной мощности от выпрямленного тока, построенные по точным зависимостям (точки) и по аппроксимационной формуле (линии). Из рис. 1 можно сделать вывод, что полученная зависимость достаточно точна и в рассматриваемом диапазоне может заменить точную функцию реактивной мощности. Предложенный алгоритм статистической обработки данных математической модели дает хороший результат. Наибольшую сложность в этом алгоритме представляет выбор простых и одновременно точных функций аппроксимации.

Для некомпенсированного выпрямителя $\nu = 0$ функция внешней характеристики имеет вид $U_d(I_d) = U_{d0} - XI_d$. В этом случае система электроснабжения относительно нагрузки заменяется [2] эквивалентным генератором с э.д.с. U_{d0} и внутренним сопротивлением X. Поэтому для внешней характеристики некомпенсированного выпрямителя была выбрана аппроксимационная функция вида:

$$U_d(I_d,\nu) = U_{d0}(\nu) - X(\nu)I_d. \quad (2)$$

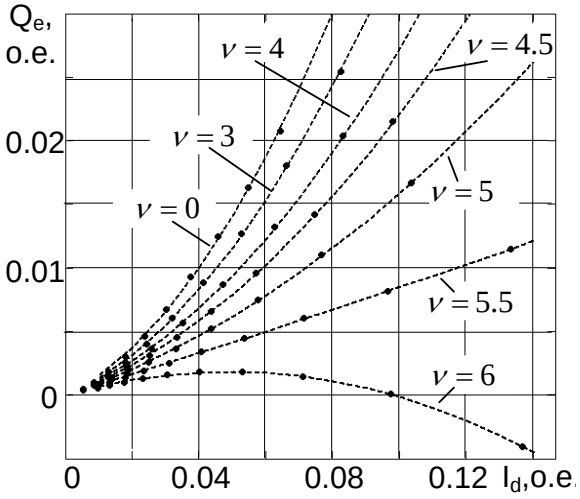


Рис. 1. Зависимость реактивной мощности

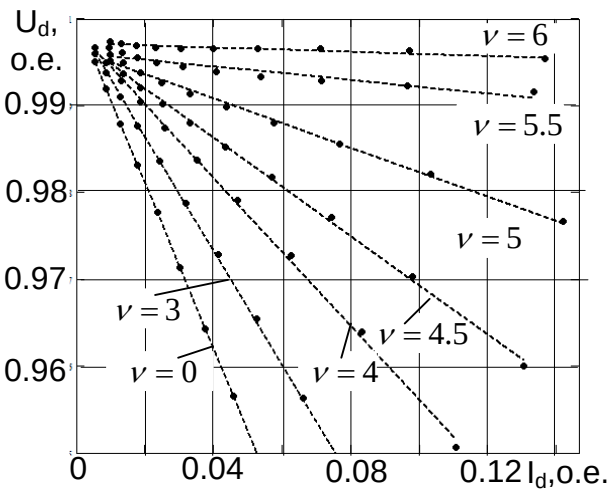


Рис. 2. Внешняя характеристика выпрямителя

На рис. 2 построены точные значение [1,3] внешней характеристики (точки) и результаты, полученные по аппроксимационной формуле (линии). Расчеты коэффициентов корреляции и построения на рис. 2 показывают, что для всего диапазона токов, кроме $I_d < 0.02$, и всего диапазона параметров ν от 0 до 6 выбранная функция правильно аппроксимирует данные математической модели. Для компенсированного выпрямителя система электроснабжения также может быть заменена относительно нагрузки эквивалентным генератором с э.д.с. $U_{d0}(\nu)$ и внутренним сопротивлением $X(\nu)$. Аппроксимационная зависимость для сопротивления генератора $X(\nu) = 0.096 - 3.292 \cdot 10^{-3} \nu^2$ при $\nu < 5$ и $X(\nu) = 0.725 - 0.25 \cdot \nu + 0.021 \nu^2$ при $5 < \nu < 6$. Аппроксимационная зависимость для э.д.с генератора $U_{d0}(\nu) = 1$ при $\nu < 2$ и $U_{d0}(\nu) = 1.001 - 1.526 \cdot 10^{-4} \nu^2$ при $2 < \nu < 6$.

Влияние активного сопротивления силового трансформатора и сети на внешнюю характеристику некомпенсированного выпрямителя в [2] учитывалось путем добавления активного сопротивления к внутреннему сопротивлению эквивалентного генератора. Аналогичную аппроксимационную формулу можно использовать и для некомпенсированного выпрямителя.

Для коэффициента несинусоидальности напряжения в точке подключения выпрямителя была получена аппроксимационная формула вида:

$$K_n(I_d, \nu) = ((-3.563 - 0.168\nu + 0.053\nu^2) I_d + (3.242 + 0.122\nu - 0.033\nu^2) I_d^{0.9}) X_s, \quad (3)$$

где X_s – индуктивное сопротивление сети. Сравнение точных [1,3] и приближенных расчетов показывает, что аппроксимация дает хорошие результаты, кроме малых значений токов $I_d < 0.02$. Формулой (3) можно пользоваться, если выпрямитель является основным генератором высших гармоник среди нагрузок, подключенных к секции шин.

В компенсирующем устройстве выбор номинального напряжения конденсаторной батареи, работающей в основном на 5-ой и 7-ой гармониках, по номинальному напряжению на основной гармонике осуществляется с учетом следующих условий [1]. Номинальное напряжение батареи должно быть больше расчетного действующего значения напряжения конденсатора. Номинальные потери в диэлектрике должны быть больше расчетных потерь. Номинальный ток конденсатора должен быть больше расчетного тока.

Каждое из этих условий позволяет пересчитать номинальное напряжение для конденсаторной батареи, умножая паспортное значение напряжения на коэффициент, зависящий от тока выпрямителя I_d и параметра ν. Из трех полученных значений необходимо выбрать наименьшее. Анализ зависимостей для трех условий показывает, что при всех значениях тока I_d и параметра ν определяющим является первое условие. Для этого условия получена аппроксимационная формула вида:

$$K(I_d,\nu) = 0.724 + (0.163 - 0.216\nu)I_d + (0.694 + 0.043\nu - 3.815\cdot 10^{-3}\nu^2)\sqrt{I_d}\ . \quad (4)$$

Таким образом, для определения номинального напряжения конденсаторной батареи, работающей на 5-ой и 7-ой гармониках, необходимо умножить паспортное значение напряжения при $f = 50$ Гц на коэффициент (4).

Рассмотренный вариант математической модели выпрямителя позволяет проще выполнять расчеты наиболее важных величин, характеризующих 12-ти фазный компенсированный выпрямитель. Также в упрощенную модель можно добавлять дополнительные параметры, например, активное сопротивление сети и обмоток силового трансформатора, отсутствующие в исходной математической модели. В этом случае исходные данные можно получать путем имитационного моделирования выпрямителя в Matlab Simulink. Конечные результаты анализа будут иметь вид аналитических функций, коэффициенты в которых рассчитаны численно. Применение предложенной методики также может быть полезно для получения аналитических результатов в более сложных моделях выпрямителя. Например, при исследовании совместной модели выпрямителя и активного или пассивного фильтра.

Выводы

1. Предложена методика адаптации математической модели 12-ти фазного компенсированного выпрямителя с коммутацией в конденсаторы 5-ой и 7-ой гармоник для выполнения инженерных расчетов.

2. Получены аппроксимационные формулы для расчета: реактивной мощности и коэффициента несинусоидальности в точке подключения выпрямителя; напряжения нагрузки; напряжения конденсаторной батареи.

3. Предложенная методика позволяет детализировать математическую модель введением дополнительных функций и параметров.

Библиографический список

1. Хохлов, Ю.И. Компенсированные выпрямители с фильтрацией в коммутирующие конденсаторы нечетнократных гармоник токов преобразовательных блоков / Ю.И. Хохлов. – Челябинск: ЧГТУ, 1995. – 355 с.

2. Фишлер, Я.Л. Трансформаторное оборудование для преобразовательных установок / Я.Л. Фишлер, Р.И. Урманов, Л.М. Пестряева. – М.: Энергоиздат, 1989. – 320 с.

3. Хохлов, Ю.И. Внешние и энергетические характеристики двенадцатифазных компенсированных выпрямителей с векторным управлением / Ю.И. Хохлов, В.И. Сафонов, П.В. Лонзингер // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2014. – Т. 14. – № 4. – С. 37–45.

К содержанию

УДК 621.316.1

МЕТОДЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 380 В

А.М. Ершов

Рассмотрены методы передачи информации в электрических сетях, используемые в системах релейной защиты, автоматики, учета электрической энергии и др. Проанализированы их возможности и недостатки. Приводится описание использования GSM-технологии при построении системы защиты электрической сети напряжением 380 В при обрывах фазных и нулевого проводов.

Ключевые слова: электрические сети; передача информации; релейная защита и автоматика.

Системы управления и мониторинга в электрических сетях разного уровня напряжений становятся все более интеллектуальными и разветвленными, требуя все большую пропускную способность различного рода каналов связи. В последнее время широкое распространение получают новые виды информационного обмена, основанные на проводных и беспроводных технологиях.

Передача информации на базе PLC-технологий. Неизменный интерес к средствам передачи информации по промышленным и бытовым электросетям обусловлен, прежде всего, возрастающей потребностью в сравнительно недорогих средствах связи массового применения. Идея передачи данных по электрической сети появилась еще в 1930-х гг. Первые системы передачи данных по линиям электросети, так называемые PLC-системы (Power Line Communication), появились более 70 лет назад. В основном они использовались для сигнализации в энергосистемах и на железных дорогах и имели очень низкую скорость передачи данных [6].

Современные достижения PLC-технологии обусловлены появлением соответствующей элементной базы, в том числе, сигнальных процессоров, с использованием которых были реализованы сложные способы модуляции сигнала, что и позволило, в конечном счете, увеличить достоверность передачи информации.

Электрические сети подразделяются на три класса: высоковольтные (100 кВ и более), линии среднего напряжения (4–50 кВ) и низковольтные (до 1 кВ). Структура сетей энергоснабжения и области применения PLC-технологии приведены на рис. 1.

Электрическая сеть – идеальная среда передачи управляющих сигналов между бытовыми приборами, работающими от сети 380 В [8]. Встроенные в различные приборы специализированные микросхемы могут обеспечить возможность приема/передачи данных через электросеть, а также обмен

данными через интернет. PLC-технология находит применение средствах учета потребления электроэнергии, воды, газа, тепла; системах охранной и пожарной сигнализации в дачных поселках, гаражных кооперативах; в системах жизнеобеспечения зданий (лифтах, системах кондиционирования и вентиляции и т.д.) и т.д. Фактически информационную сеть можно развернуть на любом участке, где уже имеются линии электроснабжения [7].

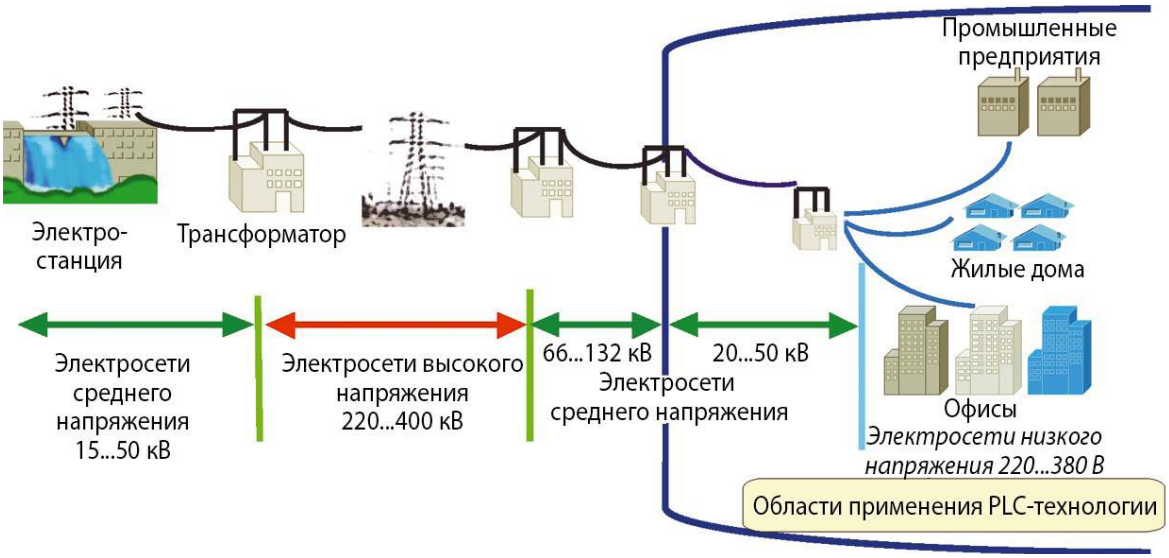


Рис. 1. Структура сетей электропередачи и области применения PLC-технологии

В России использование PLC-технологий при построении АИИС КУЭ особенно актуально и перспективно – ведь именно в нашей стране самая высокая в мире протяженность низковольтных линий электроснабжения. PLC-связь (или связь по низковольтной сети) осуществляется непосредственно по сетевым проводам напряжением 380 В (рис. 2). Это своеобразная трасса для передачи данных от счетчика к пульту контролера [1, 3].

Передача информации на базе GSM-технологий. Global System for Mobile Communication (GSM) – глобальная система подвижной связи; европейский цифровой стандарт; диапазон частот 890–960 МГц и 1710–1880 МГц.

Первая система, состоящая из одного шестиканального передатчика, была создана в североамериканском городе Сент-Луисе еще в 1946 году. Активное же внедрение сотовой связи началось значительно позже – первые коммерческие системы появились в Америке в 1979 году, а приобрели национальный масштаб только в 1983 году. В Европе в 1981 году появилась первая международная система, объединившая Норвегию, Данию, Швецию и Финляндию. В качестве стандарта была принята цифровая система компании Mannesmann, внедренная в 1991 году в Германии. Сегодня стандарт GSM и его версии приняты к использованию приблизительно в 80 странах мира [1, 4, 5].

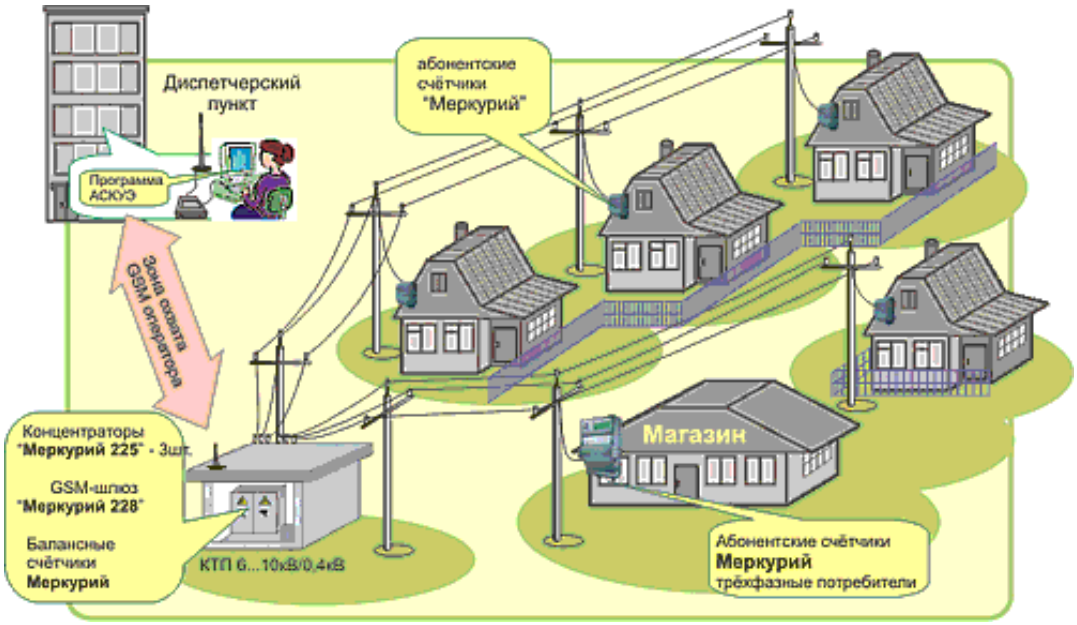


Рис. 2. Передача информации об отпуске электроэнергии в жилом массиве по воздушным линиям 380 В в трансформаторную подстанцию

Принцип построения сотовых систем вкратце состоит в следующем: в пределах территории действия сети устанавливается некоторое количество относительно маломощных стационарных приемо-передающих станций (базовых станций), каждая из которых имеет небольшую зону действия (обычно несколько километров). При этом зоны действия соседних станций несколько перекрывают друг друга, чтобы обеспечить возможность перемещения абонента из одной зоны в другую без потери связи. Чтобы такое перекрытие было возможным, соседние станции должны использовать различные рабочие частоты. Для полного покрытия определенной территории требуется как минимум три различные частоты, чтобы расположенные в виде треугольника станции могли иметь перекрытие зон обслуживания. Четвертая же станция может снова использовать одну из этих трех частот, так как она граничит только с двумя зонами. При таком подходе форма зоны действия каждой базовой станции представляет собой шестиугольник, а расположение этих зон в точности повторяет структуру пчелиных сот, что и дало название системам связи с подобным принципом построения.

На рис. 3 показано построение системы сбора и передачи информации об электропотреблении с использованием GSM-технологии [2]. На вводе жилых зданий абонентов устанавливаются микропроцессорные счетчики со встроенными GSM-модемами. При построении АСКУЭ многоквартирного дома данные счетчики устанавливаются в этажных (квартирных) щитах жилых зданий.

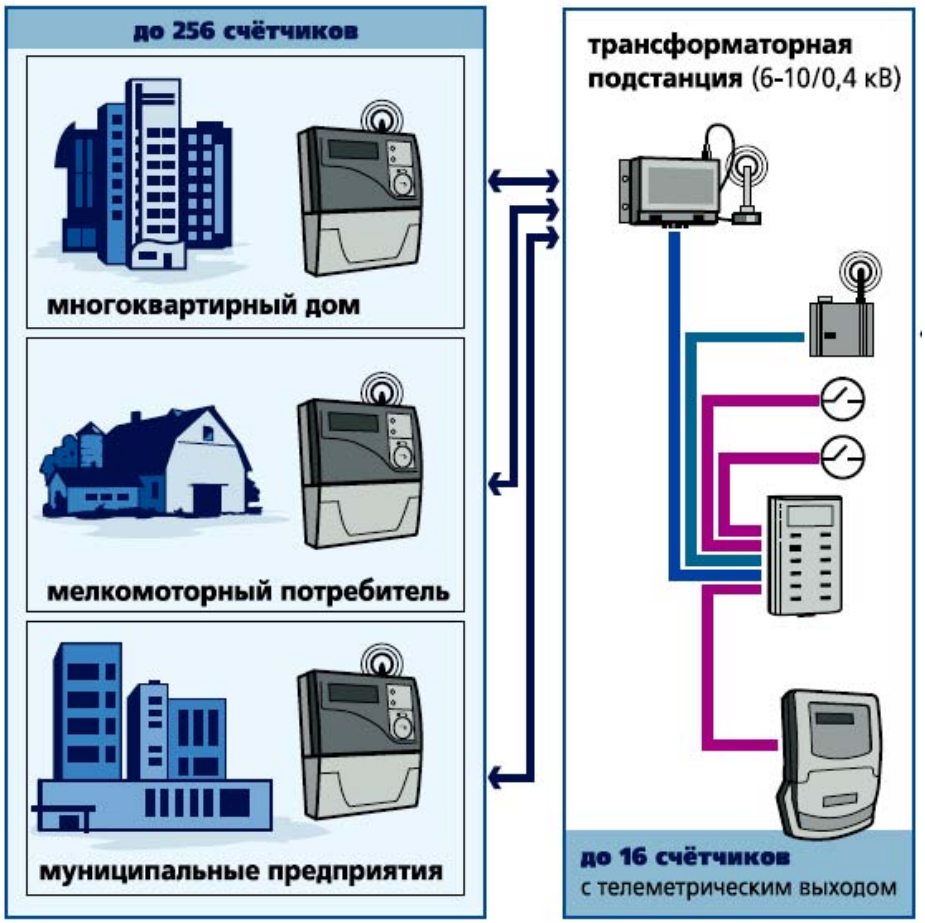


Рис. 3. Схема построения АСКУЭ потребителей
с использованием GSM-технологии

Основой системы являются многофункциональные микропроцессорные счетчики, которые позволяют исключить из состава АСКУЭ дорогостоящие устройства сбора и передачи данных (УСПД), тем самым повысить надежность измерительного канала, поскольку вся учетная информация хранится в цифровом виде в приборах учета и по интерфейсным каналам транспортируется непосредственно в канал связи. В качестве интерфейса встроен модуль GSM, что позволяет уйти от различного навесного оборудования и снизить вероятность хищения элементов системы, а также вторжения в нее. На контролируемом объекте находятся только счетчики. В качестве канала связи могут быть использованы GSM-каналы ведущих операторов сотовой связи, располагаемых на территории применения АСКУЭ.

Из обзора методов передачи информации от микропроцессорных счетчиков электроэнергии до центров сбора и учета данных можно сделать следующие выводы:

1. Для передачи информации в электрических сетях напряжением 380 В наиболее приемлемыми являются два варианта, основанные на использовании PLC- и GSM-технологий.

2. Передача информации по двум проводам воздушной линии с использованием PLC-технологий, с одной стороны, для эксплуатирующей организации экономически выгодна, т.к. на саму передачу информации (или команды) не требуется дополнительных средств. Но, с другой стороны, обрыв одного из передающих проводов будет приводить к принципиальной невозможности работы системы защиты от обрывов фазных и нулевого проводов воздушной линии.

3. Передача информации по GSM-каналу, несмотря на дополнительные затраты на приобретение средств связи, отличается простотой технического решения. Кроме того, принципиально не должны тратиться средства на саму процедуру передачи команды отключающего сигнала.

В связи с изложенным, принято решение о применении в системе защиты ВЛ-380 В от обрывов фазных и нулевого проводов канала связи с использованием GSM-технологии. Покажем возможность использования трехфазных микропроцессорных счетчиков электрической энергии для выявления обрывов фазных и нулевого проводов четырехпроводной воздушной линии электрической сети напряжением 380 В и передачи команды отключающего сигнала от микропроцессорного счетчика в трансформаторную подстанцию на коммутационный аппарат, установленный в начале воздушной линии, для отключения воздушной линии с повреждением.

На рис. 4 показан вариант построения системы защиты, построенный с использованием микропроцессорных счетчиков и передачи команды отключающего сигнала в трансформаторную подстанцию по GSM-каналу. Здесь показаны: трансформаторная подстанция напряжением 10/0,4 кВ с силовым трансформатором Т, от которой по четырехпроводной воздушной линии ВЛ-380 В питаются потребители электрической энергии; линия подключена к трансформаторной подстанции с помощью автоматического выключателя QF2; перед потребителями в зависимости от их мощности могут устанавливаться трехфазные или однофазные счетчики электрической энергии (в рассматриваемом случае показан только трехфазный счетчик); передача команды отключающего сигнала организована через сотового оператора телефонной связи GSM, для чего непосредственно в самом счетчике имеется GSM-модем, а в трансформаторной подстанции установлен приемный GSM-ключ; команда отключающего сигнала, принимаемая GSM-ключом, подается на блок отключения выключателя БОВ, который подавая напряжение на катушку управления независимого расцепителя НР, обеспечивает отключение автоматического выключателя QF2.

Микропроцессорный счетчик электрической энергии устанавливается на конечных участках ВЛ на вводе потребителя. При обрывах фазных и нулевого проводов формируется команда «сигнал отключения», которая по GSM-каналу передается на трансформаторную подстанцию, где с помощью блока отключения БОВ и автоматического выключателя QF2 должно обеспечиваться отключение поврежденной воздушной линии.

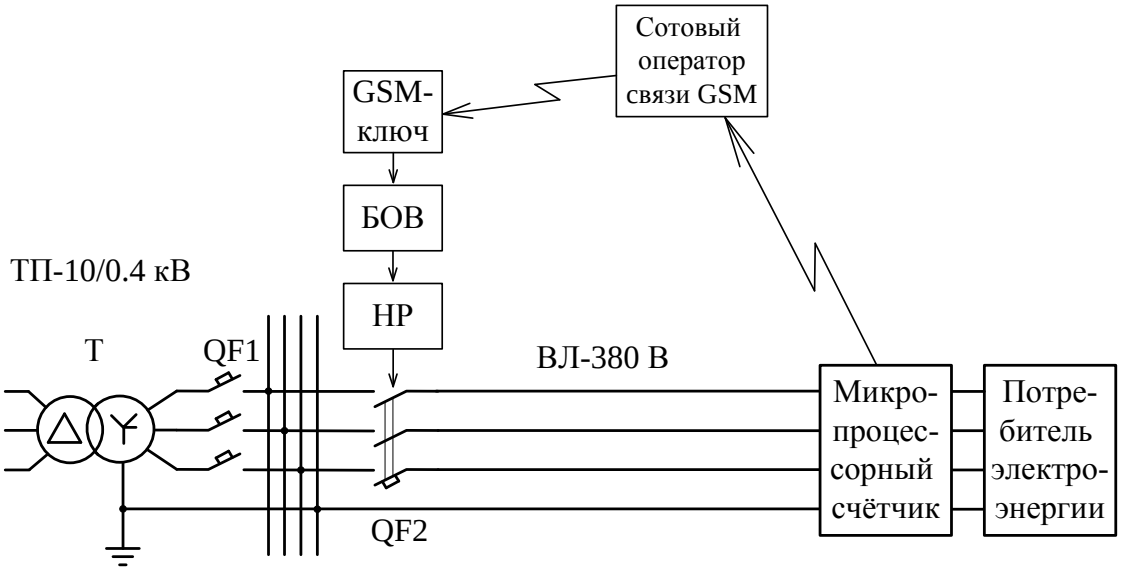


Рис. 4. Функциональная схема системы защиты
от обрывов фазных и нулевого проводов

На рис. 5 приведена схема формирования, отправки и передачи команды отключающего сигнала, которая содержит последовательно соединенные блок преобразования логического сигнала в телефонный звонок и GSM-телефон, входящие в состав микропроцессорного счетчика, сотовый оператор связи GSM и блок отключения автоматического выключателя QF2, находящегося в трансформаторной подстанции.

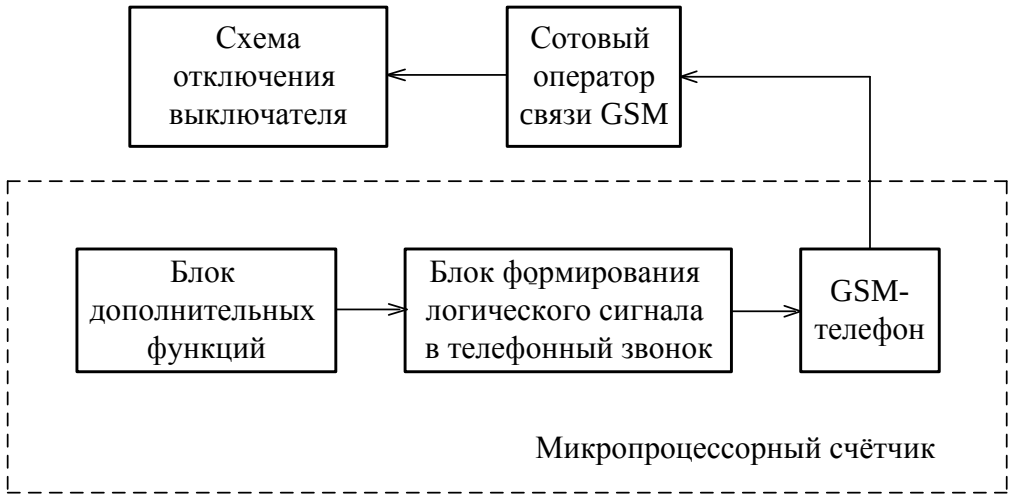


Рис. 5. Схема формирования, отправки и передачи
команды отключающего сигнала

Схема работает следующим образом. При возникновении аварийного режима работы электрической сети, когда на выходе блока дополнительных функций появляется логическая единица, следующий блок преобразует логический сигнал в телефонный звонок (команду отключающего сиг-

нала), а GSM-телефон обеспечивает дозвон через сотовый оператор связи GSM (канал связи) до схемы отключения автоматического выключателя QF2.

Схема отключения автоматического выключателя QF2 приведена на рис. 6. Здесь обозначено: GSM-ключ – модуль дистанционного управления, например, типа RC-101 по сети GSM; БОВ – блок отключения выключателя; V2 – симистор; QF2 – автоматический выключатель, в состав которого входят силовые контакты, вспомогательные контакты (1–4–2) и независимый расцепитель NX.

Модуль дистанционного управления типа RC-101 по сети GSM с помощью сотового телефона позволяет дистанционно включать и отключать электронную или электрическую аппаратуру и оборудование. При этом соединения между сотовым телефоном и модулем управления не происходит, переключение режимов (включение / выключение) происходит на стадии вызова. Соответственно GSM трафик не расходуется. После исполнения команды модуль дистанционного управления автоматически сбрасывает вызов.

Блок отключения БОВ предназначен для организации подачи напряжения на независимый расцепитель НР, который воздействуя на механизм расцепления автоматического выключателя QF2, размыкает его силовые контакты. Для подачи фазного напряжения ($U_Ф$ = 220 В) на независимый расцепитель НР используется полупроводниковый ключ, выполненный в виде симистора V2, управляемого блоком отключения выключателя БОВ.

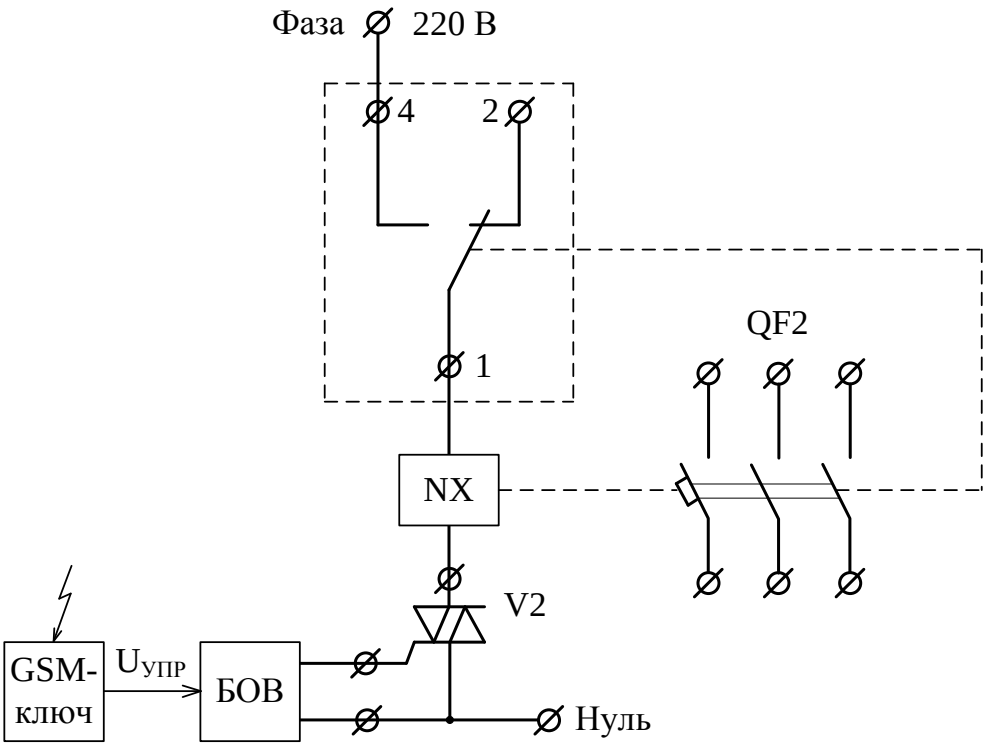


Рис. 6. Схема отключения автоматического выключателя QF2

При срабатывании GSM-ключа (модуля RC-101) на его выходе появляется напряжение $U_{УПР}$, которое открывает симистор V2. При этом на независимый расцепитель HP подается фазное напряжение $U_Ф$ = 220 В. Расцепитель HP, воздействуя на механизм расцепления автоматического выключателя QF2, размыкает его силовые контакты.

Заключение

Разработана организация передачи команды отключающего сигнала с использованием GSM-технологии от микропроцессорного счетчика до автоматического выключателя, устанавливаемого в начале воздушной линии (в трансформаторной подстанции) для ее отключения в случаях возникновения обрывов фазных и нулевого проводов.

Библиографический список

1. Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета потребления энергоносителей АИИС «Меркурий-ЭНЕРГОУЧЕТ». – М.: ООО «НПК «ИНКОТЕКС». – 2014. – 9 с.

2. АИИС КУЭ PLC. – Ставрополь: ЗАО «Электротехнические заводы «Энергомера», 2012. – 8 с.

3. АСКУЭ. Комплекс технических и программных средств «Энергомера» / Прозрачные решения. – Ставрополь: ЗАО «Электротехнические заводы «Энергомера», 2012. – 8 с.

4. Новиков, В.В. Интеллектуальные измерения на службе энергосбережения / В.В. Новиков // Энергоэксперт. – 2011. – № 3.

5. Осик, Л.К. Smart metering – «интеллектуальный учет» электроэнергии / Л.К. Осик // Новости электротехники. – 2011. – № 5(71).

6. Охрименко, В. PLC-технологии. Часть 1 / В. Охрименко // Электронные компоненты. – 2009. – № 10. – С. 58–62.

7. PLC-технологии. Безграничный потенциал для управления сетями // Новости электротехники. – 2007. – № 5 (47).

8. Тубинис, В.В. АСКУЭ бытовых потребителей. Преимущества PLC-технологии связи / В.В. Тубинис // Новости электротехники. – 2005. – № 2 (32).

К содержанию

УДК 621.311.4 + 621.316.925

УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ПОДСТАНЦИИ, ПИТАЮЩЕЙ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩУЮ СТАНЦИЮ

А.М. Ершов, К.Р. Манжуков, А.К. Бухмастов

Рассмотрены особенности построения систем электроснабжения нефтеперекачивающих станций; особенности режимов работы технологического оборудования; направления развития систем релейной защиты, автоматики, телемеханики и управления технологическими агрегатами.

Ключевые слова: электрические сети; нефтеперекачивающая станция; релейная защита и автоматика; цифровая подстанция; управление режимами работы.

Нефтеперекачивающие станции (НПС) магистральных нефтепроводов и схемы их электроснабжения по сравнению с обычными потребителями электрической энергии имею ряд особенностей. Эти особенности [2, 8, 9] рассмотрим на примере варианта схемы электроснабжения нефтеперекачивающей станции, приведенной на рис. 1.

НПС получают электроэнергию от районных подстанций энергосистемы с первичным напряжением 35, 110 или 220 кВ. Мощности силовых трансформаторов этих подстанций могут достигать до 63 МВА. На НПС выполняется, как правило, свое технологическое распределительное устройство напряжением 6–10 кВ, питающееся от районной подстанции.

НПС по требованиям надежности электроснабжения относят к 1-й категории. При этом все НПС должны получать питание от двух независимых источников питания [7]. Для обеспечения 100 %-го резерва пропускная мощность каждого силового трансформатора районной подстанции и каждая питающая линия должны соответствовать мощности, потребляемой НПС. Подвод электроэнергии от районной подстанции энергосистемы до технологического распределительного устройства НПС осуществляют как минимум по двум кабельным линиям, каждая из которых состоит не менее чем из двух параллельных кабелей.

На магистральных нефтепроводах строят насосные перекачивающие станции двух видов: головные и промежуточные. Головные станции располагаются в начале трубопровода (или в начале участка трубопровода) и служат для перекачки нефти и нефтепродуктов из резервуарных парков в магистральный трубопровод. Промежуточные станции предназначены для повышения давления перекачиваемых продуктов в магистральном трубопроводе. Перекачку нефти и нефтепродуктов в современных трубопроводах ведут по системе «из насоса в насос».

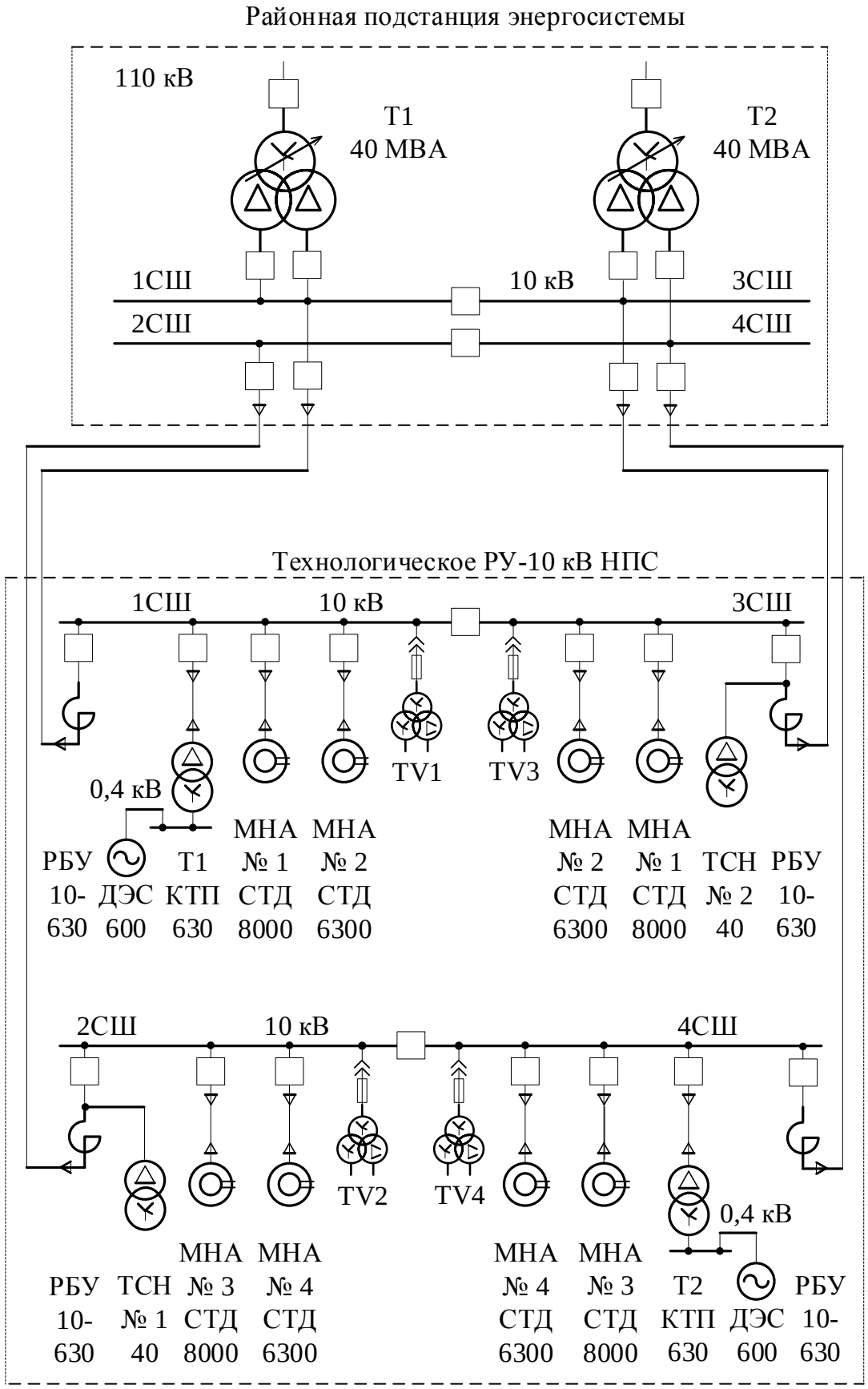


Рис. 1. Схема электроснабжения нефтеперекачивающей станции

Центробежный насос для перекачки нефти и его электродвигатель называют главным или магистральным насосным агрегатом (МНА), а подпорные насосы с его электродвигателем – подпорным насосным агрегатом (ПНА).

Для привода главных насосов на насосных станциях используют синхронные двигатели с частотой вращения 3000 об/мин, мощностью до 4000–8000 кВт. Для привода главных насосов НПС также находят применение двухполюсные короткозамкнутые асинхронные двигатели мощностью от 500 до 5000 кВт. Для привода подпорных насосов применяют синхронные и асинхронные двигатели мощностью до 1600 кВт [5, 9].

Для привода вспомогательных установок НПС применяют короткозамкнутые асинхронные двигатели напряжением 380 В мощностью 1–20 кВт. Для их электроснабжения используют двухтрансформаторные подстанции 6–10/0,4 кВ мощностью 400–1000 кВА с секционированными сборными шинами и АВР на стороне низшего напряжения.

Для питания ответственных потребителей (особой группы 1-й категории) в период перерыва электроснабжения от энергосистемы на время, большее 15–20 с предусматривают дизель-электрические станции (ДЭС) мощностью до 630 кВт, запускающиеся автоматически при исчезновении напряжения 6–10 кВ. К числу потребителей особой группы относят входная, выходная задвижки и задвижки для работы нефтепровода при отключившейся станции, противопожарный пенный насос и его задвижка, освещение насосной, противопожарная автоматика, системы автоматики и телемеханики насосной станции [10, 11].

Современные НПС оснащены системами диспетчеризации и управления электроснабжением (СДУЭ). СДУЭ предназначено для оперативного управления электроснабжением НПС, режимами их работы, планирования электропотребления, технического учета электроэнергии, а также контроля качества электроэнергии.

Структурная организация систем управления электроэнергетическими объектами в значительной мере определяется уровнем развития информационных и микропроцессорных технологий. Весьма распространенным типом энергообъекта является подстанция класса напряжения 110–220 кВ. В состав информационно-технологических систем подстанции наряду с другими входит система релейной защиты и автоматики (РЗА).

На смену традиционным и устаревшим системам релейной защиты и автоматики приходят цифровые подстанции. Под термином «цифровая подстанция» понимается подстанция с применением интегрированных цифровых систем измерения, релейной защиты, управления высоковольтным оборудованием, использующих цифровые трансформаторы тока и напряжения [1, 6].

Первые экспериментальные цифровые системы РЗА подстанции в конце 60-х годов XX в. строились на централизованном принципе. Причина заключалась в том, что использовать на подстанции несколько вычислительных устройств не представлялось возможным. Появление в 70-х годах микропроцессоров изменило ситуацию, создав предпосылки для построения распределенных систем РЗА. На начальном этапе внедрения микропроцессорных средств в технику релейной защиты одним из их достоинств называлась универсальность, т.е. способность решать различные задачи. Декларировалось, что одно вычислительное устройство может заменить несколько панелей РЗА. В то же время специфика функционирования систем РЗА заключается в необходимости обеспечении их высокой надежности. Технические средства систем РЗА включают в себя не только панели и шкафы устройств защиты, но и измерительные трансформаторы, кабельное хозяйство, средства связи (высокочастотные, оптоволоконные), источники оперативного тока. Для обеспечения требуемого высокого уровня надежности системы применяется дублирование ее функций в различных устройствах.

В соответствии с Нормами технологического проектирования (НТП) [6], различают функции основной и резервной защит. Система РЗА выполняет функции не только ближнего, но и дальнего резервирования, действуя при отказах защит или выключателей смежных элементов. Таким образом, при реализации функций системы РЗА предусматривается основное действие с двойным резервированием (троирование). При недостаточной чувствительности защит смежных элементов, выполняющих функции дальнего резервирования, НТП предусматривают усиление функции ближнего резервирования на защищаемом объекте путем установки третьего комплекта защит (он необходим в случае штатного вывода из работы одного комплекта и аварийного отказа другого). Для обеспечения эксплуатационной надежности функцию управления выключателем в большинстве случаев приходится, в соответствии с требованиями ОАО «ФСК ЕЭС», выносить в отдельное устройство. Несмотря на то, что средствами микропроцессорной техники в одном устройстве можно выполнить перечисленные функции трех устройств защиты и четвертого устройства – управления, на одном защищаемом присоединении приходится устанавливать до четырех отдельных устройств. В итоге количество микропроцессорных устройств защиты на подстанции 110−220 кВ нередко превышает сотню.

Таким образом, при переходе с электромеханической элементной базы на микропроцессорную, сокращения числа панелей (шкафов), практически не наблюдается и реализация функций РЗА требует значительного объема программно-аппаратных средств. Необходимость технико-экономической оптимизации информационно-технологических систем делает актуальной разработку концепции «цифровой подстанции» [1].

Переход на цифровые технологии связи на подстанциях позволит реализовать полноценный мониторинг и диагностику работы как отдельных интеллектуальных электронных устройств, промышленных сетей, высоковольтных ячеек, так и подстанции в целом.

Цифровая подстанция обеспечивает эффективное использование информации о процессах как на подстанции, так и на питаемом объекте; повышение согласованности действия различных видов оборудования, объединение функций защиты, управления и измерения.

Магистральные насосы НПС работают в длительном режиме с переменной нагрузкой. Основными факторами, влияющими на изменение режимов работы насосов и их электроприводов, являются переменная загрузка нефтепровода, вызванная как переменным режимом работы поставщиков нефти, так и переменным режимом работы потребителей; изменение параметров перекачиваемой нефти или нефтепродуктов вследствие изменения их состава; разного рода отказы как системы электроснабжения, так и технологического оборудования.

Основным способом обеспечения заданного режима работы нефтепровода в настоящее время является сочетание ступенчатого и плавного регулирования магистральными насосами. Современное состояние полупроводниковых преобразователей частоты, а также средств управления и регулирования позволяют заменить нерегулируемые электроприводы магистральных насосов большой мощности на регулируемые как на базе асинхронных, так и на базе синхронных двигателей. Оснащение электродвигателей МНА преобразователями частоты является перспективным не только для сбережения энергоресурсов, но и для автоматизации технологических процессов. Частотный преобразователь повышает управляемость магистрального насоса по параметрам технологического режима, позволяет минимизировать установленные на НПС мощности [10].

Первые частотно-регулируемые электроприводы магистральных насосных агрегатов НПС на территории СНГ были введены в эксплуатацию в 2002 году в КазТрансОйл. Основными результатами внедрения регулируемого привода явились: возможность плавного пуска электродвигателей; исчезли гидравлические удары в трубопроводе, снизились динамические нагрузки на торцевые уплотнения и радиально-упорные подшипники насосного агрегата; существенная экономия электроэнергии.

Заключение

В настоящее время в мире началось массовое внедрение решений класса «Цифровая подстанция», основанных на стандартах серии МЭК 61850, реализуются технологии управления SmartGrid, вводятся в эксплуатацию приложения автоматизированных систем технологического управления. Сегодня в России активно ведется работа над проектом цифровая подстанция. Ведущие российские фирмы предлагают свои решения для цифровой

подстанции. Применение технологии цифровой подстанции должно позволить в будущем существенно сократить расходы на проектирование, пуско-наладку, эксплуатацию и обслуживание энергетических объектов [3].

С развитием систем автоматизации и телемеханизации должны решаться задачи мониторинга параметров состояния технологического оборудования НПС, анализа режимов его работы в реальном масштабе времени.

Библиографический список

1. Алексинский, С.О. Варианты архитектурных решений релейной защиты и автоматики «цифровой подстанции» 110–220 кВ / С.О. Алексинский // Вестник ИГУЭ. – 2011. – № 1. – С. 1–5.

2. Бак, С.И. Электрификация блочно-комплектных установок нефтяной промышленности / С.И. Бак, С.П. Читипаховян. – М.: Недра, 1989. – 183 с.

3. Горелик, Т.Г. Цифровая подстанция. Подходы к реализации / Т.Г. Горелик, О.В. Кириенко, Н.А. Дени // Сборник докладов XXI конференции «Релейная защита и автоматика энергосистем». – М.: ФСК ЕЭС, 2012. – С. 10–17.

4. Инновации и развитие. – М.: ОАО «Россети», 2014. – 93 с.

5. Меньшов, Б.Г. Электротехнические установки и комплексы в нефтегазовой промышленности / Б.Г. Меньшов, М.С. Ершов, А.Д. Яризов. – М.: Недра, 2000. – 487 с.

6. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35−750 кВ (НТП ПС). Стандарт организации. Приложение к приказу ОАО «ФСК ЕЭС» от 13.04.2009, № 136. – М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2009. – 96 с.

7. Правила устройства электроустановок: утв. Приказом Минэнерго России от 20 июня 2003 г. № 242 / М-во энергетики Российской Федерации. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 750 с.

8. Руководящий документ РД-17.01-60.30.00-КТН-009-1-04. Регламент обеспечения устойчивой работы НПС ОАО «АК Транснефть» при отключении одного источника электроснабжения.

9. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение предприятий и установок нефтяной промышленности / Ю.Д. Сибикин, В.А. Яшков. – М.: Недра, 1997. – 285 с.

10. Шабанов, В.А. Основы регулируемого электропривода основных механизмов бурения, добычи и транспорта нефти: учеб. пособие / В.А. Шабанов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2009. – 156.

11. Шабанов, В.А. Проектирование электротехнических комплексов нефтегазовой отрасли: учеб. пособие / В.А. Шабанов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2006. – 70 с.

К содержанию

УДК 621.316.1 + 621.315.1

ИССЛЕДОВАНИЕ НА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ НЕСИММЕТРИИ НАГРУЗОК ФАЗ ДВУХ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ ВЛ 380 В НА ВЕЛИЧИНУ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ И ИХ СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В НОРМАЛЬНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ СЕТЕЙ

Г.С. Валеев, Р.Г. Валеев, А.М. Ершов, С.А. Колесников

Приведена компьютерная модель электрической сети, состоящей из трехфазного источника, понижающего трансформатора и двух ВЛ 380 В с сосредоточенными нагрузками в конце, и результаты исследований режимных параметров сети в функции степени несимметрии нагрузок фаз в нормальных эксплуатационных режимах работы при различных сочетаниях сопротивлений заземляющих устройств потребителей.

Ключевые слова: электрические сети, воздушные линии напряжением 380 В, несимметрия нагрузок фаз.

Исследованию процессов, происходящих в электрических сетях напряжением 380 В, выполненных воздушными линиями (ВЛ), посвящено достаточно много работ, проведенных в различные периоды времени становления и развития распределительных сетей указанного выше напряжения. Значительная часть этих работ была направлена на установление характерных признаков, присущих аварийным режимам и разработке на их основе средств защиты электрических сетей и повышения уровня их электробезопасности.

Одним из основных звеньев таких защит является устройство распознавания аварийных режимов, в которых производится выявление признаков аварий. В качестве таких признаков, как правило, принимаются допустимые граничные значения величин контролируемых параметров в нормальных эксплуатационных режимах работы сети, таких как фазные напряжения, токи и их симметричные составляющие.

Следует отметить, что на величину модулей и фаз напряжений, как фазных, так и линейных, а также токов и их распределение в сети оказывает влияние множество факторов, такие как технические параметры понизительных трансформаторов, их внешние характеристики, параметры воздушных линий, величины и места расположения повторных заземлителей нулевого провода, сопротивления заземляющих устройств потребителей и трансформаторных подстанций, степень загрузки фаз ВЛ и их несимметрия, наличие разветвленных параллельно работающих линий, распределение нагрузок вдоль линии, характер нагрузок и многое другое.

Учитывая вышесказанное, нетрудно предположить, что аналитическое решение задачи по определению указанных режимных параметров с учетом всех влияющих факторов представляется довольно сложным и трудоемким процессом. Поэтому без применения мощной вычислительной техники и соответствующих программных продуктов провести глубокое и всестороннее исследование режимных параметров (токов, напряжений и мощностей) с учетом целого комплекса влияющих факторов практически труднореализуемо.

С появлением универсального программного комплекса «Matlab» с приложением к нему пакета «Simulink» у исследователей появилась возможность проведения исследований режимных параметров сети с учетом практически всех обозримых факторов, оказывающих в той или иной степени влияние на интересующие исследователя параметры.

С целью проведения достаточно глубоких и всесторонних исследований влияния вышеуказанных факторов на величину токов и напряжений фаз сети, их симметричных составляющих, а также взаимной ориентации указанных величин на комплексной плоскости, сотрудниками кафедр «Системы электроснабжения» и «Безопасность жизнедеятельности» была создана серия компьютерных моделей электрической сети напряжением 380 В типа TN-C, выполненных воздушными линиями. Модели созданы в программном комплексе «Matlab» с использованием пакета «Simulink». Адекватность работы компьютерной модели подтверждена результатами прямых измерений в реальных опытной сети, построенной на учебном полигоне филиала ОАО «МРСК Урала»-«Челябэнерго».

В реальных сетях напряжением 380 В, выполненных воздушными линиями, к сборным шинам 0,4 кВ одной трансформаторной подстанции в большинстве случаев подключается несколько линий. Поэтому устройства распознавания аварийных режимов во избежание ложных отключений линий должны обладать селективностью работы. Наиболее простым случаем такой сети, позволяющей в первом приближении решать подобную задачу, является сеть с двумя ВЛ, нагрузки которых сосредоточены в конце каждой из них. На рис. 1 представлена ее компьютерная модель.

Подробное описание компьютерной модели простейшей сети, состоящей из последовательно соединенных трехфазного источника, понижающего трансформатора, неразветвленной воздушной линии с сосредоточенной нагрузкой в конце, приведено в [1]. Там же приведено и детальное описание отдельных блоков компьютерной модели сети, а также методики определения параметров, запрашиваемых этими блоками.

В компьютерную модель сети, представленной на рис. 1, заложены следующие сетевые данные: номинальная мощность трансформатора – 160 кВ·А; обе воздушные линии напряжением 380 В выполнены проводом марки АС сечением 35 мм^2; длина каждой ВЛ – 200 м; сопротивление заземляющих устройств ТП составляет 4 Ома, повторных заземлителей нулевого провода – 28 Ом.

Так как значительная часть нагрузок воздушных линий напряжением 380 В являются однофазными, то в нормальных их эксплуатационных режимах часто наблюдается значительная несимметрия нагрузок фаз. Это, как известно, вызывает появление в сети напряжений обратной и нулевой последовательности. Кроме того, при этом наблюдаются и существенные отклонения фазных напряжений и токов в фазах ВЛ от их значений при симметричных нагрузках фаз.

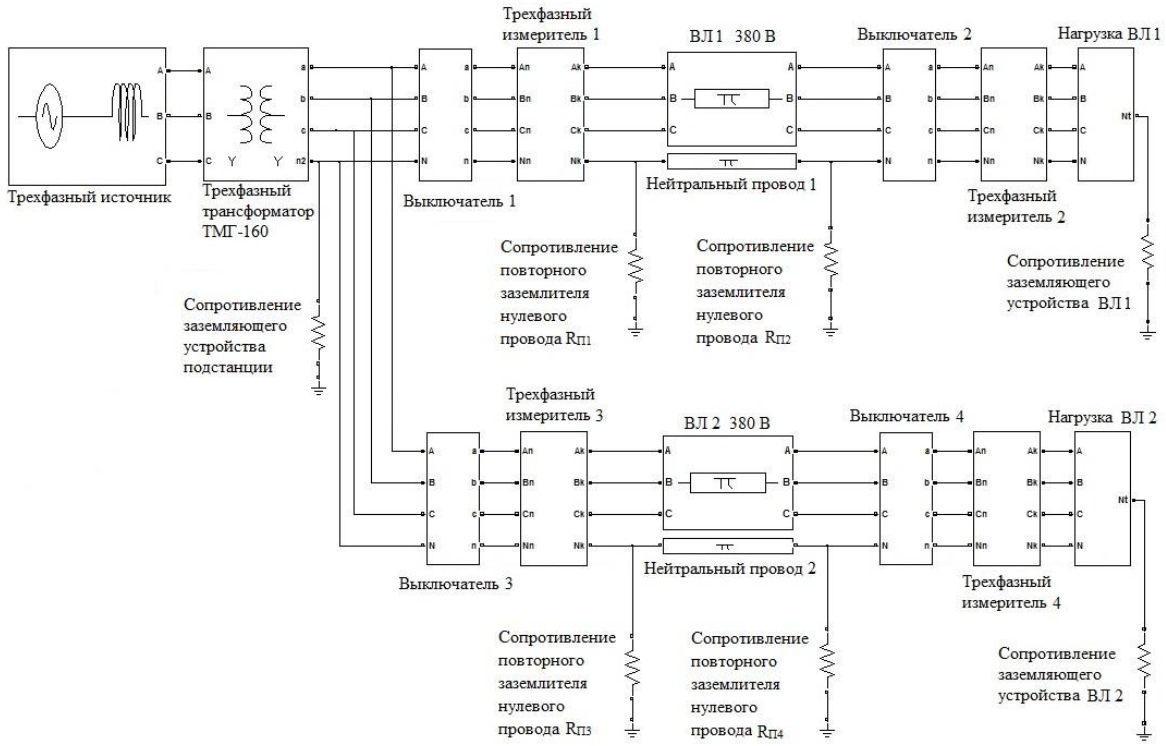


Рис. 1. Компьютерная модель сети
с двумя параллельно работающими воздушными линиями
напряжением 380 В с сосредоточенными нагрузками в конце каждой из них

Уставки контролируемых режимных параметров, выставляемых в устройствах распознавания аварийных режимов, должны быть отстроены от допустимых их значений в нормальных режимах работы сети. Поэтому, в первую очередь, возникает потребность в определении возможных диапазонов изменения значений контролируемых режимных параметров в нормальных режимах работы сетей. Это, в свою очередь, определяется конкретными значениями сетевых параметров и степенью загрузки фаз трансформатора и отдельно взятой ВЛ напряжением 380 В.

Здесь и далее под нормальными режимами работы сетей будем понимать два их вида:

– отсутствие обрывов проводов как фазных, так и совмещенного нулевого защитного и нулевого рабочего (*PEN*) провода;

– во вводном распределительном устройстве потребителя в одной или двух фазах отключены автоматические выключатели.

На первой стадии исследований несимметрия нагрузок фаз создавалась путем изменения нагрузки одной и двух фаз ВЛ1 при полной симметричной нагрузке фаз ВЛ2 и полной нагрузке третьей фазы ВЛ1, а на второй – одновременным изменением нагрузок одной и двух одноименных фаз обеих линий при полной нагрузке третьей.

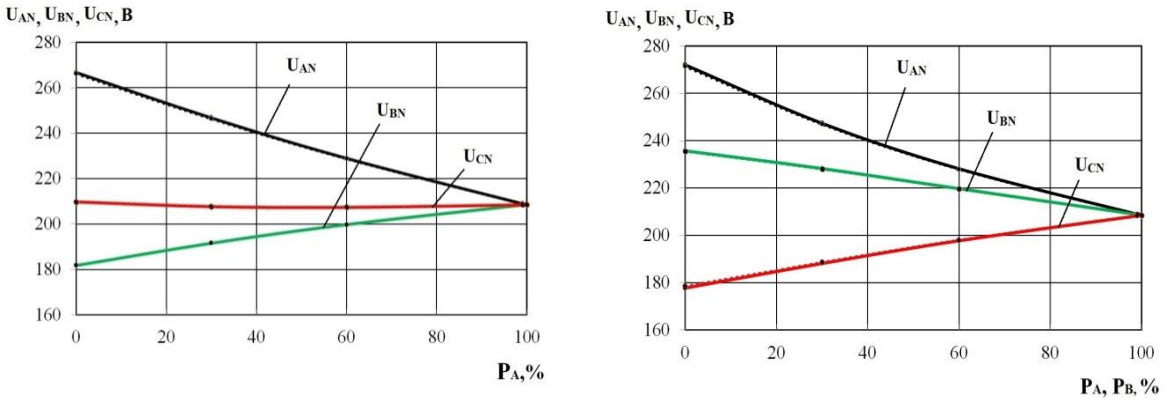
В процессе проведения исследований степень загрузки фаз менялась от 1 до 100 % от расчетной нагрузки фазы $S_{Р.Ф}$ сначала в фазе А при 100 %-й загрузке двух других, затем в фазах А и В при 100 %-й загрузке фазы С.

С целью выяснения степени влияния характера нагрузки, т.е. $tg\varphi_{наг}$, на исследуемые режимные параметры сети (комплексные значения токов, напряжений и их симметричные составляющие) на компьютерной модели были проведены эксперименты при $tg\varphi_{наг.1} = 0$ и $tg\varphi_{наг.2} = 1$, причем полные мощности в обоих вариантах были приняты одинаковыми. Анализ полученных результатов показал, что характер нагрузки не оказывает существенного влияния на модули напряжений. При одинаковых загрузках фаз и отсутствии обрыва нулевого провода различие в междуфазных напряжениях составило не более 2-х %, в фазных – не более 6,5 %, симметричных составляющих фазных напряжений – не более 2,6 %. При обрыве нулевого провода различия в указанных напряжениях составили еще меньшие величины. Поэтому исследования на компьютерной модели проводились при чисто активной нагрузке фаз, т.е. $S_{Р.Ф} = P_{Р.Ф}$.

Отключение нагрузок отдельных фаз потребителем в компьютерной модели имитировалось путем создания разрывов связей между «клеммами» соответствующих фаз блоков нагрузки и 3-х фазного измерителя 3 (рис. 1).

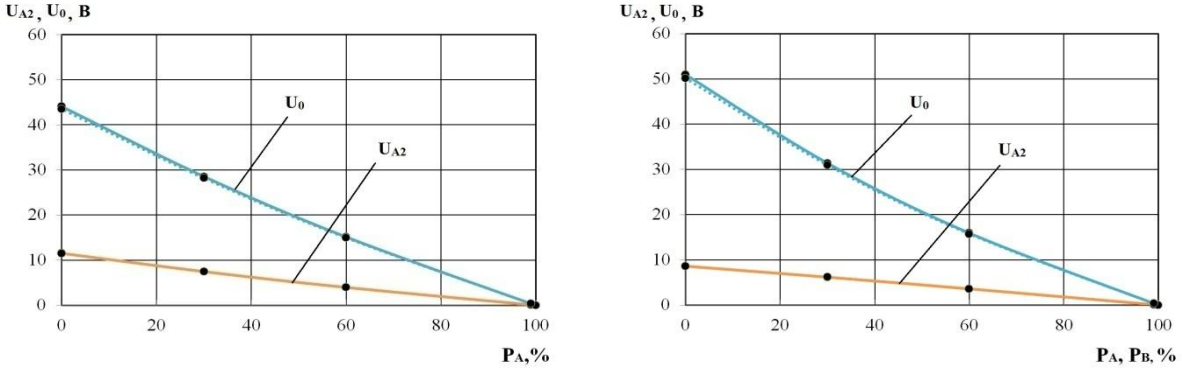
Ниже на рис. 2–5 приводятся основные результаты исследований в виде графических зависимостей токов в фазах и напряжений в конце ВЛ и их симметричных составляющих в функции нагрузки одной и двух одноименных фаз обеих ВЛ при условии полной 100 %-ой нагрузке других фаз. Совпадение на этих графиках токов в фазах и напряжений в конце ВЛ, а также их симметричных составляющих в обеих ВЛ объясняется одинаковостью их параметров и загрузок их одноименных фаз.

Эксперименты, проведенные в режимах работы сети с отключенными автоматическими выключателями в одной и двух фазах вводного устройства потребителя, подключенного в конце ВЛ2, показали, что наибольшие отклонения напряжений в конце ВЛ при изменении степени несимметрии нагрузок фаз ВЛ1 имеют место в режиме работы сети с отключенным автоматическим выключателем в одной фазе. Поэтому на рис. 6–9 представлены аналогичные зависимости, снятые при отключенном положении автоматического выключателя в одной из фаз ВЛ2 и изменении нагрузки в одной и двух фазах ВЛ1 при условии полной 100 %-й нагрузке других фаз воздушных линий.



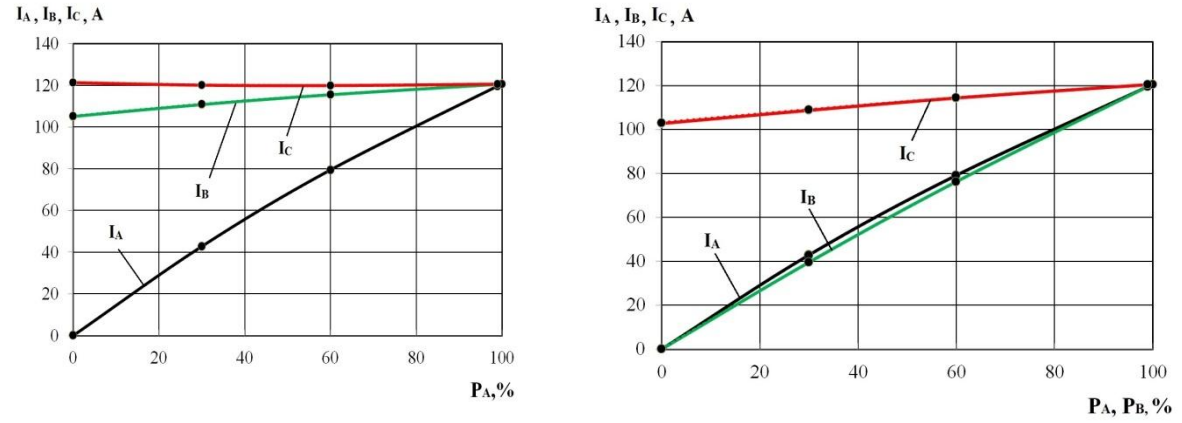
а) б)

Рис. 2. Напряжения фаз в конце ВЛ1 и ВЛ2 при синхронном изменении нагрузки: а) в фазе А обеих линий; б) в фазах А и В обеих линий



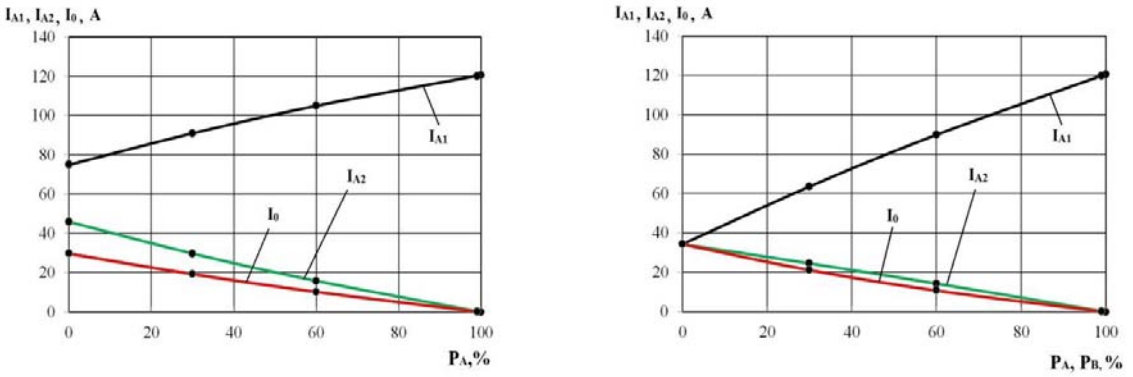
а) б)

Рис. 3. Напряжения обратной и нулевой последовательностей в конце ВЛ1 и ВЛ2 при синхронном изменении нагрузки: а) в фазе А обеих линий; б) в фазах А и В обеих линий



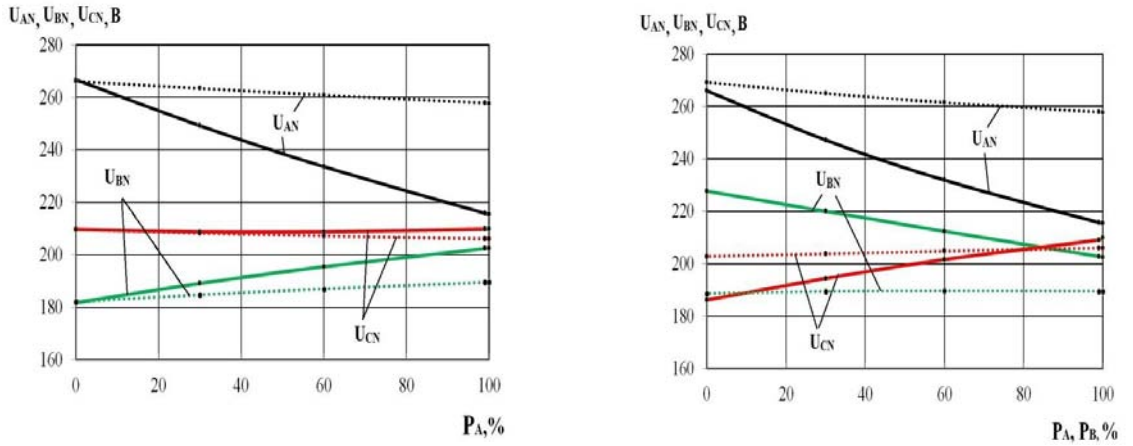
а) б)

Рис. 4. Фазные токи ВЛ1 и ВЛ2 при синхронном изменении нагрузки: а) в фазе А обеих линий; б) в фазах А и В обеих линий



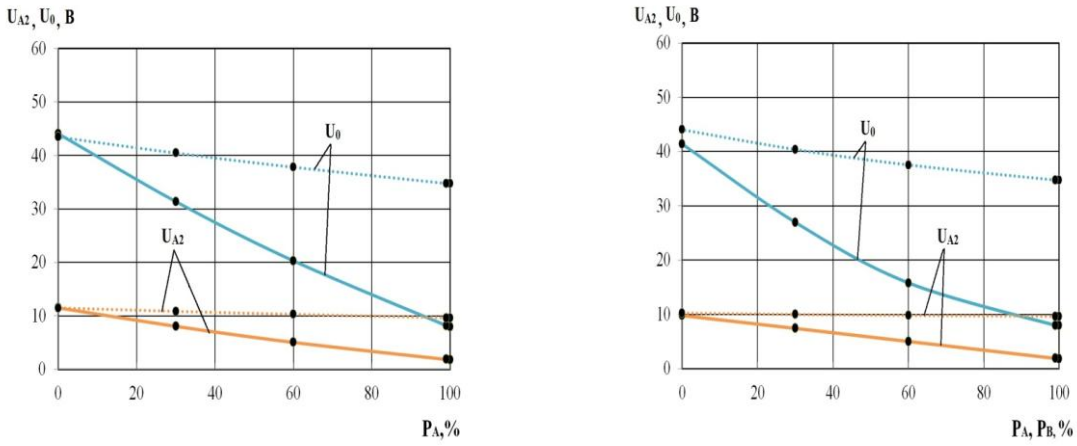
а) б)

Рис. 5. Симметричные составляющие токов фаз ВЛ1 и ВЛ2 при синхронном изменении нагрузки: а) в фазе А обеих линий; б) в фазах А и В обеих линий



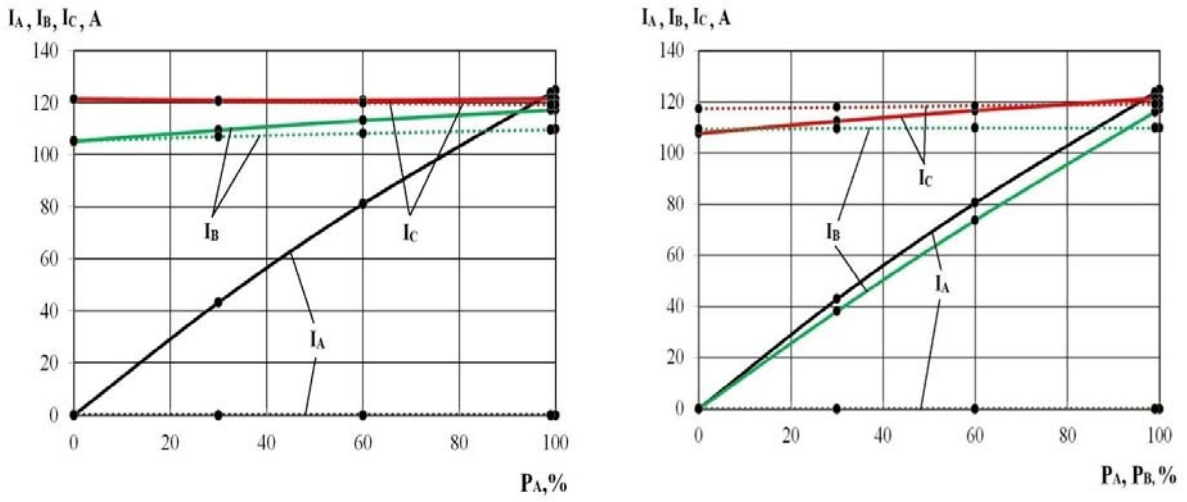
а) б)

Рис. 6. Напряжения фаз в конце ВЛ1 и ВЛ2 при отключенном автоматическом выключателе в фазе А вводного РУ потребителя, подключенного в конце ВЛ2, и при изменении нагрузки ВЛ1: а) в фазе А; б) в фазах А и В



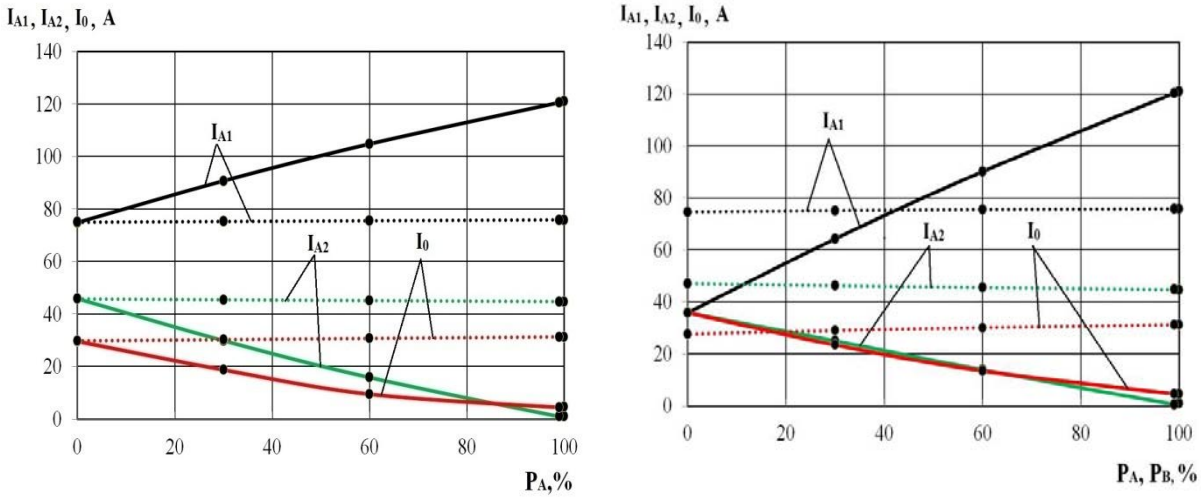
а) б)

Рис. 7. Напряжения обратной и нулевой последовательностей в конце ВЛ1 и ВЛ2 при отключенном автоматическом выключателе в фазе А вводного РУ потребителя, подключенного в конце ВЛ2, и при изменении нагрузки ВЛ1: а) в фазе А; б) в фазах А и В



а) б)

Рис. 8. Фазные токи ВЛ1 и ВЛ2 при отключенном автоматическом выключателе в фазе А вводного РУ потребителя, подключенного в конце ВЛ2, и при изменении нагрузки ВЛ1: а) в фазе А; б) в фазах А и В



а) б)

Рис. 9. Симметричные составляющие токов фаз ВЛ1 и ВЛ2 при отключенном автоматическом выключателе в фазе А вводного РУ потребителя, подключенного в конце ВЛ2, и при изменении нагрузки ВЛ1: а) в фазе А; б) в фазах А и В

Отметим, что зависимости, изображенные на рис. 6–9 пунктирными линиями, относятся к ВЛ2, а сплошными – к ВЛ1.

Анализ зависимостей, приведенных на рис., позволяет сделать вывод о том, что при крайних значениях несимметрии нагрузок фаз, обусловленных одновременным изменением их в двух одноименных фазах обеих ВЛ, отклонение токов и напряжений от их же значений в режиме работы с полной нагрузкой всех фаз достигают наибольших значений. Поэтому значе-

ния токов в фазах, напряжений фаз и их симметричных составляющих, зафиксированных при указанных выше режимах, представляют наибольший интерес с точки зрения настройки уставок устройств селективного распознавания возникших в сети аварийных режимов.

Библиографический список

1. Валеев, Р.Г. Моделирование электрической сети напряжением 380 В с воздушными линиями в программной среде Matlab-Simulink / Р.Г. Валеев, А.В. Млоток, А.М. Ершов, А.И. Сидоров // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2013. – № 9–10. – С. 116–127.

К содержанию

УДК 621.316.1 + 621.315.1

ИССЛЕДОВАНИЕ НА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ НЕСИММЕТРИИ НАГРУЗОК ФАЗ И СЕТЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ВЕЛИЧИНУ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ И ИХ СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В КОНЦЕ ПЕРЕДАЧИ «БЛОК ТРАНСФОРМАТОР – ВЛ 380 В» В НОРМАЛЬНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМАХ

Г.С. Валеев, Р.Г. Валеев, И.В. Мухтаров, И.В. Плотникова

Приведена компьютерная модель электрической сети, состоящей из трехфазного источника, понижающего трансформатора и ВЛ–380 В с сосредоточенной нагрузкой в конце, а также результаты исследований режимных параметров сети в функции степени несимметрии нагрузок фаз, а также других параметров, таких как, номинальная мощность трансформаторов, их коэффициенты загрузки, длина ВЛ в нормальных эксплуатационных режимах работы сети.

Ключевые слова: электрические сети, воздушные линии напряжением 380 В, несимметрия нагрузок фаз.

Известно, что в сетях напряжением 380 В, выполненных воздушными линиями, при обрывах фазных и нулевого проводов защиты установленные в начале ВЛ часто не реагируют. Поэтому, при доступности людей и животных к оборванным проводам, последние представляют большую опасность, так как они остаются под напряжением длительное время (до обнаружения повреждения).

Одним из основных элементов защит от аварийных режимов в сетях является устройство распознавания аварийных режимов, в которых производится выявление признаков аварий. В качестве таких признаков, как правило, принимаются допустимые граничные значения величин контролируемых параметров в нормальных эксплуатационных режимах работы сети, таких как фазные напряжения, токи и их симметричные составляющие. Отмеченные режимные параметры зависят от многих факторов:

а) режимных:

– степени несимметрии нагрузок фаз сети и трансформатора;

– коэффициента загрузки фаз трансформатора и ВЛ в симметричном режиме,

б) сетевых:

– мощности силовых трансформаторов;

– группы соединения обмоток трансформаторов;

– длины воздушных линии и сечений проводников;

– соотношение между сечениями совмещенного рабочего и защитного нулевого проводников и фазных;

– сопротивление заземляющих устройств потребителей и повторных заземлителей нулевого провода.

Большое количество факторов, влияющих на режимные параметры, затрудняет аналитическое решение задачи по определению вышеуказанных режимных параметров, которые принимаются в качестве контролируемых. Поэтому для решения таких задач следует проводить численными методами, используя вычислительные машины и соответствующие программные комплексы. Одним из таких комплексов является «Matlab» с приложением к нему пакета «Simulink».

Учитывая вышесказанное с целью проведения исследований на кафедре «СЭС» были созданы компьютерные модели указанных сетей. На рис.1 представлена компьютерная модель простейшей сети «Блок трансформатор – ВЛ 380 В с сосредоточенной нагрузкой в конце».

Подробное описание компьютерной модели простейшей сети, состоящей из последовательно соединенных трехфазного источника, понижающего трансформатора, неразветвленной воздушной линии с сосредоточенной нагрузкой в конце, приведено в [1]. Там же приведено и детальное описание отдельных блоков компьютерной модели сети, а также методики определения параметров, запрашиваемых этими блоками.

Адекватность работы компьютерной модели подтверждена результатами прямых измерений в реальных сетях с ВЛ 380 В Центрального РЭС ЧГЭС и Еткульского РЭС ЦЭС, а также в опытной сети, построенной на учебном полигоне филиала ОАО «МРСК Урала»-«Челябэнерго».

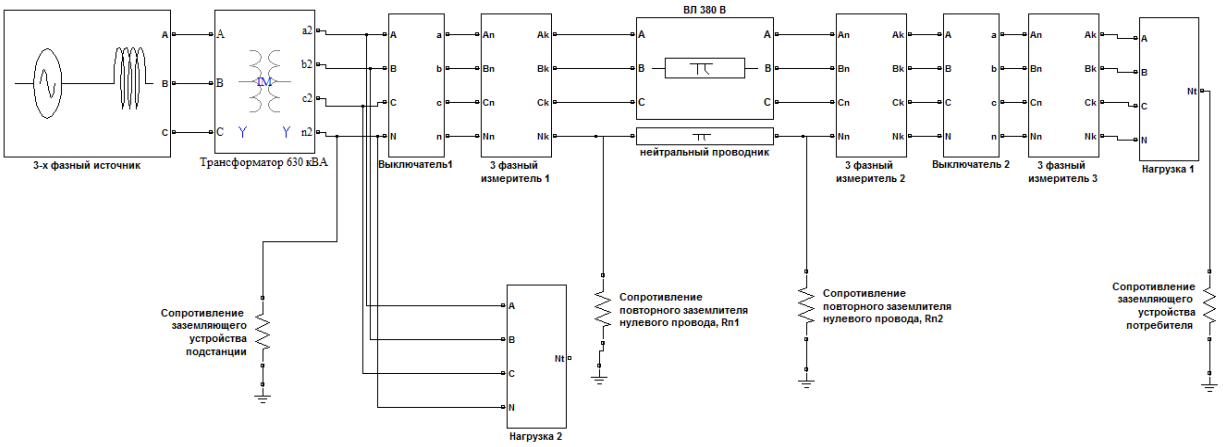


Рис. 1. Компьютерная модель простейшей сети «Блок трансформатор – ВЛ 380 В с сосредоточенной нагрузкой в конце».

Поскольку весомая часть нагрузок ВЛ-380 В является однофазной, то при их эксплуатации возникает несимметрия нагрузок фаз ВЛ и трансформаторов. В результате в сети появляются напряжения обратной и нулевой последовательностей. Кроме того, изменение степени несимметрии нагрузок фаз влияет на величину фазных напряжений и токов, т.е. на все контролируемые параметры. Поэтому уставки устройств распознавания аварийных режимов должны быть отстроены от максимально возможных значений контролируемых режимных параметров в нормальных условиях. Вследствие сказанного на начальной стадии исследований возникает потребность в определении указанных значений контролируемых параметров в нормальных эксплуатационных режимах работы сети.

К нормальным режимам относятся режимы, при которых:

– отсутствуют обрывы проводов, и нет коротких замыканий;

– во вводном распределительном устройстве потребителя в одной или двух фазах отключены автоматические выключатели.

В ранее проведенных исследованиях в основном рассматривалось влияние на величину токов и напряжений степени несимметрии нагрузок фаз и величины сопротивлений заземляющих устройств потребителей в сети с заданными параметрами. В то же время, как было отмечено выше, на указанные параметры оказывают влияние и другие факторы. Поэтому целью настоящей работы являлась оценка влияния их на исследуемые величины.

В процессе проведения исследований степень загрузки фаз менялась от 1 до 100 % от расчетной нагрузки фазы $S_{Р.Ф}$, соответствующей заданному коэффициенту загрузки силового трансформатора $К_{З.Т}$ при симметричной загрузке фаз, сначала в фазе А при 100 %-й загрузке двух других, затем в фазах А и В при 100 %-й загрузке фазы С. Нагрузка принята чисто активной, т.е. $S_{Р.Ф} = P_{Р.Ф}$.

Отключение нагрузок отдельных фаз потребителем в компьютерной модели имитировалось путем создания разрывов связей между «клеммами» соответствующих фаз блоков нагрузки и 3-х фазного измерителя 3 (рис. 1).

Указанные выше исследования проводились при номинальных мощностях силовых трансформаторов $S_{Т.НОМ}$ = 63 и 630 кВ·А со схемой соединения обмоток «звезда – звезда с нулем» и разных значениях коэффициентов их загрузки – от 10 до 100 %. Кроме того измерения проводились при различных длинах ВЛ – 100 до 500 м. Отметим также, что в сети с трансформаторами мощностью 630 кВ·А была принята воздушная линия, выполненная проводами марки АС сечением 120 мм^2, а в сети с трансформаторами мощностью 63 кВ·А – той же марки сечением 35 мм^2. Для обеспечения необходимой загрузки трансформатора мощностью 630 кВ·А к сборным шинам 400 В ТП подключен дополнительный блок нагрузки 2 с возможностью пофазного управления нагрузками фаз.

Отметим, что при максимальной степени несимметрии нагрузок фаз контролируемые устройствами распознавания аварийных режимов параметры достигают в нормальных эксплуатационных режимах максимальных отклонений от их же значений при полной симметричной их загрузке. Поэтому значения фазных напряжений и их симметричных составляющих, зафиксированных при максимальной степени несимметрии нагрузок фаз, представляют наибольший интерес с точки зрения настройки уставок устройств распознавания аварийных режимов. Учитывая сказанное, ниже приводятся основные результаты исследований в виде графических зависимостей режимных параметров, полученных при максимальной степени несимметрии нагрузок фаз.

Так, на рис. 2 представлены зависимости напряжений фаз в конце ВЛ и их составляющих обратной и нулевой последовательности от коэффициента загрузки силовых трансформаторов (сплошной линией в схеме с трансформатором ТМГ-630, пунктиром – ТМГ-63), полученных при условиях: длина линии 200 метров, сопротивление заземляющего устройства потребителя $R_{З.У.ПОТ}$ = 10 Ом; нагрузка фазы А P_A = 1 % от расчетной $P_{Р.Ф}$; фаз В и С –100 %.

На рис. 3 представлены зависимости напряжений фаз в конце ВЛ и их составляющих обратной и нулевой последовательности от длины ВЛ (сплошной линией в сети с трансформатором ТМГ-630 кВА, пунктиром – ТМГ-63 кВА), полученных при условиях: Кз.т.=80 %, сопротивление заземляющего устройства потребителя $R_{З.У.ПОТ}$ = 10 Ом; нагрузка фазы А P_A = 1 % от расчетной $P_{Р.Ф}$; фаз В и С –100 %.

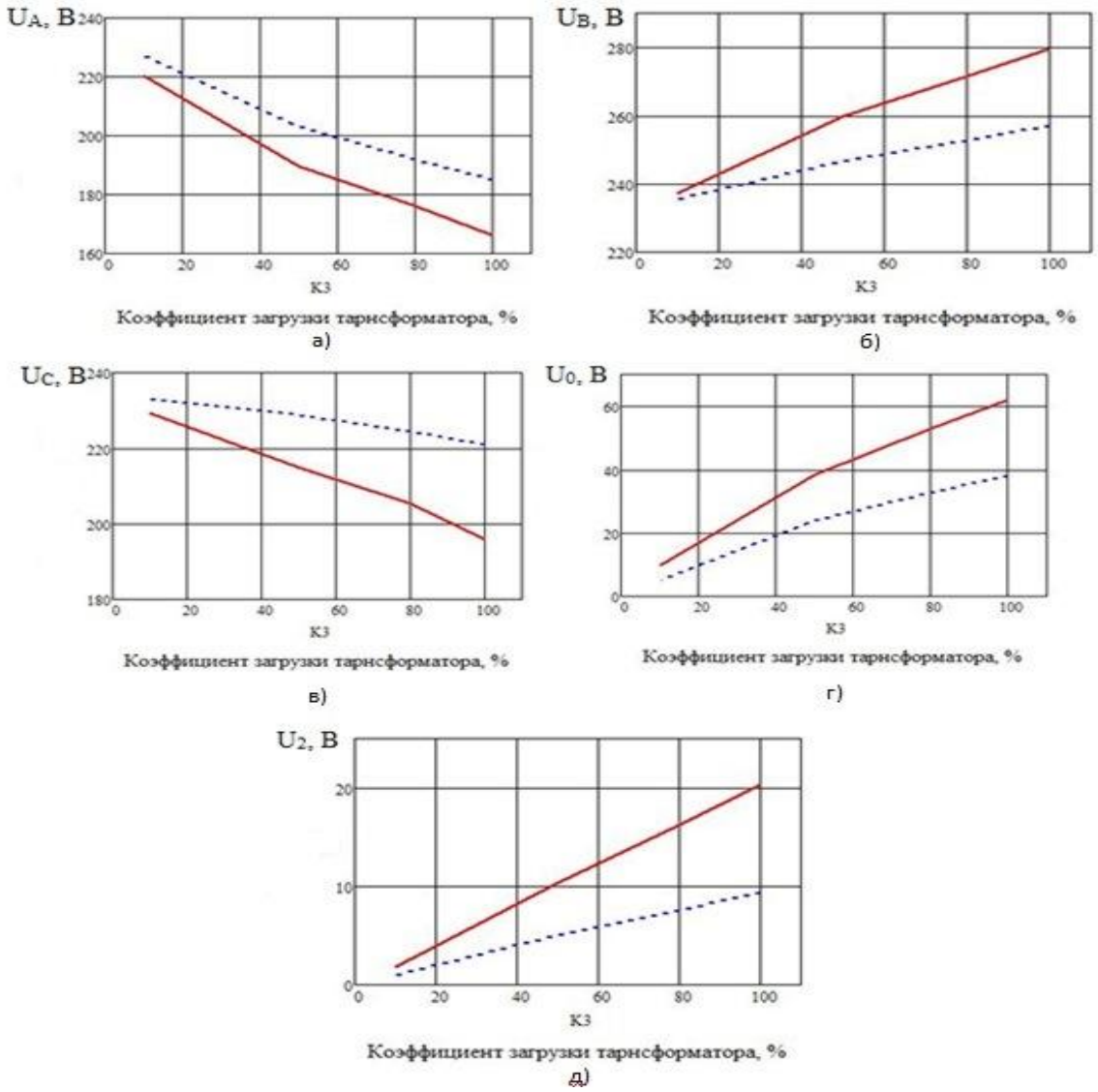


Рис. 2. Зависимости напряжений
от коэффициента загрузки трансформаторов: а) фазы А;
б) фазы В; в) фазы С; г) нулевой последовательности;
д) обратной последовательности.

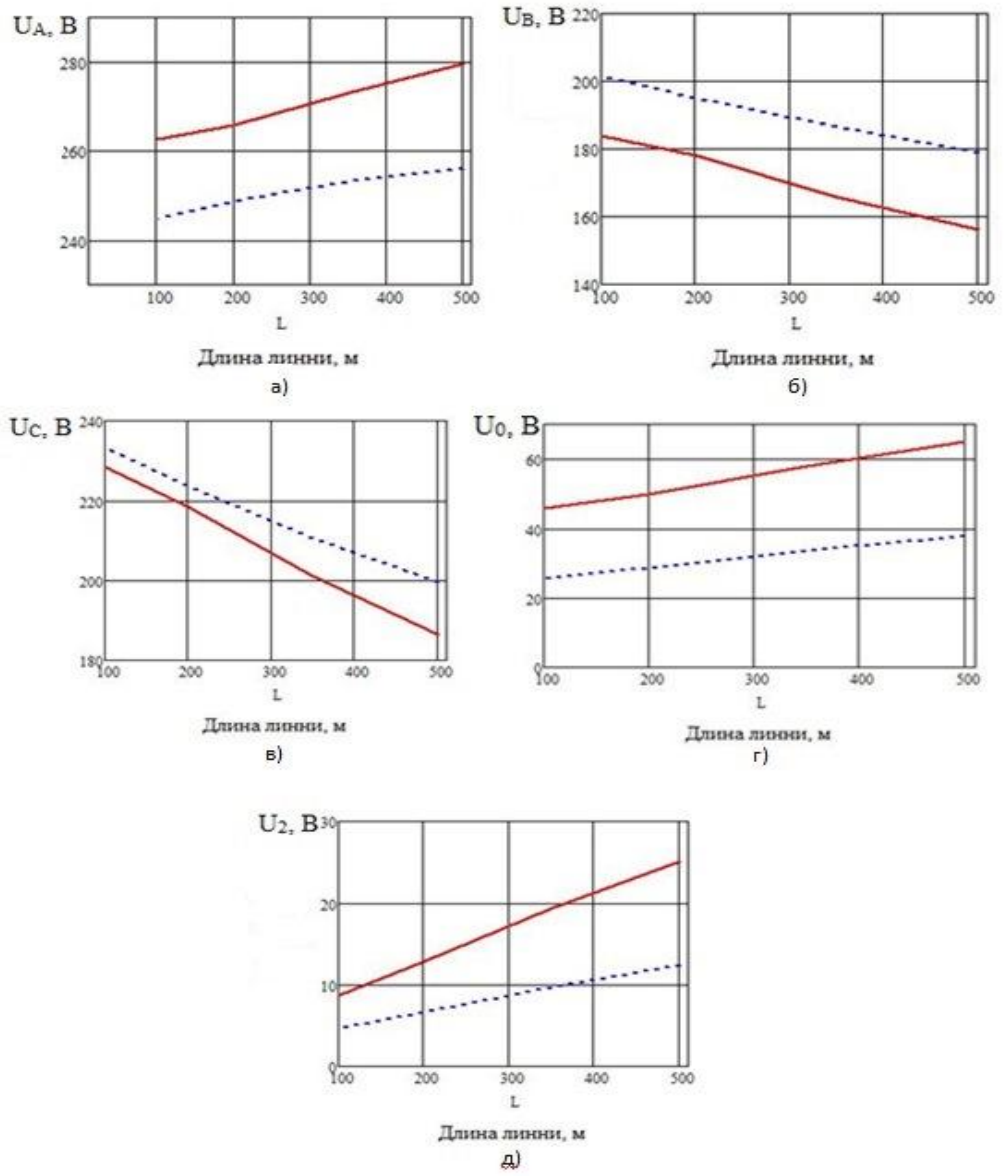


Рис. 3. Зависимости напряжений от длины ВЛ:
а) фазы А; б) фазы В; в) фазы С; г) нулевой последовательности;
д) обратной последовательности

На рис. 4 представлены зависимости напряжений фаз в конце ВЛ и их составляющих обратной и нулевой последовательности от нагрузки фазы А, выраженной в процентах от расчетного значения нагрузки фазы $P_{Р.Ф}$, при условиях: длина ВЛ – 100 м; номинальная мощность трансформатора – 630 кВ·А; коэффициент загрузки трансформатора – 80 %; сечение фазных проводов 120 мм^2; сечение совмещенного защитного нулевого и рабочего нулевого провода – 120 мм^2 (сплошная линия) и 70 мм^2 (пунктирная линия); нагрузка фаз В и С –100 %.

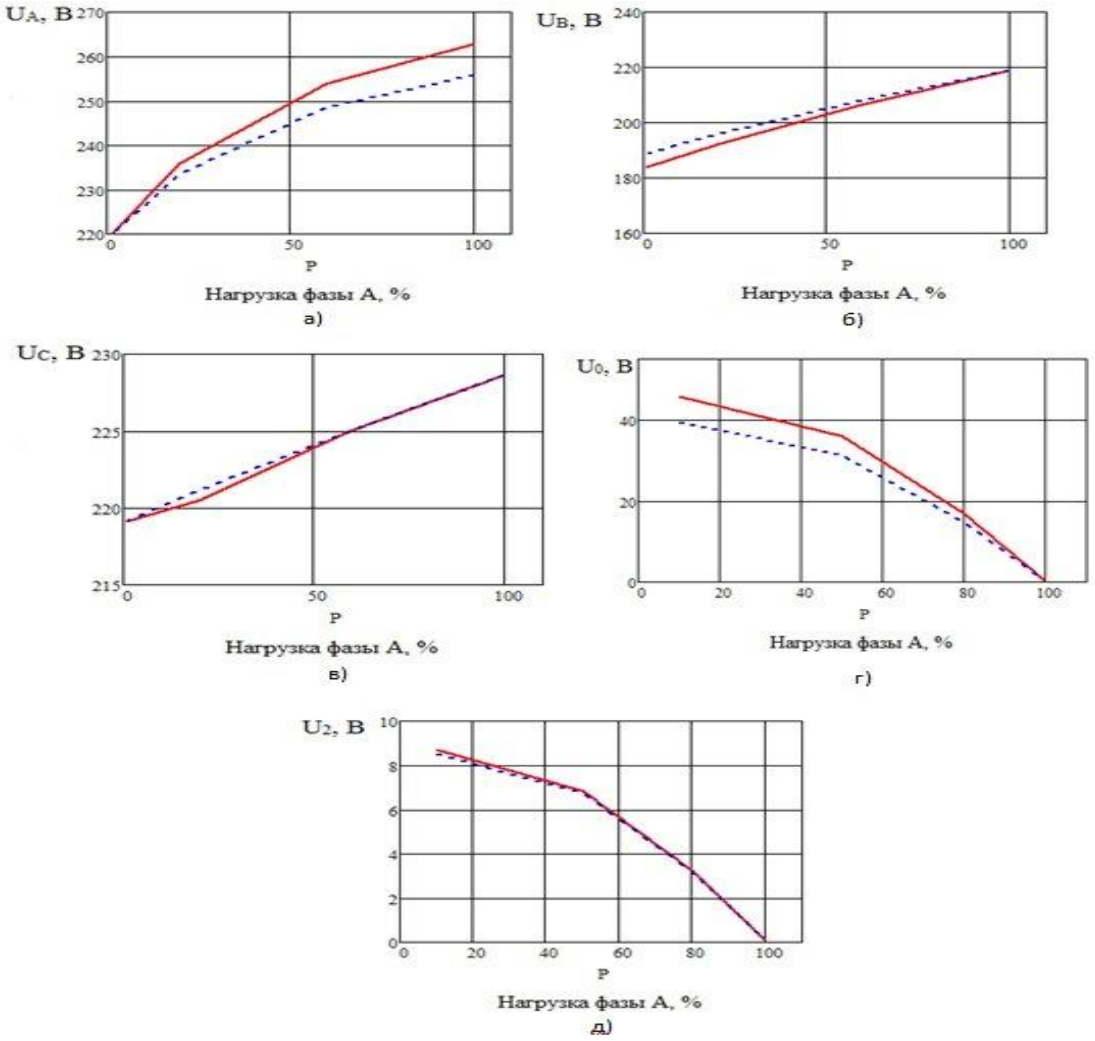


Рис. 4. Зависимости напряжений от нагрузки фазы А, выраженной в процентах от расчетного значения нагрузки фазы $P_{Р.Ф}$: а) фазы А; б) фазы В; в) фазы С; г) нулевой последовательности; д) обратной последовательности

Как видно из представленных на рис. 2–4 зависимостей на величину фазных напряжений в конце линий оказывают существенное влияние длина линий, коэффициент загрузки трансформаторов и их номинальная мощность. Соотношение сечений нулевого и фазного проводов оказывает заметное влияние только на напряжение нулевой последовательности.

Библиографический список

1. Валеев, Р.Г. Моделирование электрической сети напряжением 380 В с воздушными линиями в программной среде Matlab-Simulink / Р.Г. Валеев, А.В. Млоток, А.М. Ершов, А.И. Сидоров // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2013. – № 9–10. – С. 116–127.

К содержанию

УДК 621.316.1 + 658.264

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭКОНОМИЧЕСКИ ОБОСНОВАННОГО ЗНАЧЕНИЯ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ГПП И ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ РП В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 6–10 кВ И ОСНОВНЫХ ФАКТОРАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕШЕНИЕ

Г.С. Валеев, Р.Г. Валеев, Н.С. Матвеева

Показана многофакторность задачи определения экономически оправданного расстояния между главными понизительными подстанциями и промежуточными распределительными устройствами в распределительных сетях напряжением 6–10 кВ, приведено обоснование целесообразности усовершенствования методики расчетов.

Ключевые слова: системы электроснабжения, распределительная сеть, промежуточное распределительное устройство.

Промежуточные распределительные устройства (РУ) или распределительные подстанции (РП) напряжением выше 1000 В широко используются в промышленных сетях крупных и средних предприятий, в системах электроснабжения городов и сельского хозяйства. Их установка в сетях промышленных предприятий иногда диктуется требованиями технологии производства, отсутствием необходимой площади для установки требуемого количества ячеек в здании закрытого распределительного устройства главной понизительной подстанции (ЗРУ ГПП) и др.

Следует иметь в виду, что сооружение одного промежуточного РП требует установки пяти дополнительных ячеек с выключателями, двух ячеек с трансформаторами напряжения и одной ячейки с разъединителем (рис. 1). Кроме того, если РП не совмещается с установкой трансформаторной подстанции (ТП), что необходимо еще и установка двух ячеек с трансформаторами собственных нужд. Из изложенного выше следует, что строительство промежуточных РП напряжением выше 1000 В требует заметных дополнительных капиталовложений в систему электроснабжения (СЭС). Однако при достаточно больших расстояниях между ГПП и цеховыми ТП или высоковольтными электроприемниками (ЭП) строительство РП позволяет заметно сократить расход кабельной продукции.

Отметим, что в инструктивных указаниях по проектированию электрических сетей городов и поселков городского типа рекомендуется рассматривать целесообразность установки РП в сетях напряжением 6 кВ при условии, если расчетная мощность $P_р$ больше 4 МВт и при напряжении 10 кВ – больше 7 МВт.

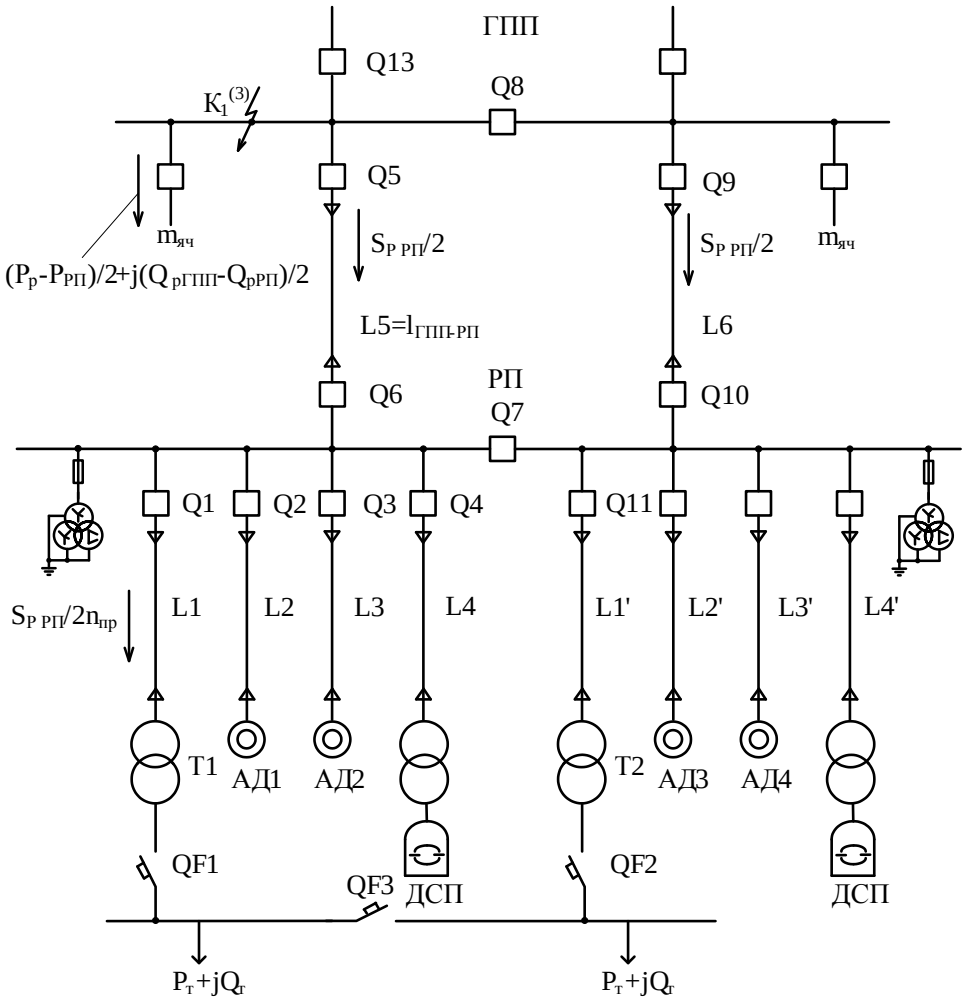


Рис. 1. Схема электроснабжения с РП

В строительных нормах Госстроя СССР СН–174–75 «Инструкция по проектированию электроснабжения промышленных предприятий», ныне замененных на «Нормы технологического проектирования электроснабжения промышленных предприятий (НТП ЭПП – 94)» также существовала рекомендация по установке РП. В этой инструкции считалось целесообразным установка РП при числе присоединений на одну секцию шин семь и более. Однако ни в одном из указанных документов практически ничего не говорится о других факторах, которые оказывают заметное влияние на затраты по тому или другому варианту. К таким факторам можно отнести:

– величину расчетной мощности, передаваемой к сборным шинам предполагаемого к установке промежуточного РП;

– расстояние между основным источником (ГПП, ПГВ, ТЭЦ) и местом установки РП;

– тарифы на электроэнергию;

– величину ущербов, обусловленных перерывами электроснабжения и ограничениями в передаче электроэнергии потребителям в периоды плановых и аварийных простоев;

– число присоединений к сборным шинам РП и ГПП;

– закон распределения мощности, передаваемой к шинам РП, между ее присоединениями;

– число часов использования максимума нагрузки;

– мощность короткого замыкания и др.

Каждый из указанных факторов оказывает влияние на затраты, связанные со строительством и эксплуатацией СЭС. Поэтому решение об установке промежуточных РП следует принимать на основе технико-экономического сопоставления схем с РП и без них (рис. 2) с учетом всех влияющих на принятие решения факторов. При этом существенно возрастает и объем вычислительной работы.

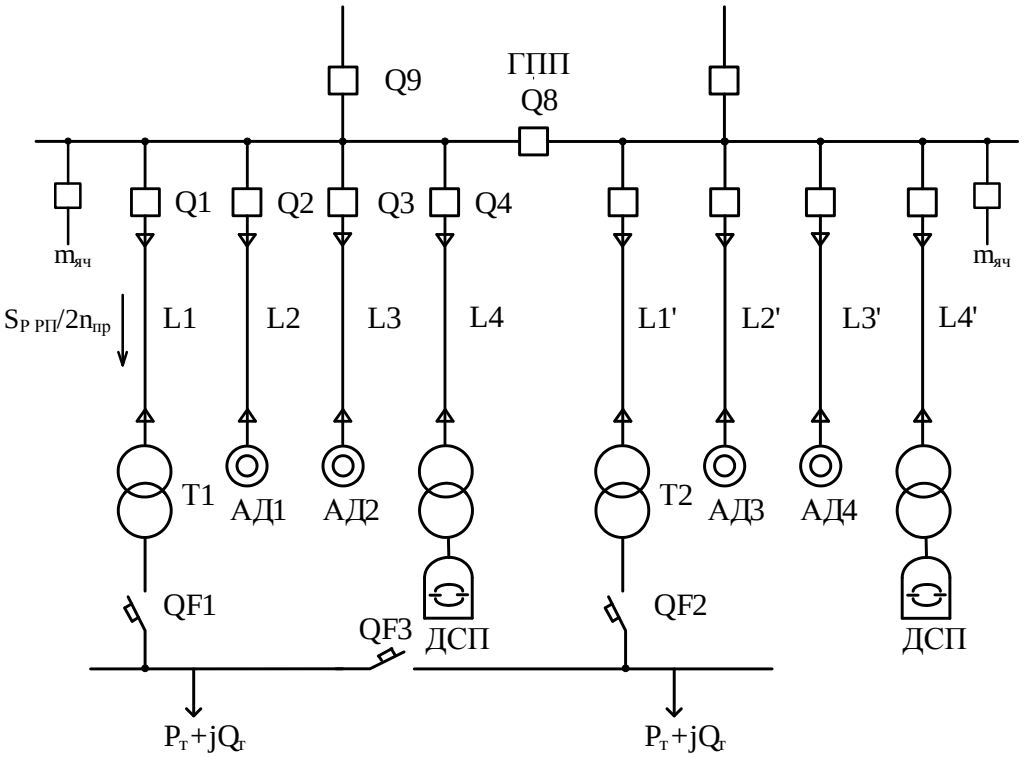


Рис. 2. Схема электроснабжения без РП

Известно, что наиболее общим критерием принятия решений в процессе проектирования и проведения реконструкции в СЭС является минимум дисконтированных затрат за расчетный период. При определении таких затрат следует учитывать изменения происходящие в экономике страны. Учитывая то, что в качестве расчетного периода, как правило, принимается заданный срок службы оборудования и кабельной продукции, который составляет 20–30 лет, предсказать возможные изменения в экономике за этот период можно опираясь только на экспертные оценки экономистов. Поэтому при решении задач, связанных с выбором, как схем распределения электроэнергии, так и других, в экономических источниках допускают

возможность использования общеизвестного метода минимума приведенных годовых затрат. Справедливость таких рекомендаций при относительно стабильной экономической ситуации не вызывает сомнений.

Учет всех выше указанных факторов в затратах приводит не только увеличению объема вычислительной работы, но и к заметному усложнению расчетов. Наиболее трудоемким и сложным этапом расчетов является оценка ущербов, обусловленных как перерывами электроснабжения, так и ограничениями в подаче электроэнергии потребителям в послеаварийных режимах и плановых отключениях. Это замечание относится и к определению потерь электроэнергии в элементах сети в указанных режимах работы СЭС. Вполне очевидно, что решение задачи о целесообразности установки промежуточных РП без учета указанных факторов будет неверным.

До записи расчетных выражений для определения приведенных годовых затрат на рассматриваемые варианты схем электроснабжения примем определенные допущения:

– схемы распределения электроэнергии между потребителями симметричны относительно секционного выключателя РП, как по топологии, так и нагрузкам;

– схемы распределения электроэнергии между потребителями и нагрузки участков сети в варианте схемы без РП остаются такими же, что и в варианте с РП;

– все ТП и высоковольтные электроприемники запитаны по радиальной схеме;

– сечения кабелей, через которые питаются ТП и высоковольтные электроприемники в обеих схемах одинаковы. Сечения кабелей могут быть разными лишь при относительно больших расстояниях между ГПП и РП, когда токи короткого замыкания на шинах 6, 10 кВ ГПП и РП заметно отличаются, что в свою очередь, приводит к изменению минимального сечения по условиям термической стойкости. Следует отметить, что в сетях промышленных предприятий такие условия имеют место крайне редко;

– РП устанавливается на уровне первых потребителей (которые предполагается питать от него) по ходу передачи мощности.

При принятых выше условиях в приведенных годовых затратах на вариант схемы без РП можно будет учитывать лишь стоимость участка кабельных линий между предполагаемым местом установки РП и ГПП, стоимость потерь активной энергии в них и в цеховых трансформаторах, входящих в состав сопоставляемых схем. Тогда в затратах на вариант схемы с промежуточным РП следует учитывать стоимость кабельных линий между ГПП и РП, пяти ячеек с выключателями, двух ячеек с трансформаторами напряжений, одной ячейки с разъединителем, стоимость потерь активной энергии в кабельных линиях между ГПП и РП и в цеховых трансформаторах, подключенных к сборным шинам РП. Потери активной энергии в участках кабельных линий между предполагаемым местом установки

РП и ТП, а также высоковольтными электроприемниками в схеме без РП можно принять такими же, что и в схеме с РП. Поэтому стоимость потерь энергии в указанных участках кабельных линий можно не учитывать. Правомерность такого допущения обуславливается следующими факторами:

– относительно небольшим удельным весом стоимости потерь энергии в кабельных линиях в общих затратах;

– относительно небольшими расстояниями передачи энергии от РП до потребителей, вследствие чего будут малы и сами потери энергии на этих участках.

Поскольку структура схем рассматриваемых вариантов различна, то в затратах следует учитывать величину ущербов, обусловленных перерывами электроснабжения и ограничениями в передаче электроэнергии потребителям в периоды плановых и аварийных простоев.

С учетом выше изложенного расчетные выражения для определения приведенных годовых затрат на рассматриваемые варианты запишутся в следующем виде:

– для схем без РП:

$$З_{\text{г.Σ. без РП}} = 2\left[E_{\text{н.Σ. кл}} \sum_{\text{i}=1}^{n_{\text{прис}}} K_{\text{кл.прис.i}} + C_0 \left(\sum_{\text{i}=1}^{\text{N}_\text{т}} \Delta W_{\text{т.i}} + \sum_{\text{i}=1}^{n_{\text{прис}}} \Delta W_{\text{кл.i}} \right) \right] + У_{\text{пл.откл}} + У_{\text{ав.откл}},$$

где $E_{\text{н.Σ. кл}}$ – суммарный коэффициент нормативных отчислений от капитальных вложений на кабельные линии, значение которого принимается, например, по данным, приведенным в [1];

$K_{\text{кл.прис.i}}$ – стоимость кабельной линии i-го присоединения, руб;

C_0 – стоимость одного кВт·ч электроэнергии, руб/кВт·ч;

$\Delta W_{\text{т.i}}$ – потери активной энергии в трансформаторах, кВт·ч/год;

$\Delta W_{\text{кл.i}}$ – потери активной энергии в i-й кабельной линии на участке между ГПП и предполагаемом местом установки РП, кВт·ч/год;

$У_{\text{пл.откл}}$ и $У_{\text{ав.откл}}$ – величина ущерба, обусловленного перерывами электроснабжения и ограничениями в передаче электроэнергии потребителям соответственно в периоды плановых и аварийных простоев.

– для схем с РП:

$$З_{\text{г.Σ. с РП}} = 2\left[E_{\text{н.Σ. яч}} \sum_{\text{i}=1}^{7} K_{\text{яч.i}} + E_{\text{н.Σ. кл}} \cdot K_{\text{кл.(РП-ГПП)}} + \right.$$

$$\left. + C_0 \left(\Delta W_{\text{кл.РП-ГПП}} + \sum_{\text{i}=1}^{N_\text{т}} \Delta W_{\text{т.i}} \right) \right] + У_{\text{пл.откл}} + У_{\text{ав.откл}},$$

где $E_{\text{н.}\Sigma.\text{яч}}$ – суммарный коэффициент нормативных отчислений от капитальных вложений на ячейки с коммутационным оборудованием и трансформаторами напряжения [1];

$K_{\text{яч.i}}$ – стоимость одной ячейки с оборудованием, руб.;

$K_{\text{кл.(РП-ГПП)}}$ – стоимость кабельной линии на участке между ГПП и предполагаемом местом установки РП, руб;

$\Delta W_{\text{кл.РП-ГПП}}$ – потери активной энергии в i-й кабельной линии на участке между ГПП и предполагаемом местом установки РП, кВт·ч/год.

Входящие в эти выражения стоимость кабелей, потери энергии в них и ущербы зависят от многих факторов, в том числе и от расстояния между ГПП (ТЭЦ) и промежуточным РП. Искомое экономически выгодное расстояние между указанными узлами СЭС будет определяться из условия равенства приведенных годовых затрат на рассматриваемы варианты схем.

Как видно из изложенного выше, решаемая задача является многофакторной. Оценка затрат даже для одного варианта схемы с конкретными данными и учетом всех факторов, влияющих на приведенные годовые затраты, требует большого объема вычислительной работы. Поэтому требуется усовершенствование методики расчетов либо в плане создания программного пакета с подробной инструкцией для пользователя, либо проведения исследований по отысканию относительно простых и удобных для принятия решений при проектировании СЭС связей между основными факторами, например, в виде граничных кривых, по одну сторону которых находится область изменения параметров, где целесообразно использовать одну схему, например с РП, а по другую – без РП. Точки лежащие на указанных граничных кривых определяются, как было отмечено выше, из условия равенств затрат на сопоставляемые схемы.

Библиографический список

1. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

К содержанию

УДК 62 1.314.5

РАЗВЕРТЫВАЮЩИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С ОДНОТАКТНОЙ ШИРОТНО- И ЧАСТОТНО-ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, О.Г. Брылина, Н.М. Сапрунова, Н.А. Логинова

В статье рассматриваются принципы построения интегрирующих развертывающих преобразователей (РП) с однотактной широтно-импульсной модуляцией первого и второго рода (ШИМ-1, ШИМ-2), а также с частотно-широтно-импульсной модуляцией (ЧШИМ). Приведены структурные схемы РП, временные диаграммы их сигналов, расчетные соотношения и результаты сравнения ШИМ и ЧШИМ с точки зрения диапазона регулирования и энергетических показателей.

Ключевые слова: интегрирующий развертывающий преобразователь, широтно-импульсная модуляция, частотно-широтно-импульсная модуляция, однотактная модуляция, интегратор, релейный элемент.

Введение

Развертывающие преобразователи (РП) [1, 2] средней и большой мощности целесообразно выполнять с однотактной модуляцией [3], обеспечивающей повышенные энергетические показатели развертывающей системы, а также улучшение показателей ее надежности [4, 5].

Кроме того, полоса равномерного пропускания частот РП, где они имеют свойства, близкие к линейной системе, во многом зависит не только от закона модуляции, но и от инерционности выходного сглаживающего фильтра Ф, предназначенного для выделения полезной составляющей выходных импульсов РП. При этом уровень пульсаций сигнала на выходе Ф, характеризующий ошибку преобразования развертывающей системой входного воздействия, зависит как от вида передаточной функции Ф, так и от реализуемого в РП закона модуляции, причем инерционность Ф существенно ограничивает полосу пропускания РП по сравнению с ее предельным значением, известным из теоремы В.А. Котельникова [6].

Одним из путей приближения реальной полосы пропускания РП к ее теоретическому значению и повышения их надежности является преобразование двухтактной (биполярной) модуляции в однотактную (однополярную).

Ниже рассматриваются различные структуры РП с широтно- (ШИМ) и частотно-широтно-импульсной модуляцией (ЧШИМ) и анализируются их свойства.

Теоретическая часть

РП, структурная схема которого показана на рис. 1а, представляет собой классический вариант развертывающего преобразователя с ШИМ первого рода (ШИМ-1), реализующий принцип «вертикального» управления при развертывающем преобразовании с выборкой мгновенных значений информативного входного сигнала [7].

В состав РП входят интегратор И с постоянной времени $T_{И1}$, релейный элемент РЭ с неинвертирующей петлей гистерезиса, сумматор Σ, нелинейный элемент НЭ с зоной нечувствительности $\pm 2C$, а также элементы с односторонней проводимостью В1, В2. В дальнейшем принимаем, что переключение РЭ происходит при пороговых уровнях 0 и 4b. Импульсы на выходе РЭ и НЭ меняется дискретно в пределах $\pm A$. Блоки И, РЭ, В1, В2 в совокупности образуют генератор пилообразного сигнала $Y_{И1}(t)$ с линейно нарастающим и дискретно спадающим фронтами (рис. 1б). Линейный фронт «пилы» формируется под действием импульса отрицательной полярности $Y_Р(t)$ с выхода РЭ (рис. 1в), когда в открытом состоянии находится элемент В1.

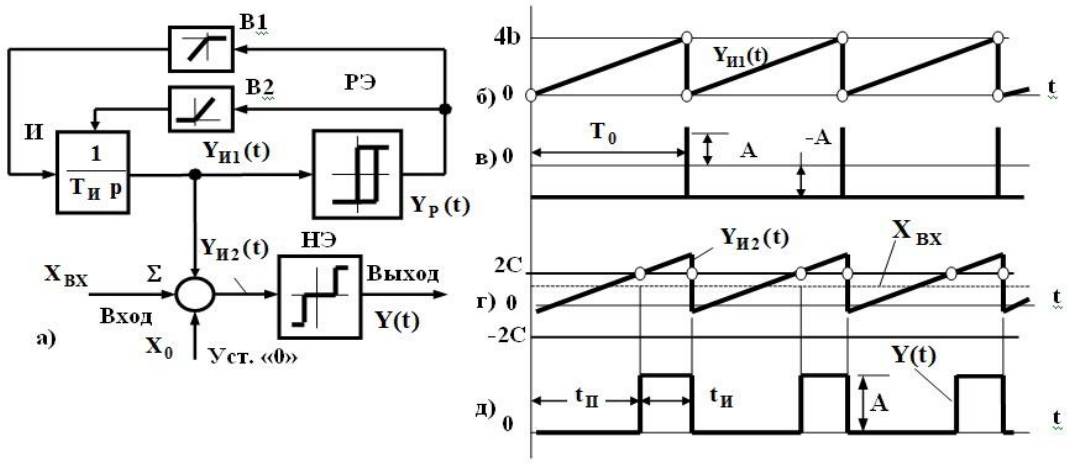


Рис. 1. Развертывающий преобразователь с однотактной ШИМ-1 (а) и временные диаграммы его сигналов (б–д)

После переключения РЭ в состояние +А открывается В2 и происходит установка нулевых начальных условий в интеграторе И (рис. 1б, в). С помощью опорного сигнала X_0, подаваемого на вход Σ, производится симметрирование сигнала $Y_{И1}(t)$ таким образом, чтобы он находился «внутри» зоны нечувствительности $\pm 2C$, что при нулевом значении сигнала управления $X_{ВХ}$ обеспечивает отсутствие импульсов на выходе РП. Под действием $X_{ВХ}$ происходит «вертикальное» смещение развертки $Y_{И1}(t)$ относительно порогов включения НЭ (рис. 1г, сигнал $Y_{И2}(t)$), что влечет

за собой появление на выходе РП однополярных импульсов $Y(t)$ (рис. 1д), где их длительность $t_И$ и интервал паузы $t_П$ определяются величиной $X_{ВХ}$.

Задний фронт сигнала $Y(t)$ фиксирован во времени дискретным участком сигнала «пилы» $Y_{И1}(t)$, а период (частота) выходных импульсов РП постоянна и не зависит от величины $X_{ВХ}$. Модуляционная $t_И = f(X_{ВХ})$, $t_П = f(X_{ВХ}), T_0 = f(X_{ВХ})$ и амплитудная $Y_0 = f(X_{ВХ})$ характеристики РП при условии $\bar{b} = \bar{C}$ определяются как:

$$t_И = 4\bar{b}T_{И1}\bar{X}_{ВХ};\ t_П = 4\bar{b}T_{И1}(1-\bar{X}_{ВХ});\ T_0 = t_И + t_П = 4\bar{b}T_{И1};$$
$$Y_0 = A\frac{t_И}{T_0} = A\bar{X}_{ВХ};\ \bar{b} = \left|\frac{b}{A}\right|;\ \bar{X}_{ВХ} = \left|\frac{X_{ВХ}}{4C}\right|;\ 0 \le \bar{X}_{ВХ} \le 1{,}0;\ \bar{b} = \bar{C}, \quad (1)$$

где здесь и далее: $\bar{b}$, $\bar{C}$ – нормированные значения порогов переключения РЭ и зоны нечувствительности НЭ соответственно; $\pm 4C$ – допустимый диапазон изменения входного сигнала, когда РП работает на линейном участке своей статической характеристики.

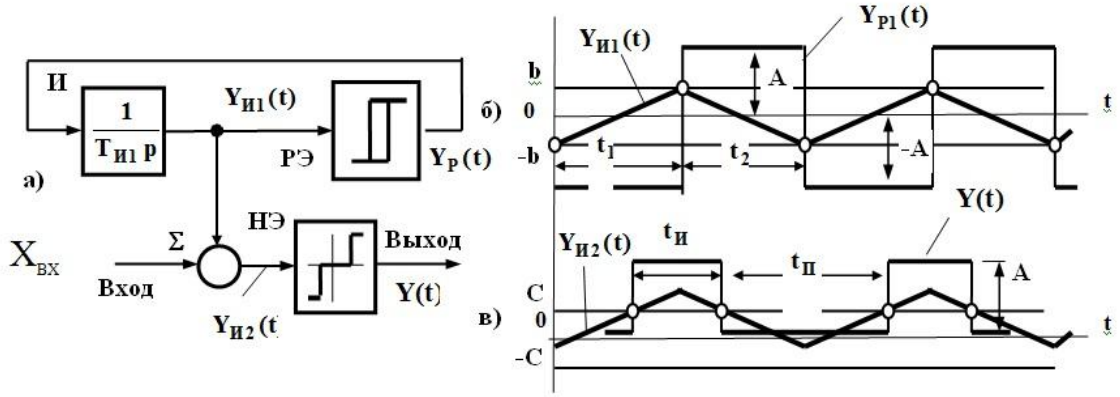


Рис. 2. Развертывающий преобразователь с однотактной ШИМ-2 (а) и временные диаграммы его сигналов (б, в)

Однотактный РП с ШИМ второго рода (ШИМ-2) [8] (рис. 2а), также реализующий принцип развертывающего преобразования с выборкой мгновенных значений входного сигнала, отличается от РП на рис. 1а формой сигнала развертки $Y_{И1}(t)$ (рис. 2б), которая имеет вид симметричной относительно нулевого уровня «пилы» и формируется с помощью автоколебательного контура И, РЭ. Амплитуда сигнала $Y_{И1}(t)$ ограничивается порогами переключения $\pm b$ РЭ. НЭ выполнен с зоной нечувствительности $\pm C$ и переходит в состояние +А или -А при наличии сигнала $X_{ВХ}$ и выполнении условия $|Y_{И2}(t)| > C$ (рис. 2в). Модуляционная и амплитудная характеристики РП идентичны характеристикам (1) РП на рис. 1а. При этом линейный диапазон изменения входного сигнала РП находится в пре-

делах $\pm 2C$. Отличие РП на рис. 2а состоит в том, что при ШИМ-2 под действием сигнала X_{BX} происходит смещение во времени как переднего, так и заднего фронтов выходных импульсов $Y(t)$.

Рассмотренные РП с выборкой мгновенных значений входного сигнала являются наиболее быстродействующими среди многообразия принципов построения РП, однако, с точки зрения помехоустойчивости, относятся к разряду неблагоприятных широтно-импульсных систем.

РП на рис. 3а представляет собой частотно-широтно-импульсную систему с комбинированным принципом развертывающего преобразования, при котором реализуется как интегрирующее развертывающее преобразование, так и развертывающее преобразование с выборкой мгновенных значений сигнала управления.

В состав РП входят сумматоры Σ1, Σ2, интегратор И, релейный элемент РЭ, инверторы Ин.1, Ин2 и нелинейный ключевой элемент НЭ. Автоколебательный канал Σ1, И, РЭ выполняет функции интегрирующего развертывающего преобразователя, где в интервале t_1 скорость изменения сигнала $Y_{И1}(t)$ определяется разностью координат X_{BX} и $Y_P(t)$ (рис. 3б), а в интервале t_2 – зависит от суммы этих воздействий. РЭ переключается при условии $|Y_{И1}(t)| \geq |b|$, причем $|b| = |C|$, что исключает при $X_{BX} = 0$ появление на выходе РП импульсов $Y(t)$.

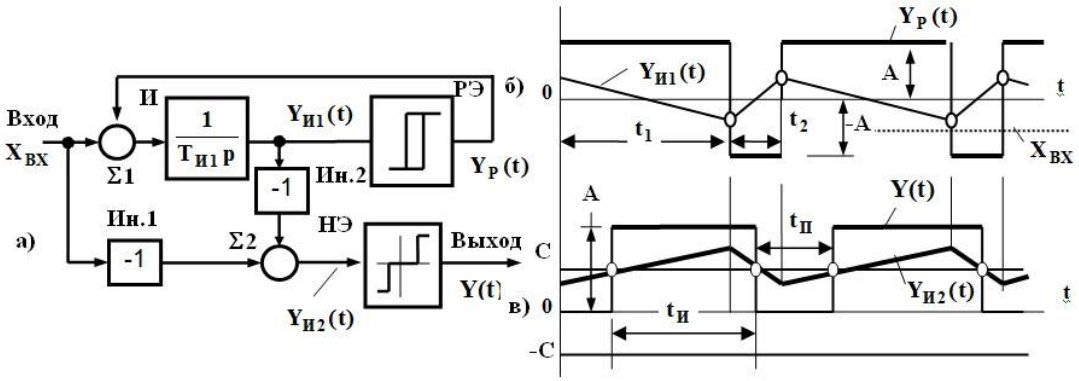


Рис. 3. Развертывающий преобразователь
с однотактной ЧШИМ и комбинированным принципом управления (а)
и временные диаграммы его сигналов (б, в)

Таким образом, под действием входного сигнала с помощью канала Σ1, И, РЭ изменяется производная развертки $Y_{И1}(t)$ и достигается режим ЧШИМ. Далее, входной сигнал РП воздействует на сумматор Σ2, перемещая «вертикально» относительно порогов включения НЭ сигнал $Y_{И1}(t)$ (рис.3. в), реализуя тем самым принцип развертывающего преобразования с выборкой мгновенных значений сигнала управления. При этом меняется как частота выходных импульсов РП, так и их относительная продолжи-

тельность (скважность). Линейный диапазон изменения входного сигнала со стороны автоколебательного каскада равен $\pm A$, а по отношению к входу сумматора Σ2 составляет $\pm 2C$. В дальнейшем считаем, что $|A| = |2C|$.

Инверторы Ин.1, Ин.2. не являются обязательной принадлежностью структуры РП, а введены в нее лишь с целью устранения инверсии среднего значения Y_0 выходных импульсов $Y(t)$ и приведения схемы в идентичные условия по отношению к ранее рассмотренным РП. Модуляционная и амплитудная характеристики РП определяются соотношениями (2):

$$
\begin{gathered}
t_1 = \frac{2\bar{b}T_{И1}}{1-\overline{X}_{ВХ}};\ t_2 = \frac{2\bar{b}T_{И1}}{1+\overline{X}_{ВХ}};\ t_C = \frac{4\bar{b}T_{И1}\overline{X}_{ВХ}}{1-\overline{X}_{ВХ}^{\,2}};\ t_п = \frac{4\bar{b}T_{И1}}{1-\overline{X}_{ВХ}^{\,2}}(1-\overline{X}_{ВХ}); \\
T_0 = \frac{4\bar{b}T_{И1}}{1-\overline{X}_{ВХ}^{\,2}};\ Y_0 = A\frac{t_И}{T_0} = A\overline{X}_{ВХ}; \\
(\bar{b} = \left|\frac{b}{A}\right|) = (\overline{C} = \left|\frac{C}{A}\right|);\ 0 \le \overline{X}_{ВХ} \le 1{,}0;\ \overline{X}_{ВХ} = \left|\frac{X_{ВХ}}{A}\right| = \left|\frac{X_{ВХ}}{2C}\right|.
\end{gathered}
\qquad (2)
$$

Данный принцип построения РП имеет более высокие энергетические показатели, чем РП с ШИМ, но уровень его помехоустойчивости мало чем отличается от помехоустойчивости РП на рис. 1 и рис. 2, так как сигналы помех могут беспрепятственно поступать на вход НЭ и приводить к его ложным включениям.

Практически аналогичными модуляционной и амплитудной характеристиками (2), при условии представления переходной функции апериодического звена первого порядка линейной зависимостью, обладает интегрирующий РП с ЧШИМ, показанный на рис. 4а.

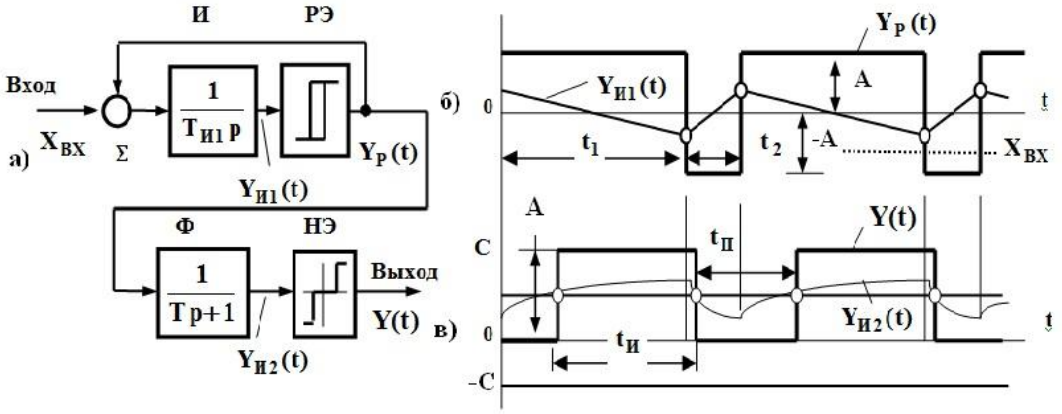


Рис. 4. Интегрирующий развертывающий преобразователь с однотактной ЧШИМ (а) и временные диаграммы его сигналов (б, в)

Здесь входной сигнал с помощью автоколебательного тракта Σ, И, РЭ преобразуется в импульсы $Y_Р(t)$ с двухтактной (биполярной) ЧШИМ (рис. 4б), которые затем поступают на апериодический фильтр Ф первого порядка и сглаживаются. При этом постоянная времени фильтра Ф выбирается

таким образом, чтобы при $X_{ВХ} = 0$ амплитуда пульсаций $Y_{И2}(t)$ его выходного сигнала, выполняющих функции второго сигнала развертки, удовлетворяла бы условию $|Y_{И2}(t)| = |C|$, что обеспечивает выключенное состояние НЭ.

В основе принципа управления РП лежит свойство независимости амплитуды сигнала пульсаций $Y_{И2}(t)$ на выходе апериодического фильтра первого порядка от частоты и скважности выходных импульсов двухтактного автоколебательного каскада Σ, И, РЭ [6, 9]. Под действием сигнала $X_{ВХ}$ пульсации $Y_{И2}(t)$ на выходе Ф смещаются «вертикально» относительно порогов переключения НЭ на величину, пропорциональную среднему значению импульсов $Y_р(t)$ (рис.4 в), что вызывает появление сигнала $Y(t)$ с частотой, равной частоте импульсов $Y_р(t)$, и скважностью, определяемой величиной $X_{ВХ}$. Допустимый диапазон изменения входного сигнала РП составляет $\pm A$. Обладая высокой степенью помехоустойчивости, свойственной интегрирующим развертывающим системам, данный РП уступает ранее рассмотренным по динамическим возможностям, которые резко ограничиваются из-за фильтра Ф в прямом канале регулирования.

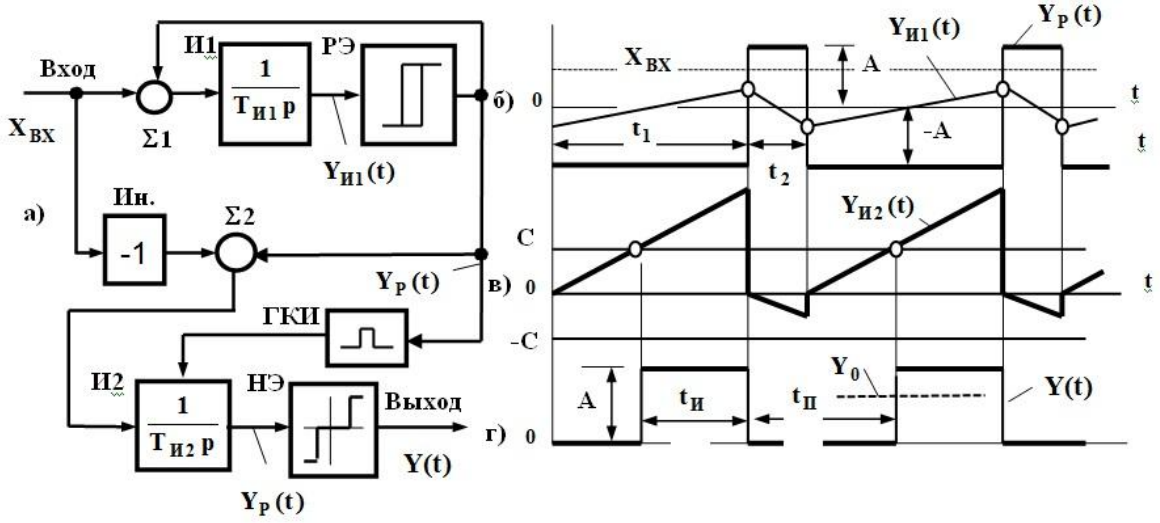


Рис. 5. Интегрирующий развертывающий преобразователь
с однотактной ЧШИМ (а) и временные диаграммы его сигналов (б – г)

Компромиссной структурой интегрирующего РП, обеспечивающей высокую помехоустойчивость процесса преобразования входного сигнала при динамических характеристиках системы, определяемых частотой ее несущих автоколебаний, является преобразователь (рис. 5а), содержащий, кроме автоколебательного звена Σ1, И1, РЭ и ключевого элемента НЭ, инвертор Ин., сумматор Σ2, интегратор И2 и генератор «коротких» импульсов ГКИ.

В интервале t_1 (рис. 5б) на вход И2 подается суммарный сигнал $-A-X_{BX}$, а в интервале t_2 – разность напряжений $A-X_{BX}$. Установка нулевых начальных условий в И2 происходит под действием выходных импульсов ГКИ малой длительности синхронно с фронтами сигнала $Y_р(t)$ (рис. 5б, в). В результате на выходе НЭ формируются однополярные импульсы (рис. 5г), амплитудная и модуляционная характеристики которых имеют вид (2) при условии $\overline{C}T_{И2}=2\overline{b}T_{И1}$, $\overline{C}=\left|\frac{C}{A}\right|$, $\overline{b}=\left|\frac{b}{A}\right|$, $\overline{X}_{BX}=\left|\frac{X_{BX}}{A}\right|$, где $T_{И2}$ – постоянная времени интегратора И2.

Сравним рассмотренные РП с ШИМ и ЧШИМ с точки зрения диапазона регулирования, который ограничивается минимальным значением времени паузы $t_П$ между импульсами $Y(t)$, нормируемым временем коммутации силовых ключей на выходе НЭ.

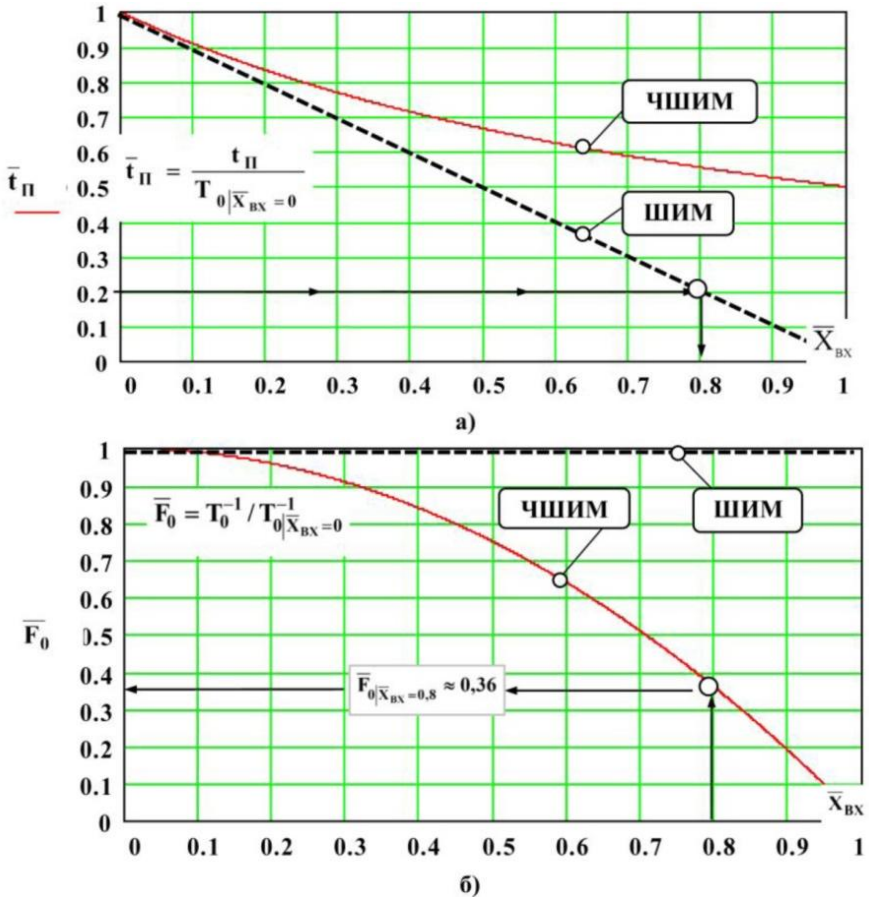


Рис. 6. Зависимости $\overline{t}_П = f(\overline{X}_{BX})$ (а) и $\overline{F}_0 = f(\overline{X}_{BX})$ (б) для развертывающих преобразователей с широтно- и частотно-широтно-импульсной модуляцией

Для РП с ШИМ зависимость $\bar{t}_П = f(\overline{X}_{ВХ})$ (рис. 6 а) линейно спадает с ростом уровня сигнала управления, а при ЧШИМ в пределе стремится к значению $\bar{t}_П = 0{,}5$, где $\bar{t}_П = t_П / T_{0|\overline{X}_{ВХ}=0} = t_П / 4\bar{b}T_И$ – нормированное значение интервала паузы между импульсами выходного сигнала РП. Если предположить, что максимально допустимым значением является $\bar{t}_П = 0{,}2$, то РП с ШИМ может работать только в пределах 80 % линейного участка амплитудной характеристики $Y_0 = f(X_{ВХ})$. При аналогичных начальных условиях, в РП с ЧШИМ может быть использовано практически 100 % рабочего участка характеристики $Y_0 = f(X_{ВХ})$, так как в пределе ($\overline{X}_{ВХ} = 1{,}0$) величина интервала паузы стремится к величине $\bar{t}_П = 0{,}5$. Таким образом, ЧШИМ обеспечивает не только более широкий диапазон регулирования, но и позволяет выбрать начальное значение частоты несущих колебаний, от которых зависят динамические возможности РП, гораздо выше, чем при ШИМ.

С точки зрения энергетических показателей силовых РП частотно-широтно-импульсная модуляция также превосходит ШИМ, так как с ростом амплитуды входного сигнала частота выходных импульсов РП с ЧШИМ падает (рис. 6б) и потери на переключения силовых ключей НЭ уменьшаются.

Для ШИМ эти потери постоянны и не зависят от уровня сигнала управления (за исключением случая $\overline{X}_{ВХ} = 0$, где эти потери при любом виде модуляции равны нулю из-за отсутствия выходных импульсов РП). Однако здесь следует учитывать то обстоятельство, что с уменьшение частоты несущих колебаний происходит пропорциональное снижение полосы пропускания РП.

Так, в диапазоне $0 \le \overline{X}_{ВХ} < 1{,}0$ (рис. 6б) предельная полоса пропускания РП с ШИМ составит $0{,}5\overline{F}_0$, а для ЧШИМ, например, при $\overline{X}_{ВХ} = 0{,}8$ будет равна $0{,}5\overline{F}_{0|\overline{X}_{ВХ}=0{,}8} \approx 0{,}18$, где $\overline{F}_0 = T_0^{-1} / T_{0|\overline{X}_{ВХ}=0}^{-1}$. – нормированная частота несущих колебаний РП. В результате для того, чтобы «уравнять» динамические возможности РП с ШИМ и ЧШИМ при максимальном уровне входного сигнала (в данном случае $\overline{X}_{ВХ} = 0{,}8$) начальная частота несущих колебаний РП с ЧШИМ должна быть практически в три раза выше частоты выходных импульсов РП с ШИМ. Таким образом, если приоритетным параметром РП является его полоса пропускания, то энергетические показатели ШИМ оказываются намного лучше, чем в РП с ЧШИМ.

Выводы

1. С позиций допустимого диапазона коммутации силовых ключей преобразователи с ЧШИМ значительно превосходят широтно-импульсные системы. Так РП с ШИМ может работать только в пределах 80 % (макси-

мум 90 %) линейного участка амплитудной характеристики «вход – выход», а в РП с ЧШИМ возможно использование практически 100 % рабочего участка этой характеристики.

2. Энергетические показателей силовых РП с ЧШИМ превосходит аналогичные характеристики РП с ШИМ, так как с ростом амплитуды входного сигнала частота выходных импульсов при ЧШИМ падает и потери на переключения силовых ключей уменьшаются.

3. Если приоритетным параметром РП является его полоса пропускания, то энергетические показатели ШИМ оказываются намного лучше, чем при ЧШИМ, так как для получения требуемой полосы пропускания системы с ЧШИМ необходимо начальную частоту несущих колебаний выбирать примерно в три раза выше, чем в РП с ШИМ.

Библиографический список

1. Брылина, О.Г. Многозонное развертывающее преобразование в системах автоматизации технологическими процессами: монография / О.Г. Брылина, Л.И. Цытович. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2014. – 202 с.

2. Дудкин, М.М. Элементы информационной электроники систем управления вентильными преобразователями: монография / М.М. Дудкин, Л.И. Цытович. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2011. – 362с.

3. Развертывающие преобразователи с однотактной широтно- и частотно-широтно-импульсной модуляцией / Л.И. Цытович, В.И. Абушаев, М.М. Дудкин, О.Г. Терещина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2004. – Вып. 5. – № 4(33). – С. 62–68.

4. Шахов, Э.К. Интегрирующие развертывающие преобразователи напряжения / Э.К. Шахов, В.Д. Михотин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 142 с.

5. Дудкин, М.М. Динамические характеристики развертывающего преобразователя с частотно-широтно-импульсной модуляцией / М.М. Дудкин, О.Г. Брылина, Л.И. Цытович // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2014. – Вып. 14. – № 3. – С. 46–52.

6. Активные фильтры / Л.П. Хьюлсман; пер. с англ. под ред. И.Н. Теплюка. – М.: Мир, 1972. – 516 с.

7. Мануковский, Ю.М. Широтно-регулируемые автономные транзисторные преобразователи частоты / Ю.М. Мануковский, А.В. Пузаков. – Кишинев: Штинца, 1990. – 150 с.

8. Перельмутер, В.М. Системы управления тиристорными электроприводами постоянного тока / В.М. Перельмутер, В.А. Сидоренко. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 302 с.

9. Брылина О.Г. Влияние закона широтно- и частотно-широтно-импульсной модуляции на уровень пульсаций выходного сигнала апериодического звена первого порядка / О.Г. Брылина // Электротехника. – 2014. – № 10. – С. 18–23.

К содержанию

УДК 621.314.5

К АНАЛИЗУ АДДИТИВНОЙ ОШИБКИ МНОГОЗОННОГО РАЗВЕРТЫВАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ЧАСТОТНО-ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

О.Г. Брылина

Статья посвящена анализу аддитивной погрешности многозонного интегрирующего развертывающего преобразователя с частотно-широтно-импульсной модуляцией выходного сигнала. Анализируются погрешности, обусловленные входным током и ЭДС смещения «нуля» операционного усилителя интегратора. Приведены структурная схема, временные диаграммы сигналов МРП и аналитические выражения для расчета его амплитудной и модуляционной характеристик.

Ключевые слова: статическая погрешность, входной ток, ЭДС смещения «нуля», многозонный интегрирующий развертывающий преобразователь, частотно-широтно-импульсная модуляция, интегратор, релейный элемент.

Введение

Многозонные интегрирующие развертывающие преобразователи (МРП) являются перспективным классом импульсных преобразователей [1], с помощью которых возможно комплексное решение задач в области повышения помехоустойчивости, временной и температурной стабильности характеристик, ремонтопригодности и автоматического резервирования каналов передачи информации, энергетических показателей силового электрооборудования автоматизированных электроприводов и систем технологической автоматики [2–5].

Одним из показателей качества многозонного развертывающего преобразования, характеризующим его метрологические показатели, является погрешность, вызванная аддитивными составляющими ошибки интегратора, среди которых основными являются временная и температурная нестабильность входного тока и ЭДС смещения «нуля» операционного усилителя [6, 7].

Теоретическая часть

В состав МРП (рис. 1) входят сумматоры Σ1, Σ2, интегратор И с передаточной характеристикой вида $W(p)=\frac{1}{T_и p}$ (где $T_и$ – постоянная времени интегрирования) и нечетное число $n \geq 3$ релейных элементов РЭ1 – РЭn,

с симметричными относительно нулевого уровня порогами переключения $|\pm b_1|<|\pm b_2|<\ldots<|\pm b_n|$, где индекс при «$b$» соответствует порядковому номеру РЭ. Выходные сигналы РЭ меняются дискретно в пределах $\pm A/n$. Число модуляционных зон МРП равно $k=(n+1)/2$. Режим автоколебаний в МРП всегда возникает в тракте РЭ, имеющего наименьшее значение порогов переключения. Переход МРП из одной модуляционной зоны в другую определяется величиной сигнала управления на его информационном входе. Подробно режимы работы МРП рассмотрены в работе [1].

Учитывая, что независимо от порядка модуляционной зоны, автоколебания в МРП всегда возникают в тракте РЭ, обладающего минимальными значениями порогов переключения [1], то для анализа статических режимов многозонный преобразователь можно представить в виде однозонной системы (рис. 1), состоящей из сумматора Σ1, интегратора и релейного элемента, который имеет минимальное значение зоны неоднозначности из группы РЭ1…РЭn.

Временные диаграммы сигналов МРП при влиянии входного тока и ЭДС смещения «нуля» ОУ интегратора показаны на рис. 2. Приведенный к входу МРП результирующий сигнал дрейфа $X_{ДР}$ воспринимается устройством как эквивалентное изменение входного сигнала X_{BX}, что приводит к отклонению интервала дискретизации $T_{0(e)}^{(i)}$ и постоянной составляющей $Y_{0(e)}^{(i)}$ импульсов $Y_{P1}(t)$ от их требуемых значений T_0 и Y_0 соответственно.

Основными характеристиками МРП являются амплитудная $Y_0=f(X_{BX})$ и модуляционная $f_0=f(X_{BX})$ [1]. Где Y_0 – среднее значение и $f_0=1/T_0$ – частота выходных импульсов МРП. Исходная система уравнений для любой i-ой модуляционной зоны МРП показана в табл. 1 уравнение (1). $z_i=1,2,3\ldots$ обозначен порядковый номер модуляционной зоны.

Эквивалентные схемы интегрирующего каскада с учетом ЭДС e и тока Δi, на основании которых была получена система уравнений (1) также приведены в таблице 1 на рис. 1 и рис. 2.

Для первой модуляционной зоны $z=1$ систему (1) можно представить в виде уравнений 2–9, табл. 1.

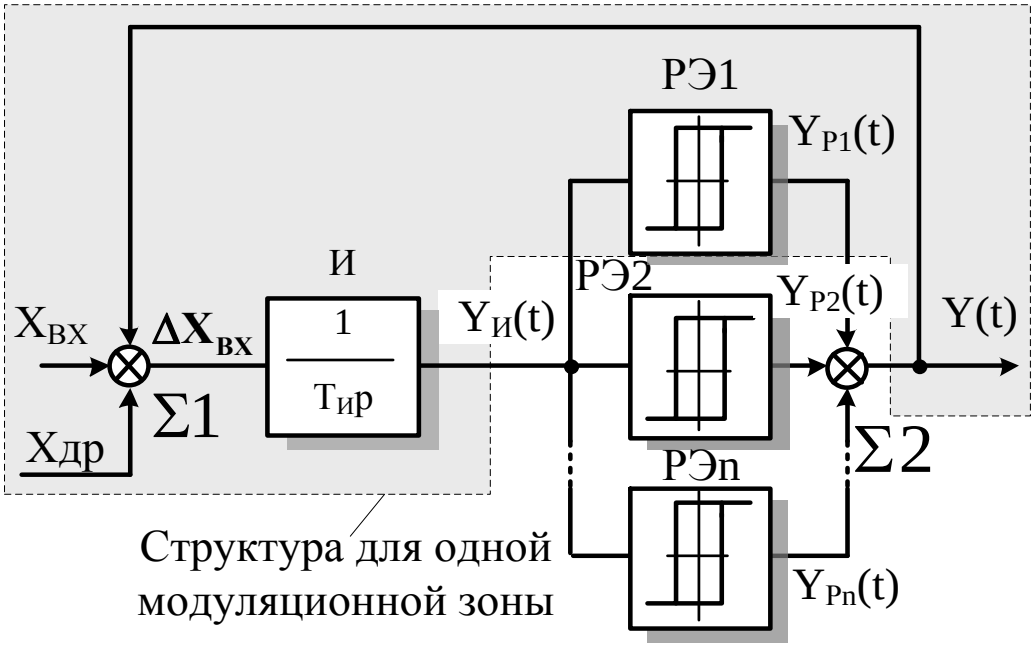


Рис. 1. Структурная схема МРП

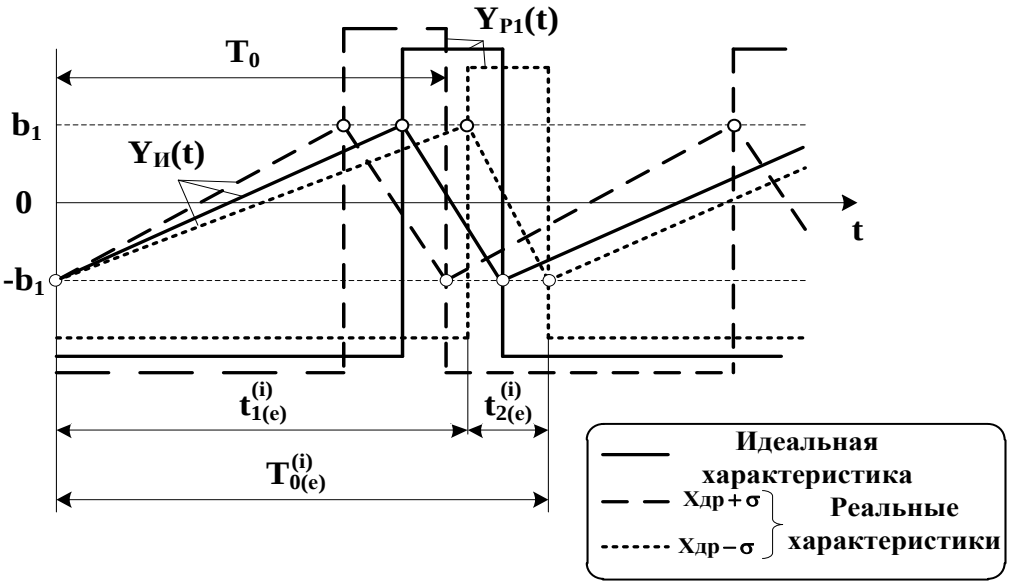


Рис. 2. Временные диаграммы сигналов МРП

Таблица 1

К анализу погрешности МРП с учетом входного тока и ЭДС смещения «нуля» ОУ интегратора

Система уравнений для i-ой модуляционной зоны МРП

$$\begin{cases} t_{1(e)}^{(i)} = \dfrac{2\bar{b}_1 T_И}{\dfrac{2z_i - 1}{n} - (\bar{X}_{BX} \pm \sigma)}; \quad t_{2(e)}^{(i)} = \dfrac{2\bar{b}_1 T_И}{\bar{X}_{BX} \pm \sigma - \dfrac{2z_i - 1}{n}}; \\ T_{0(e)}^{(i)} = t_{1(e)}^{(i)} + t_{2(e)}^{(i)}; \quad \delta T_0^{(i)} = 1 - \dfrac{T_{0(e)}^{(i)}}{T_0}; \\ Y_{0(e)}^{(i)} = -A\left(\dfrac{2t^{(i)}_{1(e)}}{T_{0(e)}^{(2)}} - 1\right); \quad \delta Y_{0(e)}^{(i)} = 1 - \dfrac{Y_{0(e)}^{(i)}}{Y_0} \end{cases} . \qquad (1)$$

Эквивалентная схема интегратора с учетом ЭДС смещения «нуля» МРП	Эквивалентная схема интегратора с учетом входного тока МРП

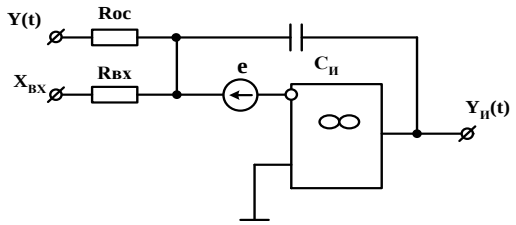
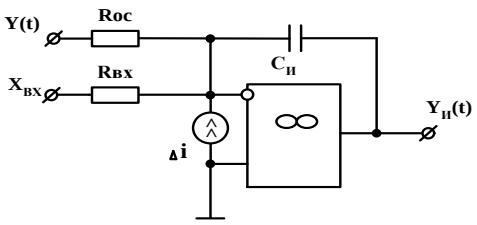

	

Рис. 1	Рис. 2
Интервал дискретизации для $n = Z = 1$	
$T_{0(e)}^{(1)} = \dfrac{\dfrac{4\bar{b}_1 T_И}{1 - \bar{X}_{BX}^2}}{1 \mp \dfrac{\sigma_1(2\bar{X}_{BX} \pm \sigma_1)}{1 - \bar{X}_{BX}^2}}, \quad (2)$	$T_{0(i)}^{(1)} = \dfrac{\dfrac{4\bar{b}_1 T_И}{1 - \bar{X}_{BX}^2}}{1 \mp \dfrac{\sigma_2(2\bar{X}_{BX} \pm \sigma_2)}{1 - \bar{X}_{BX}^2}}, \quad (6)$
Отклонение интервала дискретизации для первой модуляционной зоны	
$\delta T_{0(e)}^{(1)} = \mp \dfrac{\sigma_1(2\bar{X}_{BX} \pm \sigma_1)}{1 - (\bar{X}_{BX} \pm \sigma_1)^2}, \quad (3)$	$\delta T_{0(i)}^{(1)} = \mp \dfrac{\sigma_2(2\bar{X}_{BX} \pm \sigma_2)}{1 - (\bar{X}_{BX} \pm \sigma_2)^2}, \quad (7)$
Среднее значение импульсов $Y(t)$ за время $T_{0(e)}$	Среднее значение импульсов $Y(t)$ за время $T_{0(i)}$
$Y_{0(e)}^{(1)} = -(X_{BX} \pm e)\dfrac{R_{OC}}{R_{BX}}, \quad (4)$	$Y_{0(i)}^{(1)} = -\left(\dfrac{R_{OC}}{R_{BX}} \cdot X_{BX} \pm \Delta i \cdot R_{OC}\right), \quad (8)$
Ошибка среднего значения выходных импульсов **Y(t)** МРП	
$\delta Y_{0(e)}^{(1)} = \mp e \dfrac{R_{OC}}{R_{BX}} \cdot \dfrac{1}{A}. \quad (5)$	$\delta Y_{0(e)}^{(1)} = \mp\left(\Delta i \cdot \dfrac{R_{OC}}{A}\right). \quad (9)$

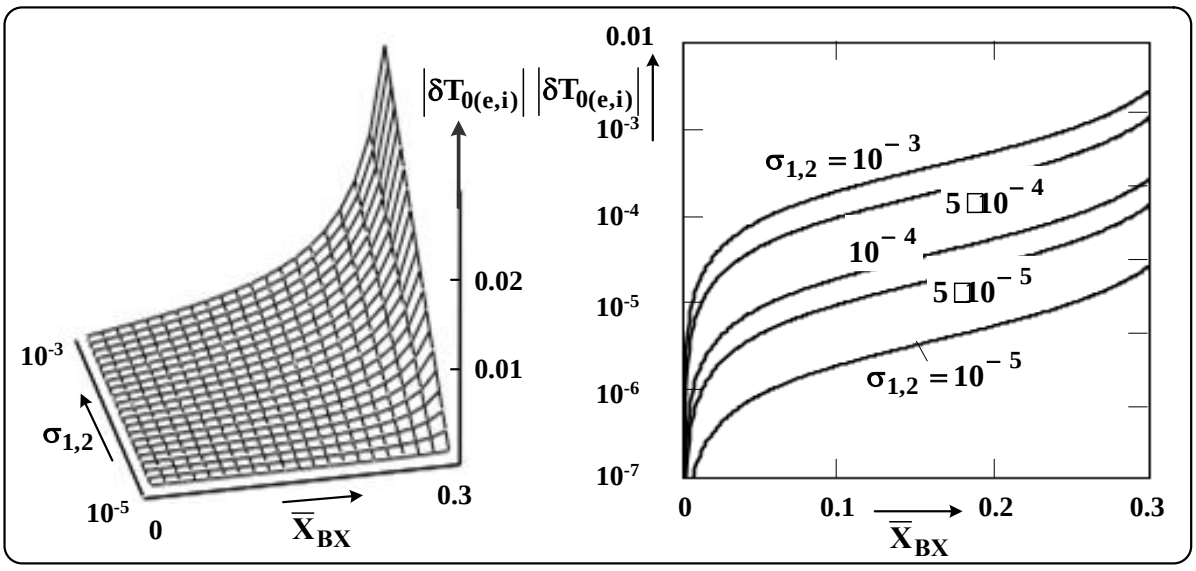
Выводы

Анализируя полученные зависимости, можно сделать следующие выводы.

1. Из соотношений (2 и 6, табл. 1), где знак «+» при $\sigma_1 = \left|\delta Y_{0(e)}\right|$ (см. выражение 4, табл. 1) и $\sigma_2 = \left|\delta \overline{Y}_{0(i)}\right|$ (см. выражение 8, табл. 1) соответствует случаю согласного действия сигналов X_{BX} и e, Δi, видно, что отклонение $\delta T_{0(e)}, \delta T_{0(i)}$ увеличивается с ростом $\overline{X}_{BX}$ и σ_1.

2. Графики зависимостей $\left|\delta T_{0(e)}\right| = \left|\delta T_{0(i)}\right| = \left|\delta T_{0(e,i)}\right| = f(\overline{X}_{BX})$ при фиксированных значениях $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_{1,2}$ (рис. 3б) показывают существенное влияние аддитивной ошибки звена И не только на статические, но и на динамические характеристики МРП, определяемые частотой его автоколебаний. Причем, количественные показатели отклонения $\left|\delta T_{0(e,i)}\right|$ (на рис. 3а, б) не являются предельными и зависят от конкретного соотношения величин e, Δi и $\overline{X}_{BX}$.

Так, диапазону $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_{1,2} = 10^{-5} - 10^{-3}$, при $R_{OC} = 10^5$ Ом соответствуют пределы измерения входного тока ОУ интегратора $\Delta i = (1-100)10^{-9}$ А или, например, при $e = \text{const} = 10^{-3}$ В диапазон коэффициента передачи МРП $k_{П} = 0.1-10$ [8-10].



а) б)

Рис. 3. Пространство статического состояния $\left|\delta T_{0(e,i)}\right| = f(\overline{X}_{BX}, \sigma_{1,2})$ (а) и зависимости $\left|\delta T_{0(e,i)}\right| = f(\overline{X}_{BX})$ при фиксированных значениях $\sigma_{1,2}$ (б) для i-ой модуляционной зоны МРП

3. Ошибка среднего значения $\delta\overline{Y}_{0(e)}$ выходных импульсов Y(t) МРП зависит от величины дрейфовых параметров $\pm e$ и $\pm i$, как у обычного операционного усилителя [9, 11].

4. Зависимости, приведенные на рис. 3 характерны для любой модуляционной зоны МРП. Отклонение интервала дискретизации $\left|\delta T_{0(e,i)}\right|$ и ошибка среднего значения выходных импульсов $\left|\delta Y_{(e,i)}\right|$ в пределах каждой модуляционной зоны при использовании ОУ общепромышленного назначения [9, 12-14] не превышают величины $10^{-2} - 10^{-3}$.

Для снижения уровня аддитивной ошибки интегратора целесообразно применять в МРП высокоточные ОУ [9-11] с автокоррекцией дрейфовых параметров. Однако при этом предельная частота автоколебаний МРП не будет превышать 10^4 Гц из-за сравнительно низкого быстродействия подобных ОУ.

Библиографический список

1. Брылина, О.Г. Многозонное развертывающее преобразование в системах автоматизации технологическими процессами: монография / О.Г. Брылина, Л.И. Цытович. – Челябинск; Изд. центр ЮУрГУ, 2014. – 202 с.

2. Tsytovich, L.I. The way of logical data transmission along a single-wire communication line on the basis of multizone frequency-width-pulse modulation / L.I. Tsytovich, O.G. Brylina, A.V. Tygaev // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2015. – Вып. 15. – № 1. – С. 34–40.

3. Цытович, Л.И. О динамике многозонного интегрирующего регулятора с частотно-нулевым сопряжением модуляционных зон / Л.И. Цытович, О.Г. Брылина // Электротехника. – 2014. – № 7. – С. 17–25.

4. Брылина, О.Г. Частотно-широтно-импульсные энерго-ресурсосберегающие регуляторы переменного напряжения для термоэлектронагревательных систем и комплексов / О.Г. Брылина // Труды XVII Международного форума по проблемам науки, техники и образования. – М.: Академия наук о Земле, 2013. – С. 90–92.

5. Брылина, О.Г. Система электроприводов с комбинированным плавно-дискретным управлением в параллельных каналах регулирования / О.Г. Брылина, Л.И. Цытович // Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий. Сб. науч. трудов I международной (IV всероссийской) науч. технич. конференции. – Уфа: Нефтегазовое дело, 2013, – С. 6–8.

6. Волович, Г.И. Схемотехника аналоговых и аналогово-цифровых электронных устройств / Г.И. Волович. – М.: ИД «Додэка-XXI», 2005. – 527 с.

7. Цытович, Л.И. Разработка, исследование и применение развертывающих операционных усилителей в системах управления электроприводами: дис. … канд. техн. наук / Л.И. Цытович. – Челябинск: ЧПИ, 1978. – 281 с.

8. Промэлектроника. Каталог 2014. Электронные компоненты для производства. – URL: http://promelec.ru.

9. Микросхемы АЦП и ЦАП: справочник / подгот. Г.И. Волович, В.Б. Ежов; отв. ред. Т.Е. Брод. – М.: Додэка-XXI, 2005. – 431 с.

10. Применение интегральных микросхем памяти: справочник / А.А. Дерюгин, В.В. Цыркин, В.Е. Красовский и др.; под ред. А.Ю. Гордонова, А.А. Дерюгина. – М.: Радио и связь, 1994 – 232 с.

11. Рипейко, В.В. Цветовые и кодовые обозначения радиоэлементов. Диоды, транзисторы, интегральные схемы, приборы индикации, таблицы аналогов / В.В. Рипейко – Воронеж: Транспорт, 1995. – 247 с.

12. Ежов, В.Б. Отечественные полупроводниковые приборы и зарубежные аналоги: справочник / В.Б. Ежов, Б.Л. Перельман. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: НТЦ МИКРОТЕХ, 2005. – 180 с.

13. Турута, Е.Ф. 3500 микросхем усилителей мощности низкой частоты и их аналоги: справочник / Е.Ф. Турута. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 347 с.

14. Зарубежные микросхемы, транзисторы, тиристоры, диоды + SMD: A.Z: справочник / Под ред. С.Л. Корякина-Черняка. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Наука и Техника, Т.1: Электронные компоненты. – М., 2005. – 649 с.

К содержанию

УДК 621.314.5 + 621.311

ТИРИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ОБЪЕКТОВ С ПИТАНИЕМ ОТ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, О.Г. Брылина, Г.И. Драчев, Н.А. Логинова

Рассматривается принцип построения системы управления реверсивным тиристорным преобразователем постоянного тока (ТП) для объектов с питанием от энергосистемы ограниченной мощности. ТП представляет собой преобразователь с раздельным управлением и синхронной многоканальной системой импульсно-фазового управления. Основные элементы информационной части ТП выполнены на основе интегрирующих развертывающих преобразователей, работающих в автоколебательном режиме, либо в режиме синхронизации с частотой сети. Тем самым достигается высокая помехоустойчивость информационных и синхронизирующих каналов ТП и автоматическая подстройка его характеристик под параметры силовой сети. Приведены экспериментальные осциллограммы сигналов.

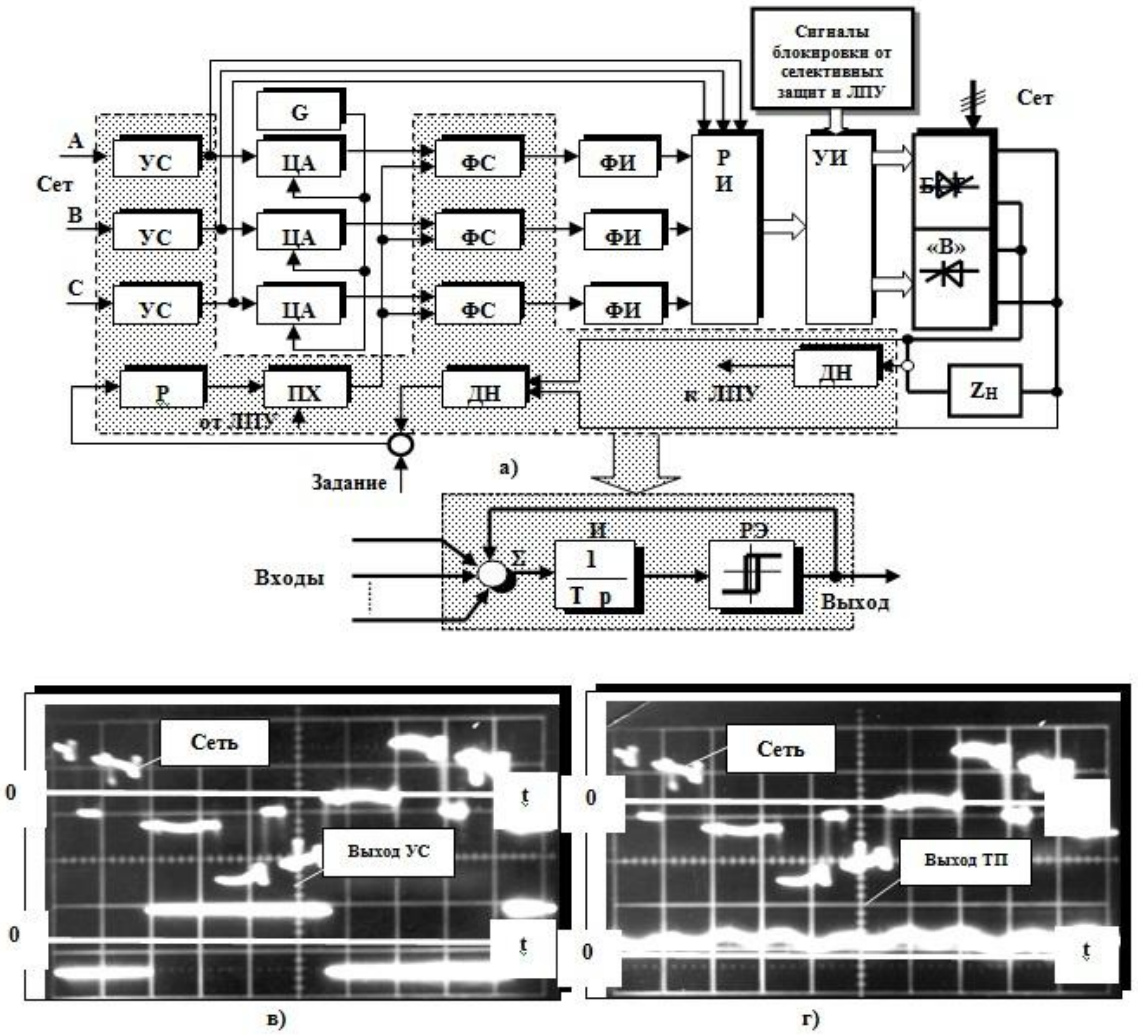
Ключевые слова: система импульсно-фазового управления, реверсивный тиристорный преобразователь, автономная установка, интегрирующий развертывающий преобразователь, релейный элемент, интегратор.

Введение

На кафедре электропривода и автоматизации промышленных установок Южно-Уральского государственного университета разработан адаптивный тиристорный преобразователь (ТП), предназначенный как для промышленных объектов с «проблемной» сетью, так и для автономных установок с питанием от энергосистем ограниченной мощности с нестационарными параметрами.

Система управления ТП выполнена в двух вариантах – аналоговом и цифровом и по своей структуре не отличается от традиционных синхронных многоканальных систем импульсно-фазового управления для преобразователей с раздельным управлением [1, 2]. В ее состав (рис. а) входят устройства синхронизации УС, подключенные к соответствующей фазе А, В, С напряжения сети, цифро-аналоговые генераторы пилообразного напряжения ЦАГ с генератором G несущей частоты, фазосдвигающие устройства ФСУ, формирователи импульсов ФИ управления силовыми тиристорами, распределитель импульсов РИ, усилитель мощности импульсов управления УИ, регулятор Р, переключатель характеристик ПХ, датчик напряжения ДН, датчик нулевого тока ДНТ, блок силовых тиристоров БСТ с группой «Впе-

ред» («В») и «Назад» («Н»), а также не показанные на рис. а логическое переключающее устройство ЛПУ, контур тока с датчиками тока, комплекс селективных защит от аварийных режимов работы преобразователя и логический ограничитель минимального и максимального углов управления.



Упрощенная функциональная схема (а) системы управления реверсивным тиристорным преобразователем, базовая структура (б) его информационных элементов и осциллограммы «сеть – сигнал на выходе УС» (в) и «сеть – напряжение на выходе ТП» (г)

Основным отличием рассматриваемой системы является то, что все ее информационные модули (УС, ФСУ, Р, ПХ, ДН, ДНТ) выполнены на базе единой идеологии преобразования информации, в основе которой лежит структура интегрирующего развертывающего преобразователя (РП) с частотно-широтно-импульсной модуляцией (ЧШИМ) (рис. б) [3–6].

РП содержит сумматор Σ, интегратор И и релейный элемент РЭ с симметричной относительно нулевого уровня петлей гистерезиса. При изменении сигнала управления в пределах линейного участка статической характеристики «вход-выход» РП представляет собой ЧШИМ-систему с час-

тотой автоколебаний, зависимой от сигнала управления по квадратичному закону. Среднее значение выходных импульсов РП линейно по отношению к входному воздействию, что является прямым следствием замкнутого характера структуры РП. В результате РП, по аналогии с линейными операционными усилителями, может выполнять весь набор традиционных для систем электропривода законов регулирования – пропорциональный, интегральный, пропорционально-интегрирующий, дифференцирующий и т.д. При этом достигается высокая помехоустойчивость работы регулятора и крайне низкий уровень ошибок замедленной дискретизации, возникающих в импульсных системах при частотах помех, превышающих частоту их несущих колебаний.

Импульсный характер выходного сигнала РП позволяет с помощью простых схемотехнических приемов реализовывать на его основе датчики с потенциально разделенным входом (ДН, ДНТ). Для этого на выходе РП включается дифференцирующий трансформатор, либо оптоэлектронная гальваническая развязка, выходной сигнал которой подается на дополнительный релейный элемент и сглаживающий фильтр.

Отличительной особенностью ДНТ является то, что при наличии тока нагрузки РП находится в заторможенном состоянии, а в автоколебательный режим переходит только при токе, близком к нулю. При этом фиксируется факт возникновения в РП автоколебаний, который с помощью элементарно простой схемы преобразуется в сигнал логической «1». Подобное решение позволяет получить практически «абсолютную» помехоустойчивость ДНТ особенно к сигналам импульсных помех по сравнению с компараторными устройствами аналогичного функционального назначения.

В традиционных схемах ПХ на основе ОУ переключение ветвей статической характеристики «вход-выход» производится, как правило, за счет коммутации входов ОУ, что ухудшает метрологические характеристики ПХ из-за остаточных параметров ключевых коммутаторов. Импульсный характер выходного сигнала РП, на основе которого реализуется ПХ, позволяет достичь желаемого результате без введения каких-либо ключей, а лишь на основе логической обработки выходных импульсов РП с использованием функции «Равнозначность», либо «Исключающее ИЛИ».

В блоках УС и ФСУ используется способность автоколебательного РП работать в режиме синхронизации от внешнего источника сигнала. При этом в УС сигналом синхронизации является напряжение сети соответствующей фазы, которое подается на информационный вход РП. Оптимальная кратность синхронизирующего сигнала $\vec{A}_C = |A_C / A| = 2{,}5 - 4{,}0$, где: A_C – амплитуда напряжения сети на входе РП; $\pm A$ – амплитуда выходных импульсов РЭ. При работе в режиме внешней синхронизации РП приобретает динамические характеристики адаптивного апериодического звена первого порядка с постоянной времени, пропорциональной произведению

периода и амплитуды $\bar{\mathbf{A}}_{\mathbf{C}}$ синхронизирующего воздействия [7, 8]. Тем самым обеспечивается адаптивность динамики УС к напряжению сети, и исключается необходимость введения в схему синхронизации дополнительных стационарных фильтров.

ФСУ выполнено по структуре РП, но его синхронизация осуществляется не по информационному входу, а со стороны входа РЭ [9] пилообразным напряжением с выхода ЦАГ. Здесь ФСУ, так же как и УС, представляет собой адаптивную к изменениям напряжения сети систему, обеспечивая независимость характеристик тиристорного преобразователя в широком диапазоне изменения частоты сети.

Использование РП в качестве базового элемента системы управления позволило обеспечить следующие основные характеристики ТП: 1) допустимый статический диапазон изменения частоты сети при автоматической подстройке параметров ТП 30–80 Гц; 2) допустимый динамический диапазон изменения частоты сети, не более 2 Гц/сек; 3) допустимая нестабильность напряжения сети при сохранении работоспособности преобразователя -50…+25 %; 4) допустимая величина коммутационных провалов напряжения сети при одиночной или совместной работе преобразователей, не менее 100% на 25 эл. град; 5) нелинейность регулировочной характеристики, не более 0,5 %; 6) асимметрия импульсов управления в указанном диапазоне изменения частоты сети, не более 2,0 эл. град. 7) бестоковая пауза – 5 мс; 8) полоса равномерного пропускания частот с регулятором напряжения – 256 рад/сек. (при номинальной частоте сети 50 Гц); 9) температурный диапазон эксплуатации – 40…+80 град. С.

Промышленные испытания ТП производились на автономной буровой установке с питанием от дизель-генераторной станции ограниченной мощности. При этом система показала крайне высокий уровень эксплуатационной надежности при целом ряде экстремальных ситуаций, где ТП других типов оказывались попросту неработоспособными. Так, например, ТП сохранял свою работоспособность даже при таких искажениях напряжения сети, которые показаны на рис. в, г. Построение на основе РП возможно не только ТП, но и, например, тиристорных регуляторов переменного напряжения для «мягкого» пуска асинхронных электродвигателей [10].

Библиографический список

1. Лебедев, Е.Д. Управление вентильными электроприводами постоянного тока / Е.Д. Лебедев, В.Е. Неймарк, М.Я. Пистрак, О.В. Слежановский. – М.: Энергия, 1970. – 199 с.

2. Цытович, Л.И. Тиристорная станция управления интегрирующего типа для плавного пуска асинхронных электродвигателей / Л.И. Цытович, Р.Х. Гафиятуллин, Р.М. Рахматуллин, М.М. Дудкин, С.И. Шкаликов, Ю.Г. Попов, В.А. Тюгаев, А.А. Габорик, С.И. Скляров // Наука и технологии. Избранные труды Российской школы «К 70-летию Г.П. Вяткина». – М.: РАН, 2005. – С. 520–526.

3. Темников, Ф.Е. Математические развертывающие системы / Ф.Е. Темников, В.Е. Славинский. – М.: Энергия, 1970. – 120 с.

4. Цытович, Л.И. Развертывающие преобразователи для систем управления вентильными электроприводами и технологической автоматики: дис. … д-ра техн. наук / Л.И. Цытович. – Челябинск: ЧГТУ, 1996. – 464 с.

5. Пат. 2461948 Российская Федерация. МПК[7] H 02 M 1/08. Устройство синхронизации / Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, А.В. Качалов, О.Г. Брылина, Р.М. Рахматуллин. – № 2011117488/07; заявл. 29.04.2011; опубл. 20.09.12, Бюл. № 26.

6. Цытович, Л.И. Интегрирующая интервало-кодовая синхронизация реверсивных тиристорных преобразователей / Л.И. Цытович, А.В. Качалов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2010. – Вып. 13. – № 14 (190). – С. 36–39.

7. Мартяшин, А.И. Преобразователи электрических параметров для систем контроля и измерения / А.И. Мартяшин, Э.К. Шахов, В.М. Шляндин. – М.: Энергия, 1976. – 390 с.

8. Цытович, Л.И. Развертывающий операционный усилитель с перестраиваемой полосой пропускания / Л.И. Цытович // Приборы и техника эксперимента. – 1979. – № 4. – С. 149–152.

9. Дудкин, М.М. Элементы информационной электроники систем управления вентильными преобразователями / М.М. Дудкин, Л.И. Цытович. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 362 с.

10. Tsytovich, L.I. Integrating variable voltage regulator at interval coder of synchronization for thermoregulation systems / L.I. Tsytovich, M.M. Dudkin, R.M. Rakhmatulin, O.G. Brylina, A.V. Tugaev // Science, Technology and Higher Education: materials of the international research and practice conference / publishing office Accent Graphics communications – Westwood – Canada, – 2012. – Vol. II. – December 11th–12th. – Pp. 559–566.

К содержанию

УДК 62-83-519 + 621.3.078 +658.265

ЭЛЕКТРОПРИВОД СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ С ДИСКРЕТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Л.И. Цытович, О.Г. Брылина, А.С. Нестеров, А.В. Тюгаев, Н.А. Логинова, Е.А. Лопухова

Рассматривается управление электроприводами системы водоснабжения сельского поселения, выполненной на базе асинхронных электродвигателей с регуляторами напряжения для их плавного пуска с ограничением пускового тока на заранее заданном уровне. Система управления содержит рабочий и резервный каналы управления. Отличительной особенностью системы является ее способность к самодиагностированию неисправности компонентов схемы и автоматическое включение резервного канала управления, что достигается благодаря многозонному интегрирующему преобразователю с частотно-широтно-импульсной модуляцией. Приведены структура системы управления и временные диаграммы ее сигналов.

Ключевые слова: интегратор, релейный элемент, регулятор напряжения, многозонный интегрирующий преобразователь, тиристор, диод, сумматор.

Введение

Подавляющее число электроприводов насосных станций водоснабжения отдаленных сельских поселений реализуются на основе водонапорных башен с накопительными резервуарами и асинхронных электроприводов с системами прямого релейно-контакторного пуска [1–3]. Это приводит к высокому потоку отказов электроприводов, что усугубляется, как правило, низкой квалификацией обслуживающего персонала, его нерасторопностью по объективным и субъективным причинам при устранении аварийных ситуаций на подобных объектах [4–6].

Очевидно, что наиболее реальным путем повышения надежности систем водоснабжения сельских поселений в сложившейся ситуации является применение предельно простых, недорогостоящих и максимально эффективных технических решений в области электронных технологий, которые позволяли бы наряду с реализацией программы ресурсо-энергосбережений решать вопросы автоматического резервирования электроприводов подобного класса.

Теоретическая часть

На рис. 1 представлена система управления асинхронными электроприводами водонапорной башни, имеющая автоматически вводимый в работу резервный канал регулирования.

В ее состав входят многозонный интегрирующий развертывающий преобразователь МРП, исполнительные асинхронные электродвигатели М1, М2 мощностью 12 кВт каждый с водяными насосами Н1, Н2, клапаны обратного давления ОК1, ОК2, и регуляторы напряжения РН1, РН2 [7–10], представляющие собой тиристорные преобразователи с фазным управлением и контуром обратной связи по току статора электродвигателя, что позволяет ограничивать пусковой ток М1, М2 на заранее заданном уровне порядка 1,8–2,5 номинального значения.

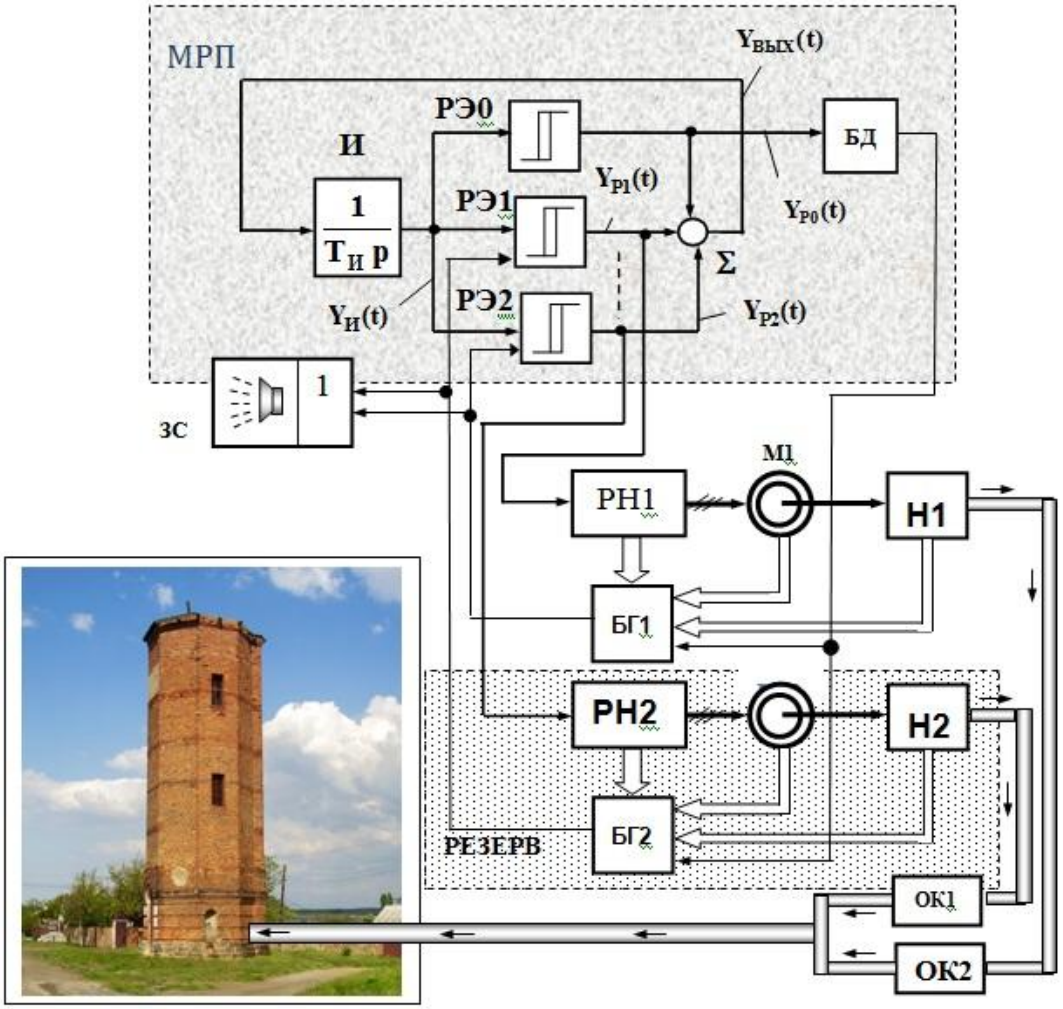


Рис. 1. Структурная схема системы управления водоснабжением сельского поселения с автоматическим включением резервного канала регулирования

Система импульсно-фазового управления РН1, РН2 реализована на основе автоколебательных интегрирующих развертывающих преобразователей с внешней синхронизацией напряжением сети соответствующей фазы [11, 12].

Ключи РН1, РН2 выполнены по схеме «тиристор – диод», что позволяет предельно упростить схему управления силовым блоком [13]. В состав

РН1, РН2 входит также весь комплекс быстродействующих селективных защит: максимально токовая, времятоковая, от исчезновения фазного напряжения, от перегрева силовых ключей [14]. Непосредственно М1, М2, Н1, Н2 содержат узлы прямой тепловой защиты на основе термореле. Кроме того, М1, М2 имеют защиту от пробоя изоляции обмоток статора. Все узлы защиты при срабатывании формируют сигнал логического «0».

Каждый из РН снабжен блоком готовности БГ, работающим по функции «И-НЕ», на входы которого подключены выходы всех защит РН и исполнительных механизмов, а также логические выходы РН, свидетельствующие о включении их оперативного и силового электропитания. Один из каналов, например, РН2 – М2 – Н2 находится в режиме «горячего» резерва.

Кроме перечисленных элементов, в состав системы входят блок диагностики БД работоспособности МРП и элемент светозвуковой сигнализации ЗС возникновения на объекте нештатной ситуации.

Рассмотрим принцип действия МРП [15].

В его состав входят интегратор И, сумматор Σ и группа из трех релейных элементов РЭ0, РЭ1, РЭ2 с неинвертирующей петлей гистерезиса и симметричными относительно нулевого уровня порогами переключения, удовлетворяющими условию $|\pm b_0| < |\pm b_1| < |\pm b_2|$, где индекс при «b» соответствует порядковому номеру РЭ. Выходные сигналы РЭ меняются в пределах $\pm \mathbf{A/n}$, где n – число релейных элементов МРП. РЭ1 и РЭ2 формируют команду на запуск соответствующей ТСУ1, ТСУ2. В дальнейшем считаем, что сигнал +А/3 (логическая «1») приводит к включению РН1, РН2, а сигнал –А/3 (логический «0») – к их отключению.

При включении МРП его релейные звенья ориентируются произвольным образом, однако, в конечном итоге, в режиме устойчивых автоколебаний всегда оказывается релейный элемент с минимальным значением порогов переключения (в данном случае РЭ0, рис. 2а, б), а остальные находятся в статическом и противоположном по знаку выходного сигнала состояниях (рис. 2в, г). В данном случае с помощью РЭ1 (рис. 2 в) производится пуск канала ТСУ1-М1-Н1, а тракт ТСУ2-М2-Н2 выполняет функции «горячего» резерва. Следует отметить, что применительно к рассматриваемой системе понятия «рабочий» и «резервный» каналы регулирования являются чисто условными, так как любой из них может оказаться как в роли рабочего, так и в роли резервного. Все зависит от первоначальной ориентации релейных элементов РЭ1, РЭ2 после возникновения в МРП режима устойчивых автоколебаний.

Для обеспечения с помощью МРП режима автоматического резервирования исполнительных механизмов каждый из релейных элементов РЭ1, РЭ2 выполнен с установочным входом, при подаче на который сигнала «1» приводит к принудительному переключению релейного элемента в поло-

жение –А/3. При исправном состоянии системы блоки готовности БГ формируют на выходе команду «0», и РЭ1, РЭ2 функционируют в соответствии со своей исходной характеристикой.

Предположим, что в момент времени t_0 (рис. 2в) в канале РН1-М1-Н1 сработала какая-либо из защит, что вызвало появление на выходе БГ1 сигнала «1», под действием которого РЭ1 принудительно переключился в положение –А/3.

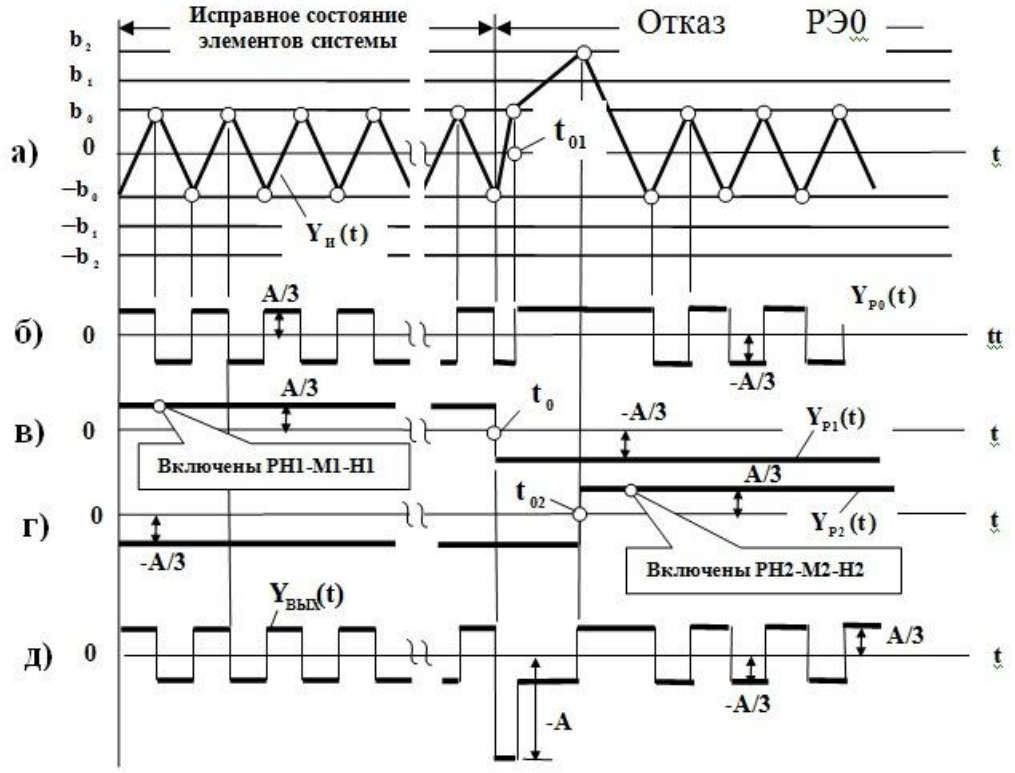


Рис. 2. Временные диаграммы сигналов МРП для исправного состояния системы и при отказе одного из каналов регулирования

Это приводит к отключению РН1 и появлению на выходе сумматора Σ импульса с амплитудой –А (рис. 2д), под действием которого выходной сигнал интегратора И форсировано достигает порога переключения РЭ0 (рис. 2а, момент времени t_{01}). После переключения последнего (рис. 2б) выходной сигнал МРП уменьшается до величины А/3 (рис. 2д), что приводит к снижению производной сигнала на выходе интегратора И, но не изменяет направление его нарастания (рис. 2а). В результате в момент времени t_{02} (рис. 2а, г) происходит переключение РЭ2 в состояние А/3, и автоматическое включение в работу канала РН2-М2-Н2. Включение резервной группы механизмов сопровождается подачей светозвуковой сигнализации с помощью блока ЗС на пульт обслуживающего персонала.

Для повышения надежности МРП интегратор И может быть выполнен на основе пассивной RC-цепи с передаточной функцией вида $W(p) = \frac{1}{1+Tp}$, а сумматор Σ – по схеме пассивного резистивного R-сумматора.

При выходе из строя РЭ0 режим автоколебаний возникает в канале РЭ1, что в рамках данной системы является недопустимым. Для аварийного отключения системы в подобной ситуации служит БД (рис. 1а). Его функции заключаются в контроле за существованием в тракте РЭ0 режима автоколебаний. При исчезновении такового система считается неисправной и подлежит отключению.

Питание оперативных цепей системы управления производится от двух параллельно работающих однофазных источников электропитания, подключенных к разным фазам сети. Один из источников находится в режиме «горячего» резерва.

Защита РН1, РН2 от пропадания фазного напряжения выполнена по интегрирующему принципу с временем срабатывания порядка 3–5 секунд, что позволяет системе не реагировать на кратковременное исчезновение фазного напряжения, исключая тем самым нерациональной переход на резервный канал регулирования.

Использование в качестве средства диагностики системы МРП позволяет отказаться от дорогостоящих программируемых контроллеров и разработки крайне сложного программного продукта для его многоуровневого самодиагностирования с применением мажоритарных алгоритмов.

Рассмотренная система может быть предельно упрощена, если резервный канал вместо РН2 оснастить схемой релейно-контакторного пуска. В этом случае МРП потребует введения достаточно простого узла предустановки РЭ1, РЭ2 в заранее требуемое положение, когда каналы регулирования будут строго разделены на рабочий и резервный.

Библиографический список

1. Цытович, Л.И. Адаптивная система синхронизации трехфазного мостового реверсивного тиристорного преобразователя / Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, А.В. Качалов, Р.М. Рахматулин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2009. – Вып. 11. – № 15(148). – С. 45–50.

2. Цытович, Л.И. Реверсивный тиристорный преобразователь для систем управления с питанием от сети с нестационарными параметрами / Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, Р.М. Рахматулин, А.В. Качалов // Практическая силовая электроника. – 2009. – № 2 (34). – С. 35–41.

3. Гафиятуллин, Р.Х. «Мягкий» пуск асинхронных электроприводов / Р.Х. Гафиятуллин, Л.И. Цытович, В.Г. Маурер, Д.Л. Власов // Техника и оборудование для села. – М., Информагротех, 1999. – С. 17–18.

4. Usynin Y.S. Grigoryev M.A., Shishkov A.N. [The Valve Drive with Field Regulated Reluctance Machine]. *Russian Electrical Engineering*, 2013, 84(3).

5. Usynin Y.S. Grigoryev M.A., Shishkov A.N. Lokhov S.P., Belousov E.V. [Electric Drives with Field Regulated Reluctance Machine for Cold Rolling Mills]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2012, vol. 17, no.16 (275), pp. 107–110 (in Russ.).

6. Параметрическая оптимизация частотно-регулируемых электроприводов / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьева, А.Н. Шишков и др. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2012. – Вып. 18. – № 37(296). – С. 30–33.

7. Цытович, Л.И. Многозонные интегрирующие системы управления каскадами «вентильный преобразователь – исполнительный механизм» для объектов с параллельными каналами регулирования / Л.И. Цытович, О.Г. Брылина // Практическая силовая электроника. – 2009. – № 36. – С. 23–30.

8. Цытович, Л.И. Системы управления электроприводами с параллельными каналами регулирования на основе многозонного интегрирующего развертывающего преобразователя / Л.И. Цытович, О.Г. Брылина // Известия высших учебных заведений «Проблемы энергетики». – 2010. – № 1–2. – С. 84–93.

9. Патент РФ № 2396683 «Система импульсно-фазового управления», авт. Цытович Л.И., Рахматулин Р.М., Дудкин М.М., Качалов А.В. // МПК[7] H 02 M 1/084. – № 2009128430/09; заявл. 22.07.09; опубл. 10.08.10, Бюл. № 22.

10. Патент РФ № 2408969 «Многозонный частотно-широтно-импульсный регулятор переменного напряжения», авт. Цытович Л.И., Дудкин М.М., Брылина О.Г., Качалов А.В. // МПК[7] H02 M5/293. – № 2009148024/07; заявл. 23.12.2009; опубл. 10.01.11, Бюл. № 1.

11. Цытович, Л.И. Интегрирующие устройства синхронизации для систем импульсно-фазового управления вентильными преобразователями / Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, А.В. Качалов // Практическая силовая электроника. – 2010. – № 1 (37). – С. 42–51.

12. Дудкин М.М. Однофазный активный фильтр для улучшения энергетических показателей системы электроснабжения управляемых электроприводов переменного тока / М.М. Дудкин, Л.И. Цытович // Электроприводы переменного тока: Труды международной 15 научно-технической конференции. – Екатеринбург: ФГАОУ ВПО, 2012. – С. 171–174.

13. Цытович, Л.И. Числоимпульсные фазосдвигающие устройства для систем импульсно-фазового управления тиристорными преобразователями / Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, А.В. Качалов // Практическая силовая электроника. – 2009. – № 3 (35). – С. 28–33.

14. Цытович, Л.И. Многозонные интегрирующие системы управления каскадами «вентильный преобразователь – исполнительный механизм» для объектов с параллельными каналами регулирования / Л.И. Цытович, О.Г. Брылина // Практическая силовая электроника. – 2009. – № 36. – С. 23–30.

15. Цытович, Л.И. Адаптивная интервало-кодовая двоично-десятичная интегрирующая синхронизация систем управления силовыми вентильными преобразователями / Л.И. Цытович, О.Г. Брылина, М.М. Дудкин, Р.М. Рахматулин // Электротехника. – 2013. – № 3. – С. 8–15.

К содержанию

УДК 621.314 + 004.387:621.3.087.92 + 621.314.5

ИНТЕГРИРУЮЩИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА В ЧАСТОТУ ИМПУЛЬСОВ

Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, А.С. Нестеров

Рассматриваются динамические характеристики интегрирующего преобразователя напряжения в частоту импульсов с амплитудно-частотной модуляцией синфазного и противофазного типов. Показано, что синфазная модуляция обеспечивает высокий уровень помехоустойчивости преобразователей данного класса, обладающих высокой температурной стабильностью характеристик.

Ключевые слова: интегрирующий развертывающий преобразователь, аналого-цифровой преобразователь, динамические характеристики, синфазная модуляция, температурная стабильность характеристик.

Введение

При число-импульсном методе аналого-цифрового преобразования (АЦП), применяемого, в частности, при построении систем импульсно-фазового управления тиристорными преобразователями, существуют два базовых способа представления аналоговой величины в код. Первый из них основан на подсчете за фиксированный интервал времени количества импульсов, частота которых пропорциональна контролируемой величине [1]. Во втором случае входной сигнал преобразуется в пропорциональный ему интервал времени, в течение которого осуществляется счет импульсов стабильной частоты [2]. Основу каждого из перечисленных вариантов АЦП составляют преобразователи аналогового сигнала, например напряжения, в частоту импульсов (ПНЧ) с линейно нарастающей или спадающей в функции входного сигнала частотой выходных импульсов. При этом ПНЧ однозначно определяют метрологические характеристики, в том числе и помехоустойчивость, АЦП. Поэтому представляет интерес сравнительный анализ динамических показателей ПНЧ с различной функцией преобразования для широкого частотного диапазона входного гармонического воздействия, затрагивающего также область частот, выходящую за пределы частоты несущих колебаний ПНЧ. Это позволяет выявить наиболее благоприятный для систем управления с высоким уровнем и широким частотным спектром помех вид модуляции, реализуемой в ПНЧ.

Ниже рассматривается автоколебательный интегрирующий развертывающий преобразователь аналогового сигнала в частоту импульсов с различными законами амплитудно-частотной модуляции [3] и дается анализ его статических и динамических характеристик.

Динамические характеристики ПНЧ

Структурная схема ПНЧ (рис. 1а) содержит амплитудный модулятор АМ, сумматор Σ, интегратор И с постоянной времени $T_и$ и релейный элемент РЭ с неинвертирующей петлей гистерезиса и порогами переключения $\pm b$.

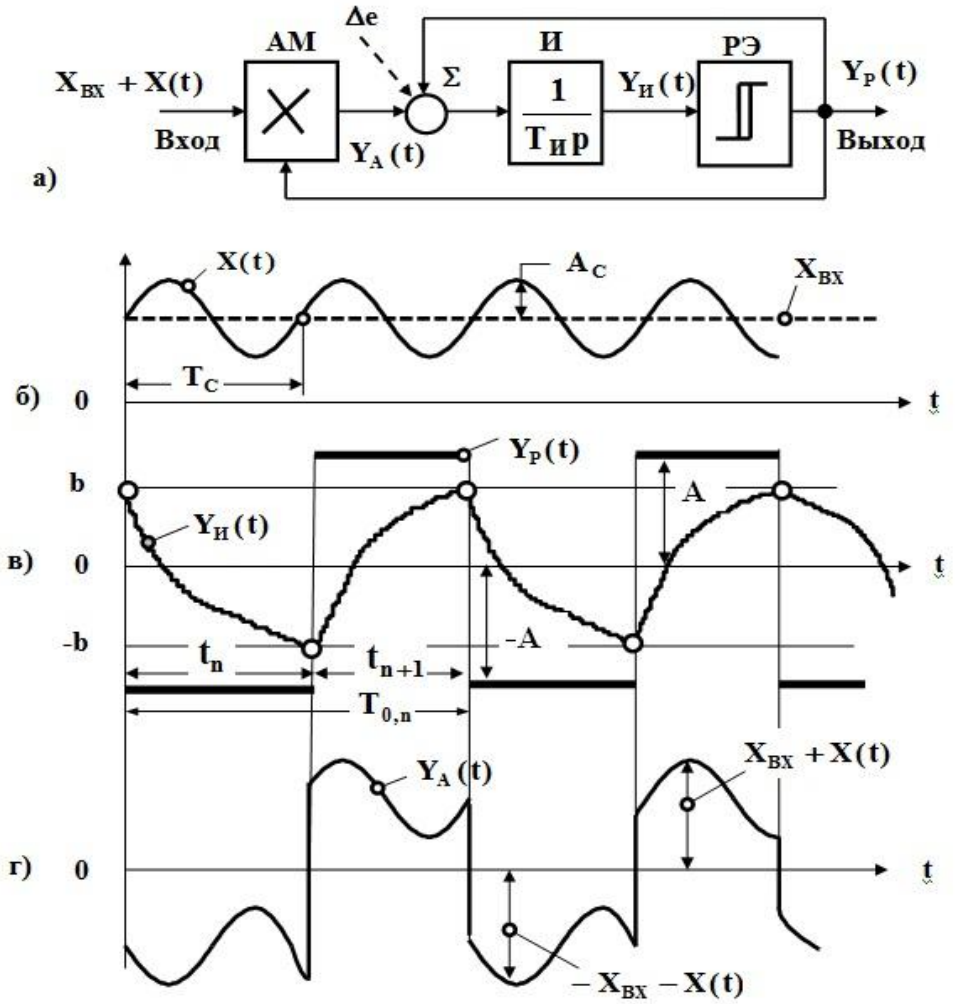


Рис. 1. Структурная схема (а) и временные диаграммы сигналов (б–г) развертывающего преобразователя «напряжение (ток) – частота» с синфазной амплитудной модуляцией

Выходной сигнал $Y_Р(t)$ РЭ меняется дискретно в пределах $\pm A$. АМ осуществляет преобразование входного постоянного сигнала $X_{ВХ}$ в биполярные импульсы $Y_A(t)$ с частотой выходного сигнала РЭ и с амплитудой, равной $X_{ВХ}$. ПНЧ может работать в режиме синфазной амплитудной модуляции (АМС), когда фазовый сдвиг $\Delta\varphi$ между импульсами $Y_A(t)$ и $Y_Р(t)$ равен нулю, и в режиме противофазной амплитудной модуляции (АМП), при которой $\Delta\varphi = 180$ электрических градусов.

При АМС в ПНЧ реализуется закон модуляции вида $\bar{f}_0 = f_0 / f_{0|\bar{X}_{BX}=0} = 1 + \bar{X}_{BX}$, а в случае АМП – $\bar{f}_0 = 1 - \bar{X}_{BX}$. Здесь: $\bar{f}_0$ – нормированное значение частоты f_0 импульсов $Y_P(t)$; $\bar{X}_{BX} = |X_{BX} / A|$ – нормированная величина входного сигнала X_{BX}, для которого при АМП накладывается ограничение $\bar{X}_{BX} < 1{,}0$.

Рассмотрим работу ПНЧ с учетом динамической составляющей $X(t) = A_C \sin(2\pi t / T_C)$ входного сигнала при следующих условиях:

- коэффициент передачи АМ и автоколебательного каскада Σ, И, РЭ равен единице;
- суммарный входной сигнал $X_{BX} + X(t)$ прикладывается на вход ПНЧ в момент времени $t = 0$, совпадающим с началом очередного цикла развертывающего преобразования;
- для АМП результирующая амплитуда входного сигнала удовлетворяет условию $(\bar{X}_{BX} + \alpha_C) \le 0{,}8$, где $\alpha_C = |A_C / A|$ – нормированная величина амплитуды A_C сигнала $X(t)$;
- время переключения РЭ и АМ равно нулю.

Звенья Σ, И, РЭ в совокупности образуют автоколебательную систему с собственной частотой выходных импульсов $f_{0|(\bar{X}_{BX}+\alpha_C)=0} = (4\bar{b}T_И)^{-1}$, играющих функцию сигнала несущей частоты для АМ ($\bar{b} = |b / A|$) $< 1{,}0$ – нормированная величина порогов переключения РЭ). Амплитуда сигнала развертки $Y_И(t)$ (рис. 1в) ограничена величиной порогов переключения РЭ, а темп его нарастания определяется параметрами A, $T_И$, амплитудой входного воздействия $X_{BX} + X(t)$ и частотой сигнала $X(t)$ (рис. 1б). Смена знака импульсов $Y_A(t)$ с выхода АМ происходит синхронно с моментами времени переключения РЭ (рис. 1в, г). При этом на вход И подается либо сумма сигналов $Y_A(t) + Y_P(t)$ (АМС) (рис. 1б–г), либо их разность (АМП), в результате чего частота автоколебаний ПНЧ изменяется пропорционально величине входного сигнала.

Динамические режимы работы ПНЧ при наличии сигнала $X(t)$ описываются системой трансцендентных уравнений в рекурентной форме:

$$t_n = \frac{T_0\left[0{,}5 \mp \frac{\alpha_C}{\pi F}\sin\left(\pi F \frac{t_n + 2\sum_{i=0}^{i=n-1} t_i}{0{,}5T_0}\right)\sin\left(\pi F \frac{t_n}{0{,}5T_0}\right)\right]}{1 \pm \bar{X}_{BX}};$$

$$f_0[nT] = (t_n + t_{n+1})^{-1};$$

$$\Delta f[nT] = 1 - \frac{f_0[nT]}{f_{0|\alpha_C=0}}; t_0 = 0; n = 1, 2, 3\ldots$$

где, кроме ранее принятых, введены обозначения: $F = 4\bar{b}T_И / T_C = T_0 / T_C$ – нормированная частота сигнала $X(t)$; $\Delta f[nT]$ – нормированная динамическая ошибка частоты $f_0[nT]$ выходных импульсов ПНЧ на **n**-ом интервале дискретизации $T_{0,n}$ (рис.1 в), обусловленная составляющей $X(t)$ входного сигнала; t_n, t_{n+1} – интервалы развертывающего преобразования. В приведенных уравнениях верхний знак при $\bar{X}_{вх}$ и α_C соответствует работе ПНЧ в режиме АМС.

На рис. 2 и 3 представлены пространства динамического состояния ПНЧ $\Delta f = f(F, \bar{X}_{вх}, \alpha_C = 0{,}1)$ на первом интервале дискретизации импульсов $Y_P(t)$ и их проекции на плоскость переменных $(F, \bar{X}_{вх})$ для АМС (рис. 2) и АМП (рис. 3), анализ которых позволяет сделать следующие выводы.

Частотная область «**F**» ПНЧ, как и любой другой импульсной системы [4], делится на область достоверной передачи информации (ОДП) и область частот замедленной дискретизации (ОЗД), где дискретные выборки из динамической составляющей входного сигнала берутся медленнее, чем это необходимо для последующего достоверного восстановления тех процессов, которые происходят в контролируемой цепи. В результате режима замедленной дискретизации высокочастотный сигнал помехи преобразуется в низкочастотный, который зачастую не поддается фильтрации вследствие его расположения в полосе рабочих частот системы управления.

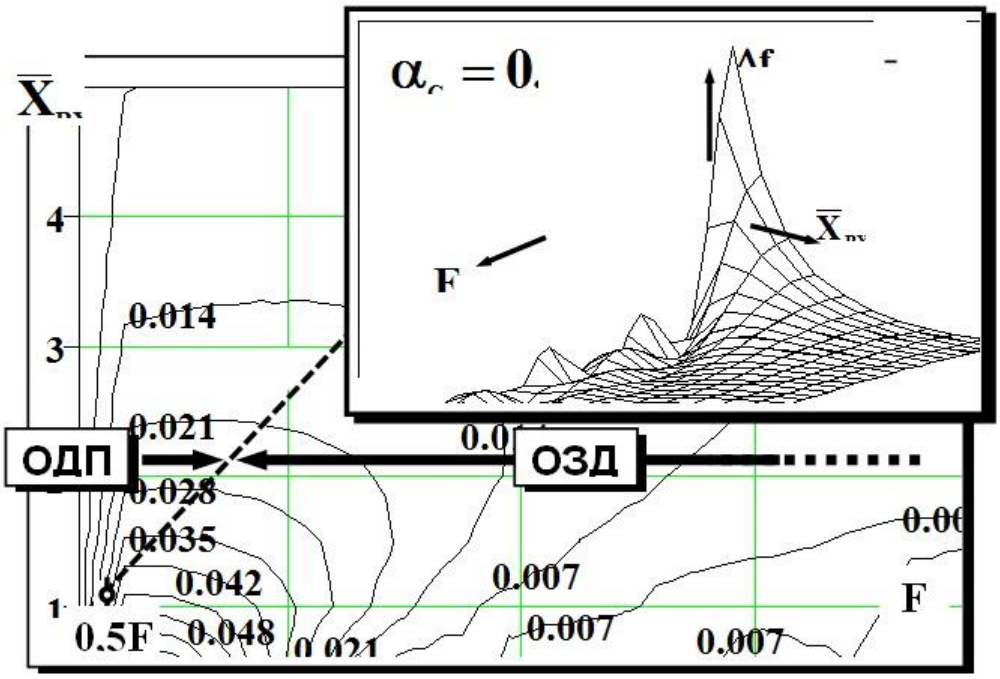


Рис. 2. Пространство динамического состояния $\Delta f = f(F, \bar{X}_{вх}, \alpha_C = 0{,}1)$ и его проекция на плоскость переменных $(F, \bar{X}_{вх})$ для ПНЧ с синфазной амплитудной модуляцией

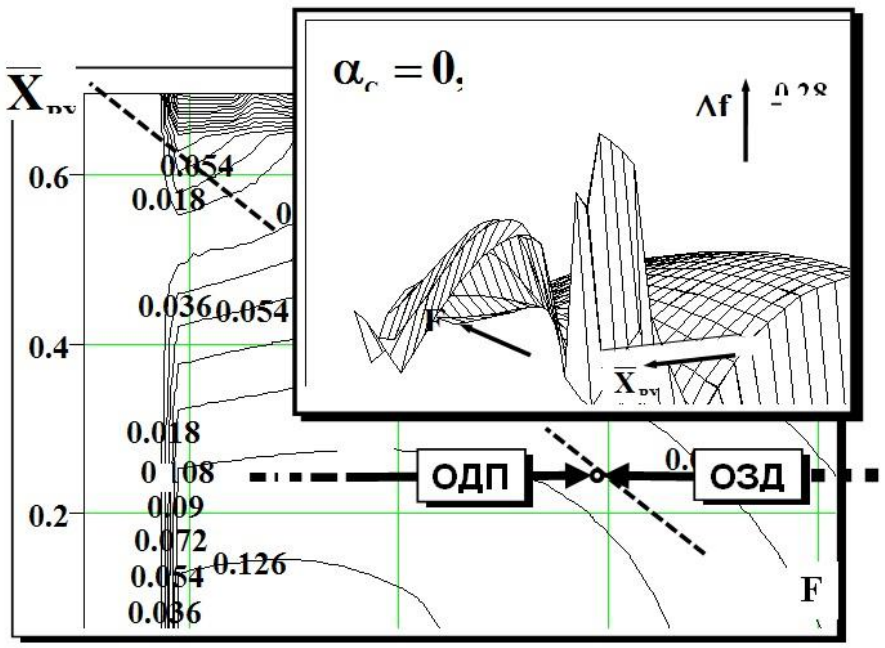


Рис. 3. Пространство динамического состояния $\Delta f = f(F, \overline{X}_{вх}, \alpha_C = 0{,}1)$ и его проекция на плоскость переменных $(F, \overline{X}_{вх})$ для ПНЧ с противофазной амплитудной модуляцией

В области «малых» входных сигналов граница раздела ОДП и ОЗД лежит в окрестностях с координатой **F=0,5** независимо от вида амплитудной модуляции, реализуемой в ПНЧ, так как частота его несущих автоколебаний практически соответствует начальному значению при $\overline{X}_{вх} = \alpha_C = 0$. При АМС (рис. 2) с ростом $\overline{X}_{вх}$ динамическая ошибка Δf уменьшается при одновременном смещении вправо границы раздела ОДП и ОЗД, что является результатом повышения частоты автоколебаний ПНЧ и снижения соотношения $X(t)/X_{вх}$, когда за интервал дискретизации импульсов $Y_P(t)$ интегральная величина от $X(t)$ за период автоколебаний падает. В ОЗД наибольший уровень Δf (порядка 1 %) наблюдается в зоне $\overline{X}_{вх} < 2{,}0$, который затем с ростом $\overline{X}_{вх}$ уменьшается до пренебрежимо малой величины.

Для АМП (рис. 3) характерным является смещение влево по оси **F** границы раздела ОДП и ОЗД из-за уменьшения частоты несущих колебаний ПНЧ по мере увеличения $X_{вх}$. С ростом $X_{вх}$ ошибка Δf вначале падает, достигая нулевого значения при $\overline{X}_{вх} \approx 0{,}5$, затем резко возрастает до уровня, исчисляемого десятками процентов. Режим, при котором наступает $\Delta f = 0$, является следствием того, что при определенном соотношении $\overline{X}_{вх}$, α_C и **F** ошибки преобразования на интервалах t_n, t_{n+1} (рис. 1в), вызванные сигналом $X(t)$, имеют разные знаки и взаимно компенсируются за период автоколебаний $T_{0,n}$. Резкий рост Δf в области «больших» для АМП

сигналов происходит по причине увеличения соотношения $\mathbf{X(t)/(A-X_{BX})}$, когда чувствительность ПНЧ к динамической составляющей входного сигнала существенно повышается. К числу неблагоприятных для АМП факторов следует отнести более высокий, чем при АМС (примерно в 1,5–2,5 раза), уровень ошибок ПНЧ в ОЗД. Здесь также следует учитывать тот фактор, что при АМП с ростом α вероятность того, что сигнал $\mathbf{X(t)}$ окажется в ОЗД гораздо выше по сравнению с АМС из-за уменьшения частоты несущих автоколебаний ПНЧ.

Таким образом, АМС обеспечивает более низкую погрешность при работе с высокочастотными сигналами и является наиболее приемлемым видом модуляции в интегрирующих развертывающих ПНЧ, предназначенных для систем управления с высоким уровнем помех в линиях связи

Температурная стабильность характеристик ПНЧ

Структура на рис. 1а представляет также значительный интерес с позиций температурной стабильности характеристик ПНЧ.

Рассмотрим работу ПНЧ с учетом сигнала $\pm\Delta\mathbf{e}$ дрейфа «нуля» АМ или интегратора И. Считаем, что сигнал $\Delta\mathbf{e}$ имеет положительный знак (рис. 4в) и независимо от причин его возникновения, прикладывается к входу сумматора Σ (рис. 1а).

Тогда в интервале времени $\mathbf{t_1 = 2\bar{b}T_И/(1+\bar{X}_{BX}+\Delta\bar{e})}$ (рис. 4г) скорость изменения развертки $\mathbf{Y_И(t)}$ будет определяться суммой сигналов $\mathbf{Y_A(t)+Y(t)+\Delta e}$, а в интервале времени $\mathbf{t_2 = 2\bar{b}T_И/(1+\bar{X}_{BX}-\Delta\bar{e})}$ – зависеть от разности воздействий $\mathbf{-Y_A(t)-Y(t)+\Delta e}$ (рис. 4а–в).

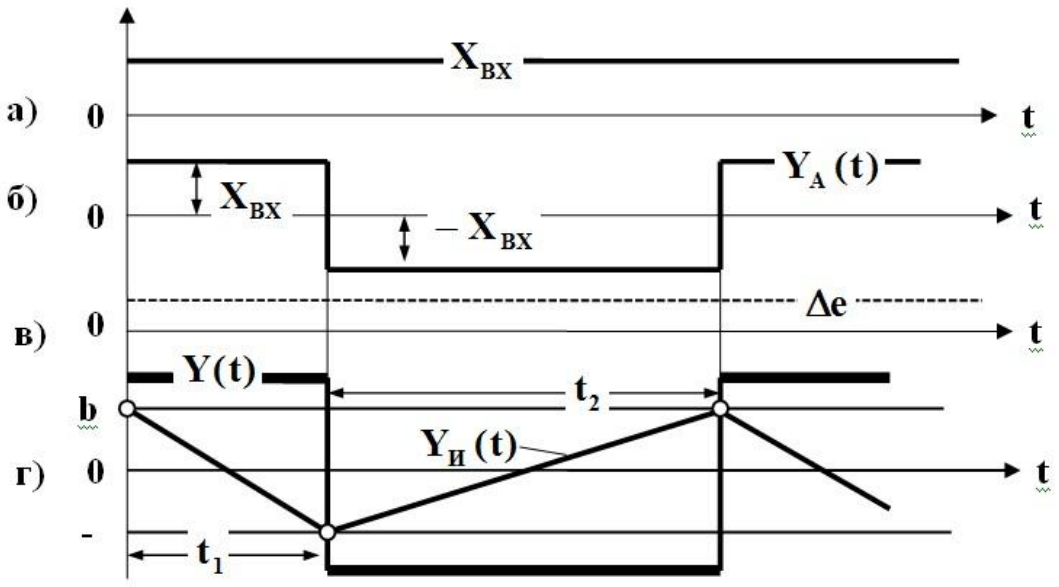


Рис. 4. Временные диаграммы сигналов интегрирующего ПНЧ с синфазной амплитудной модуляцией с учетом влияния сигнала дрейфа «нуля» интегратора (амплитудного модулятора)

В результате, частота автоколебаний ПНЧ уменьшается по сравнению с требуемым значением, причем независимо от знака сигнала Δe:

$$f_0^* = (t_1 + t_2)^{-1} = \frac{1 + \bar{X}_{ВХ}}{4\bar{b}T_и}\left[1 - \frac{\Delta\bar{e}^2}{(1 + \bar{X}_{ВХ})^2}\right].$$

Относительная ошибка преобразования ПНЧ:

$$\Delta\bar{f} = 1 - \frac{f_0^*}{f_0} = \frac{\Delta\bar{e}^2}{(1 + \bar{X}_{ВХ})^2},$$

определяется квадратичными значениями сигнала дрейфа «нуля» интегратора (амплитудного модулятора) и входного воздействия $X_{ВХ}$. Учитывая, что $\Delta\bar{e} << 1{,}0$, нетрудно убедиться в том, что температурная и временная стабильность ПНЧ по схеме на рис. 1а значительно превосходит стабильность характеристик известных преобразователей, где $\Delta\bar{f} \equiv \Delta\bar{e}$ [1, 2].

Библиографический список

1. Прянишников, В.А. Интегрирующие цифровые вольтметры постоянного тока / В.А. Прянишников. – Л.: Энергия, 1976. – 315 с.

2. Мартяшин, А.И. Преобразователи электрических параметров для систем контроля и измерения / А.И. Мартяшин, Э.К. Шахов, В.М. Шляндин. – М.: Энергия, 1967. – 390 с.

3. А.с. 1798870 СССР, H02M1/08. Устройство для управления тиристорным преобразователем / Цытович Л.И., Маурер В.Г., Гафиятуллин Р.Х. и др.(СССР).– № 4801048/07; Заявлено 30.01.90; Опубл. 28.02.93, Бюл. № 8.

4. Хьюлсман, Л.П. Активные фильтры / Л.П. Хьюлсман. – М.: Мир, 1972. – 516 с.

К содержанию

УДК 621.314.6 + 621.316.722 + 621.311

УСТРОЙСТВА СИНХРОНИЗАЦИИ ВЕДОМЫХ СЕТЬЮ ВЕНТИЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С АДАПТАЦИЕЙ К НЕСТАБИЛЬНОСТИ АМПЛИТУДЫ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ

Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, А.С. Нестеров, А.В. Тюгаев

Рассматриваются варианты адаптивных к нестабильности амплитуды напряжения сети устройств синхронизации для ведомых сетью силовых вентильных преобразователей. Приведены временные диаграммы сигналов устройств синхронизации, рекомендации по выбору параметров их элементов.

Ключевые слова: вентильный преобразователь, сглаживающий фильтр, компаратор, дешифратор, релейный элемент, интегратор, напряжение сети, синхронизация, адаптивный фильтр.

Введение

Современные энергосистемы как стационарного, так и автономного базирования характеризуются высоким уровнем искажений с трудно предсказуемыми параметрами, зачастую выходящими за допустимые нормы искажений и играющими роль дестабилизирующих факторов в работе не только вентильных преобразователей (ВП), но и технологических установок в целом [1, 2]. Поэтому создание систем управления ВП, способных частично или полностью адаптироваться к изменяющимся параметрам сети, является актуальной задачей, направленной на повышение надежности работы всего комплекса электротехнического оборудования промышленных предприятий.

Одним из наиболее уязвимых с позиций помехоустойчивости каналов систем управления ВП являются устройства синхронизации (УС), которые в большинстве практических случаев представляют собой каскадное включение сглаживающего фильтра Ф, например, апериодического первого порядка и релейного элемента РЭ с симметричными относительно нулевого уровня порогами переключения («Ф–РЭ») [2, 3].

При изменениях амплитуды и/или частоты напряжения сети заданный угол синхронизации в «Ф – РЭ» существенно меняется, что отрицательно сказывается на характеристиках ВП в целом.

Ниже рассматриваются УС, обладающие свойством адаптации к нестабильности амплитуд фазных напряжений.

1. Устройство синхронизации со следящей фиксацией точек естественной коммутации напряжения сети

В состав УС (рис. 1) [4] входят апериодические фильтры первого порядка Ф-А, Ф-В, Ф-С, компараторы К1–К6, двоично-десятичные дешифраторы DC1, DC2 и логические элементы Л1–Л3 функции «И-ИЛИ».

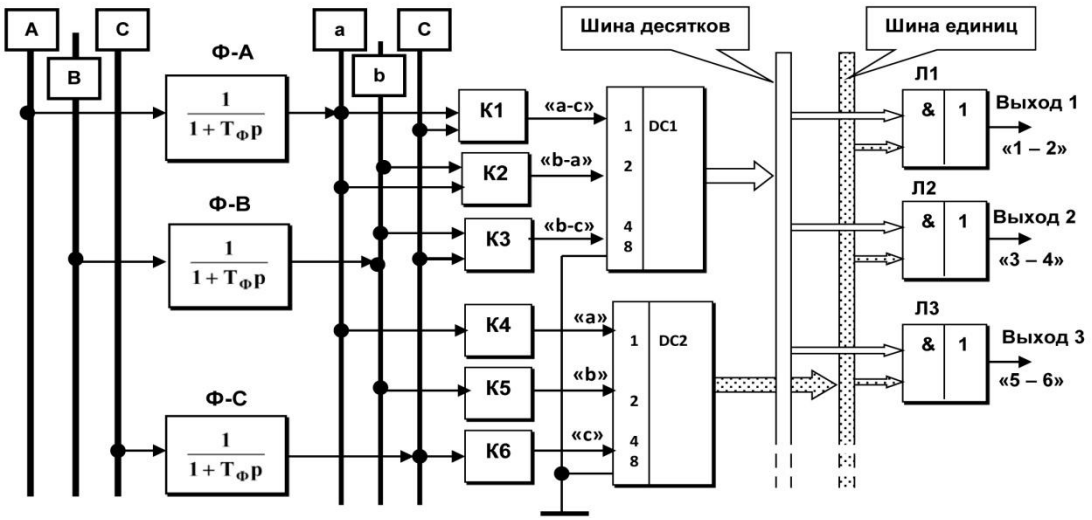


Рис. 1. Структурная схема адаптивного компараторного интервало-кодового устройства синхронизации со следящей фиксацией точек естественной коммутации напряжения сети

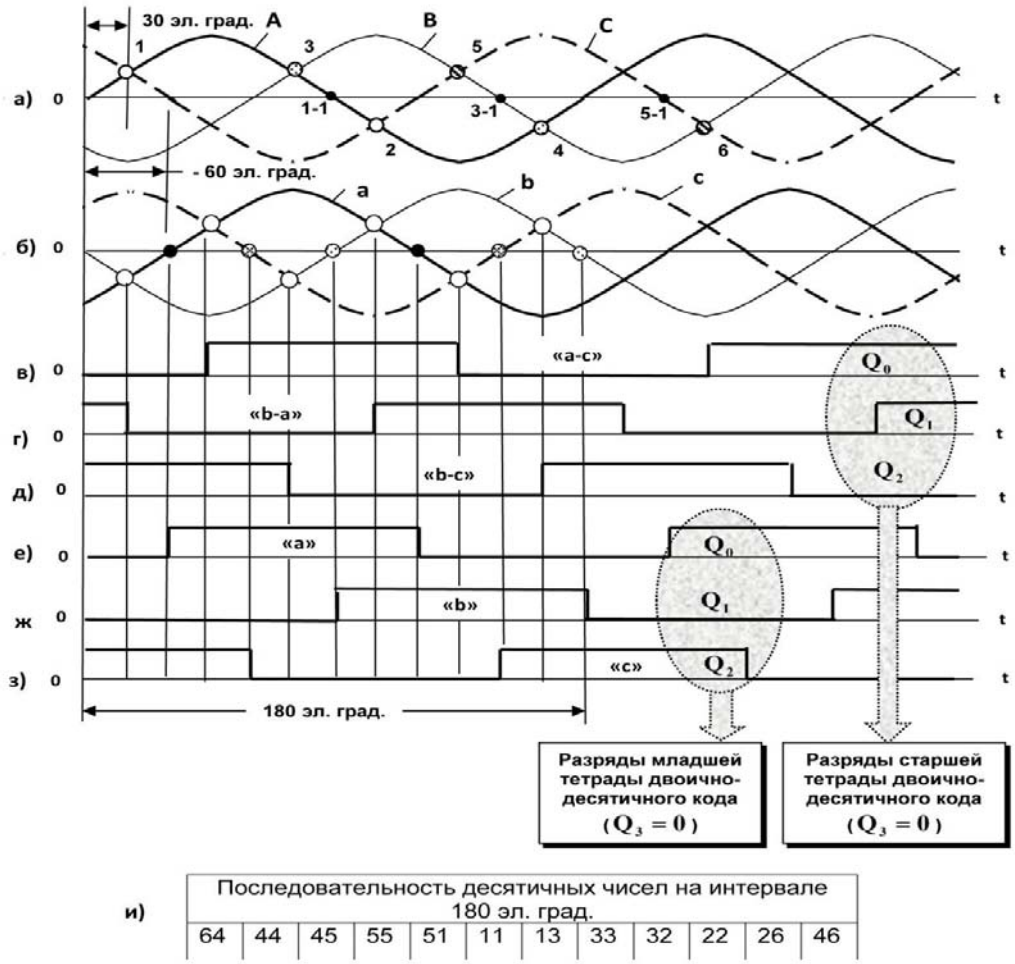
Фильтры Ф-А, Ф-В, Ф-С предназначены для подавления помех со стороны сети и образуют трехфазную систему напряжений «a», «b», «c» (рис. 2б), сдвинутую относительно основной А, В, С (рис. 2а) на -60 эл. град. Практика показывает, что фильтра с такой постоянной времени достаточно для подавления импульсных и коммутационных помех со стороны напряжения сети. В сетях с малым уровнем искажений этот фазовый сдвиг может быть выбран, равным -30 эл. град.

Компараторы К1–К3 осуществляют попарное сравнение сигналов разверток «a», «b», «c» (рис. 2б–г), в результате чего между соответствующими точками естественной коммутации системы «a», «b», «c» формируется сигналы логической «1». Данной последовательности «0» и «1» в дальнейшем присваивается значения разрядов $Q_0, Q_1, Q_2, Q_3 = 0$ старшей тетрады двоично-десятичного кода.

С помощью компараторов К4–К6 фиксируются моменты времени перехода сигналами «a», «b», «c» через нулевое значение (рис. 2б), и образуется вторая последовательность логических переменных (рис. 2е–з). Этой последовательности присваиваются соответствующие разряды $Q_0, Q_1, Q_2, Q_3 = 0$ младшей тетрады двоично-десятичного кода.

В результате каждый из участков в 30 эл. град. напряжений А, В, С характеризуется своим двоично-десятичным кодом (или десятичным числом), общая последовательность которых на интервале 180 эл. град. имеет вид «64 – 44 – 45 – 55 – 51 – 11 – 13 – 33 – 32 – 22 – 26 – 46» (рис. 2и).

Таким образом, с помощью выходных блоков Л1 – Л3 можно выделить сигнал «1», продолжительность которого будет соответствовать требуемому интервалу управления силовыми вентилями ВП.



и)

Последовательность десятичных чисел на интервале 180 эл. град.											
64	44	45	55	51	11	13	33	32	22	26	46

Рис. 2. Временные диаграммы сигналов (а–з)
и таблица последовательности десятичных чисел (и) адаптивного
компараторного интервало-кодового устройства синхронизации
со следящей фиксацией точек естественной коммутации напряжения сети

Например, для трехфазного «нулевого» нереверсивного ВП (рис. 2а):

Интервал «1» – «1-1»					Интервал «3» – «3-1»					Интервал «5» – «5-1»				
44	45	55	51	11	11	13	33	32	22	22	26	46	64	44

Для трехфазного мостового реверсивного ВП:

Интервал «1» – «2»						Интервал «3» – «4»						Интервал «5» – «6»					
44	45	55	51	11	13	11	13	33	32	22	26	22	26	46	64	44	45

Кроме того, для систем управления, например, электроприводом постоянного тока с независимым возбуждением подобное УС может использоваться в качестве магистрального канала синхронизации, формирующего одновременно сигналы синхронизации для трехфазного ВП якоря электродвигателя и однофазного ВП его цепи возбуждения. При этом в схему УС (рис. 1) будут лишь добавлены дополнительные блоки «И-ИЛИ», обеспечивающие выделение требуемых интервалов синхронизации для второго ВП.

При этом как симметричное, так и асимметричное изменение амплитуд фазных напряжений не вносит ошибку в процесс синхронизации, так как в УС происходит попарная (следящая) фиксация точек естественной коммутации сигналов разверток «a», «b», «c» и моментов их перехода через нулевой уровень (рис. 2б).

На рис. 3 приведена характеристика $\Delta\overline{\alpha}_C = f(\overline{A}_C, \Delta\overline{f}_C)$, полученная путем моделирования УС в пакете «Matlab + Simulink», которая показывает, что погрешность процесса синхронизации не зависит от амплитуды сигнала синхронизации, а определяется только частотой напряжения сети, причиной чего являются фильтры Ф-А, Ф-В, Ф-С.

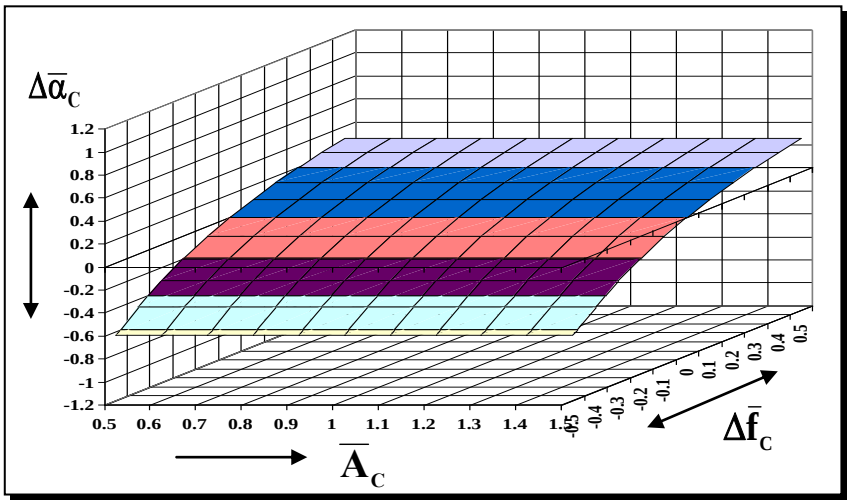


Рис. 3. Характеристика $\Delta\overline{\alpha}_C = f(\overline{A}_C, \Delta\overline{f}_C)$ адаптивного компараторного интервало-кодового устройства синхронизации со следящей фиксацией точек естественной коммутации напряжения сети

Здесь: $\Delta\overline{\alpha}_C = (\alpha_C^* / \alpha_C) - 1$ – нормированное значение фактического угла синхронизации α_C^* по отношению к заданному $\alpha_C = 30$ эл. град.; $\overline{A}_C = A_C^* / A_C$ – нормированная амплитуда сигнала синхронизации A_C^* (напряжения сети) по отношению к его номинальному значению A_C; $\Delta\overline{f}_C = (f_C^* / f_C) - 1$ – нормированная ошибка частоты сети f_C^* по отношению к ее номинальной величине f_C.

2. Интегрирующее интервало-кодовое устройство синхронизации

В системах с аномально искаженной сетью, например, на объектах с автономными энергетическими устапновками целесообразно использовать УС, в основе которого лежит принцип интегрирующего развертывающего преобразования [5]. Рассмотрим данный вариант построения УС (рис. 4) применительно к трехфазному мостовому выпрямителю, например, с раздельным управлением [5, 6].

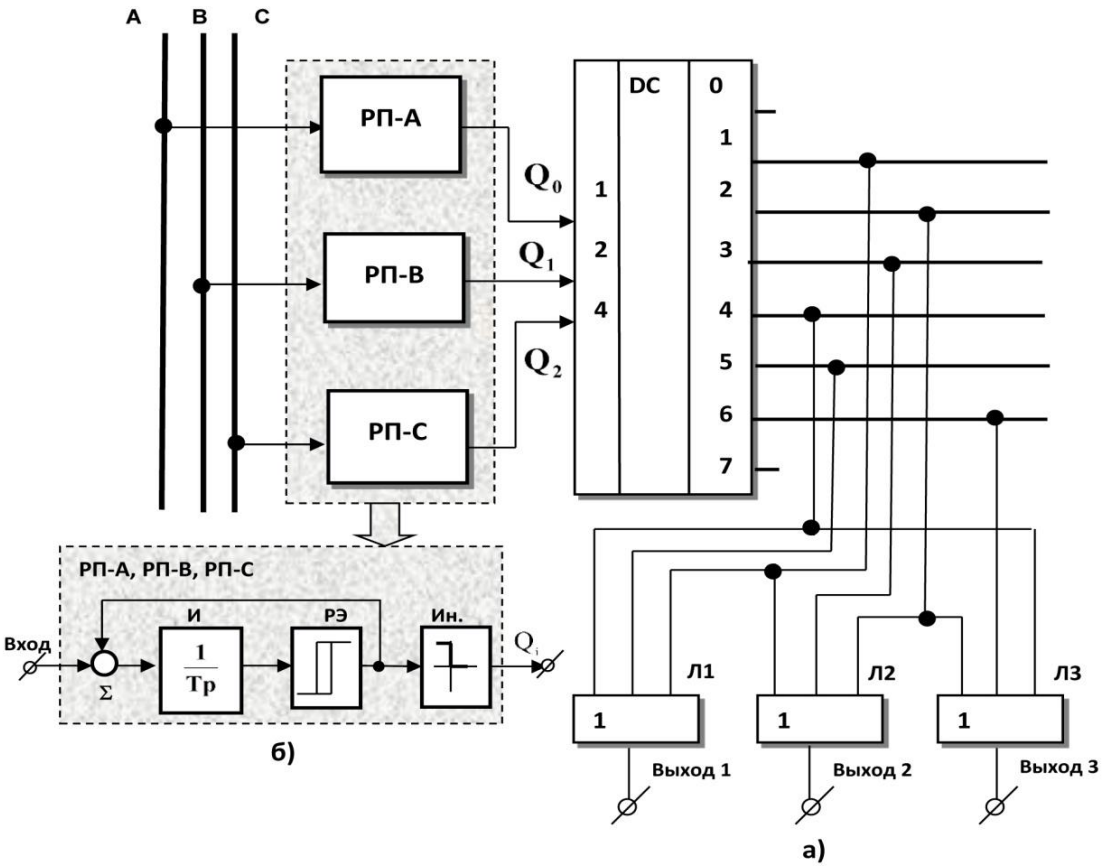


Рис. 4. Структурная схема адаптивного интегрирующего интервало-кодового устройства синхронизации

Основу УС (см. рис. 4а) составляют идентичные по своей структуре интегрирующие развертывающие преобразователи РП-А, РП-В, РП-С. В их состав входят (см. рис. 4б) сумматор Σ, интегратор И с постоянной времени Т и релейный элемент РЭ с неинвертирующей петлей гистерезиса. выходной сигнал РЭ меняется дискретно в пределах $\pm A$. В исходном состоянии РП-А, РП-В, РП-С представляют собой автоколебательные системы с частотно-широтно-импульсной модуляцией [7, 8], где выходной сигнал интегратора И ограничен по амплитуде порогами переключения РЭ и имеет пилообразную форму. Инвертор Ин. введен в схему для согласования выходов РП-А, РП-В, РП-С с последующими элементами цифровой электроники.

При подаче на вход, например, РП-А переменного напряжения сети с амплитудой, превышающей амплитуду выходных импульсов РЭ в 2,0–4,0 раза развертывающий преобразователь переходит в режим внешней синхронизации, когда частота его выходных импульсов оказывается равной частоте напряжения сети. Если частота собственных автоколебаний РП-А выбрана равной частоте напряжения сети, то фазовый сдвиг между сигналом синхронизации и выходными импульсами РЭ (инвертора Ин.) становится

равным -90 эл. град. (см. рис. 2а–г) [9], а сам развертывающий преобразователь приобретает свойства апериодического фильтра первого порядка:

$$W(p) = \frac{1}{1 + T_э p},$$

с постоянной времени:

$$T_э \approx \frac{\pi}{16} T_c \overline{A}_c,$$

где $\overline{A}_c = |A_c / A|$ – относительное значение амплитуды A_c напряжения сети с периодом T_c [10].

Таким образом, РП в режиме внешней синхронизации приобретает свойства фильтра, постоянная времени которого автоматически перестраивается в функции параметров напряжения сети. Следует также учитывать, что, по сравнению с фильтрами Ф-А, Ф-В, Ф-С (см. рис. 1), РП является замкнутой системой с интегратором в прямом канале регулирования, что положительно сказывается на временной и температурной стабильности характеристик каналов синхронизации.

В дальнейшем считаем, что РП-А формирует сигнал Q_0 младшего разряда, а РП-С – сигнал Q_2 старшего разряда двоичного кода (рис. 5б–г), которые поступают на дешифратор DC (рис. 4а).

Тогда каждому из участков «1-2», «2-3», «3-4», «4-5», и «5-6» трехфазной системы напряжений (рис. 5а) будет соответствовать свое десятичное число из ряда «4 – 5 – 1 – 3 – 2 – 6» (рис. 5д).

Объединяя соответствующие числа по функции «3ИЛИ» с помощью логических элементов Л1–Л3 на выходе УС сформируются импульсы логической «1» (рис. 5е–з), длительность которых соответствует интервалам «1-4», «3-6», и «5-2» точек естественной коммутации фаз А, В, С, в пределах которых осуществляется регулирование угла управления тиристорами в мостовом реверсивном преобразователе.

Характеристика $\Delta\overline{\alpha}_c = f(\overline{A}_c, \Delta\overline{f}_c)$ для УС с РП практически аналогична той, которая приведена на рис. 3. В данном случае при колебаниях амплитуды напряжения синхронизации (сети) интегратор. И стремится поддержать среднее значение выходных импульсов, равным нулю, в результате чего происходит компенсация ошибки синхронизации.

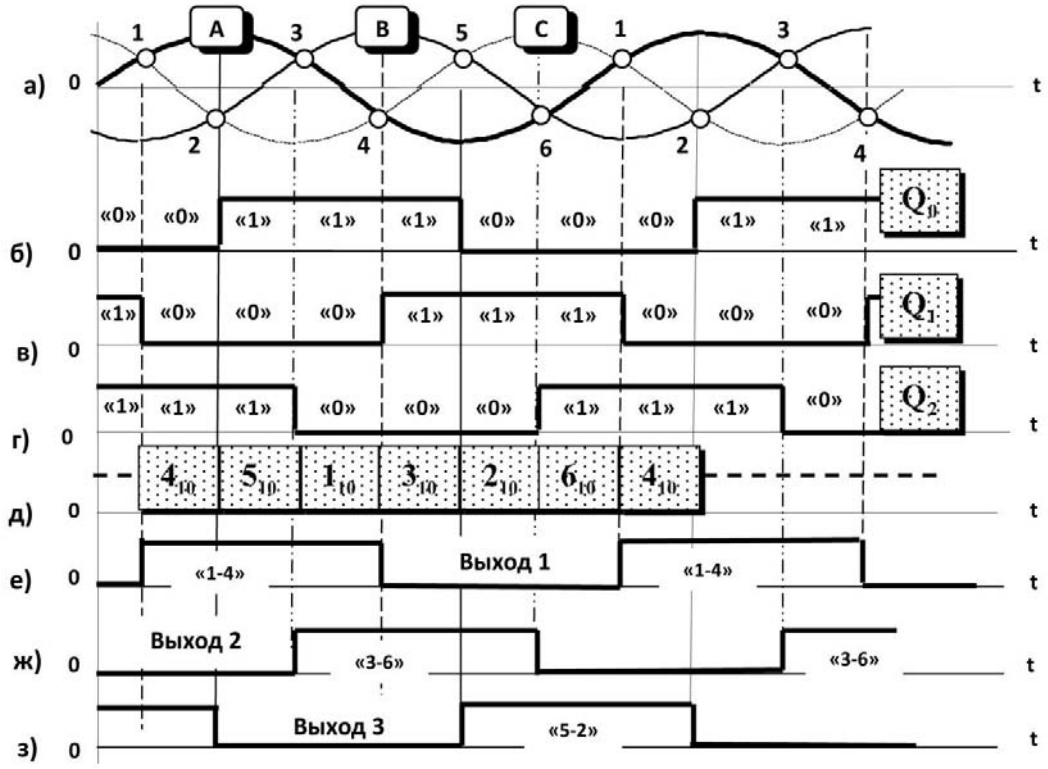


Рис. 5. Временные диаграммы сигналов адаптивного интегрирующего интервало-кодового устройства синхронизации

Выводы

Предложено устройство синхронизации со следящей фиксацией точек естественной коммутации напряжения сети, где с помощью апериодических фильтров первого порядка создается вспомогательная система трехфазных напряжений, сдвинутая относительно основной на -60 эл. град. В результате попарного сравнения напряжений сети с помощью компараторов получается числовой ряд, из которого выборочно можно получить сигнал синхронизации для требуемой силовой схемы вентильного преобразователя. В сетях с малым уровнем искажений постоянная времени сглаживающих фильтров может быть выбрана на уровне -30 эл. град.

К числу недостатков компараторного УС следует отнести высокую чувствительность компараторов к внешним помехам и разомкнутый характер структуры входных фильтров, что отрицательно влияет на метрологические характеристики каналов синхронизации.

Рассмотрено интегрирующее интервало-кодовое устройство синхронизации, выполненное на основе развертывающих автоколебательных преобразователей, работающих в режиме внешней синхронизации с частотой напряжения сети. При этом каналы синхронизации приобретают свойства адаптивных апериодических фильтров первого порядка с постоянной времени, определяемой параметрами напряжения сети. Даны рекомендации по выбору условий синхронизации.

Интегрирующее интервало-кодовое устройство синхронизации обладают более высокими метрологическими характеристиками по причине замкнутого характера своей структуры и наличия интегратора в прямом канале регулирования.

Предложенные УС могут быть рекомендовано для силовых вентильных преобразователей, работающих с энергосистемами, имеющими существенную нестабильность амплитуды напряжения сети.

Библиографический список

1. Осипов, О.И. Техническое диагностирование автоматизированного электропривода постоянного тока: дис. … д-ра техн. наук / О.И. Осипов. – Челябинск: ЧПИ, 1995. – 405 с.

2. Чернов, Е.А. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ: справочное пособие / Е.А. Чернов, В.П. Кузьмин. – Горький: Волго-вятское книжное издательство, 1989. – 320 с.

3. Темников, Ф.Е. Математические развертывающие системы / Ф.Е. Темников, В.Е. Славинский. – М.: Энергия, 1970. – 120 с.

4. Цытович, Л.И. Развертывающие преобразователи для систем управления вентильными электроприводами и технологической автоматики: дис. … д-ра техн. наук / Л.И. Цытович. – Челябинск: ЧГТУ, 1996. – 464 с.

5. Цытович, Л.И. Развертывающий операционный усилитель с перестраиваемой полосой пропускания / Л.И. Цытович // Приборы и техника эксперимента. – 1979. – № 4. – С. 149–152.

6. Цытович, Л.И. Тиристорная станция управления интегрирующего типа для плавного пуска асинхронных электродвигателей / Л.И. Цытович, Р.Х. Гафиятуллин, Р.М. Рахматуллин, М.М. Дудкин, С.И. Шкаликов, Ю.Г. Попов, В.А. Тюгаев, А.А. Габорик, С.И. Скляров // Наука и технологии. Избранные труды Российской школы «К 70-летию Г.П. Вяткина». – М.: РАН, 2005. – С. 520–526.

7. Дудкин, М.М. Интегрирующие фазосдвигающие устройства для управления силовыми вентильными преобразователями: дис. … канд. техн. наук / М.М. Дудкин. – Челябинск: ЮУрГУ, 2007. – 225 с.

8. Цытович Л.И. Реверсивный тиристорный преобразователь для систем управления с питанием от сети с нестационарными параметрами / Л.И. Цытович, Р.М. Рахматулин, М.М. Дудкин, А.В. Качалов // Практическая силовая электроника. – 2009. – № 34. – С. 35–41.

К содержанию

УДК 62-83:621.313.32

РАЗВИТИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ПРИМЕРЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНЫХ СТЕНДОВ

А.Е. Бычков, А.С. Верцюх, В.С. Евдокимов, А.П. Бодренко

В статье дается описание регулируемого синхронного электропривода на примере модернизации лабораторного стенда. Описываются преимущества нового оборудования, приводится функциональная схема привода и его механические характеристики.

Ключевые слова: модернизация лабораторных стендов, синхронный электропривод, регулируемый электропривод.

Развитие научно-технического прогресса в наши дни требует все более высокого уровня специалистов в области электроэнергетики.

На пути к этой цели можнопоставить вопрос состояния высшего и среднего специального образования. Одним из способов улучшения качества знаний, получаемых молодыми специалистами, может служить модернизация и расширение материально-технической базы учебных заведений.

В качестве примера такого улучшения, в данной статье рассматривается модернизация учебно-лабораторного стенда синхронного электропривода на кафедре «Электропривод и автоматизация промышленных установок» энергетического факультета ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет).

В середине XX века данный тип электропривода был нерегулируемым, помимо этого имел сложные пусковые системы, все это требовало наличие дополнительных элементов конструкции (пусковая обмотка на роторе, электромеханический возбудитель). Современные системы регулируемого синхронного электропривода позволяют сочетать высокие эксплуатационные показатели синхронных машин и современные микропроцессорные системы регулирования, что позволяет получить очень высокие регулировочные показатели привода [1].

Лабораторный стенд «*UNIDRIVE SP* – СД – Д – *MENTOR MP*» по проектной документации не полностью удовлетворял требованиям, предъявляемым к современным методикам управления электроприводами. В частности, не до конца использовался функционал промышленного преобразователя частоты *Unidrive SP*, а также предполагалась устаревшая конфигурация электропривода с частотно-токовым управлением, содержащая электромашинный датчик положения ротора. Для устранения этого недостатка было принято решение доработать или заменить основные функциональные узлы оборудования.

На рис. 1 представлена функциональная схема синхронного электропривода на основе преобразователя *Unidrive SP*. Здесь возбуждение на синхронный двигатель подается со стороннего источника постоянного тока, работающего по принципу широтно-импульсной модуляции, с возможностью регулировки выходного значения тока в диапазоне 0…13 А. На валу синхронного двигателя расположен импульсный датчик – энкодер. Сигнал с энкодера N_P является сигналом обратной связи по скорости, он суммируется с сигналом задания $N_З$ и поступает на регулятор скорости (РС). С другой стороны сигнал с энкодера N_P является сигналом задания на угол нагрузки [2].

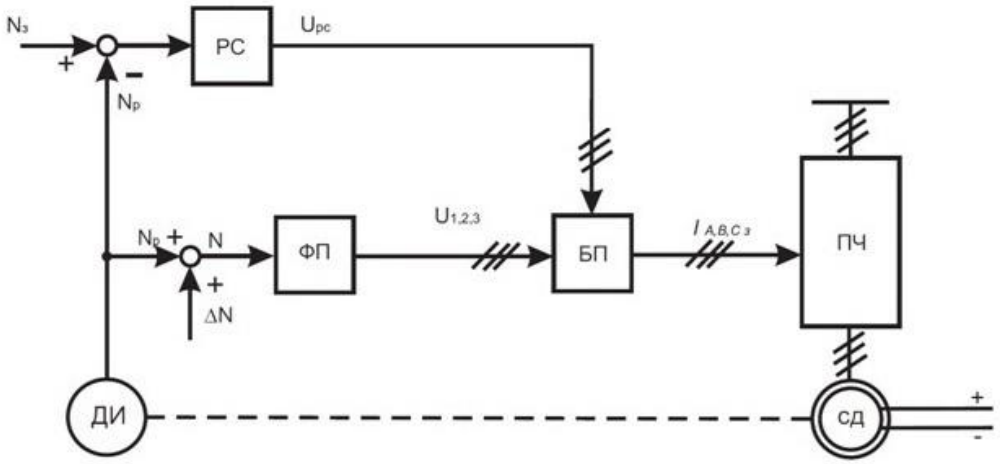


Рис. 1. Функциональная схема синхронного электропривода

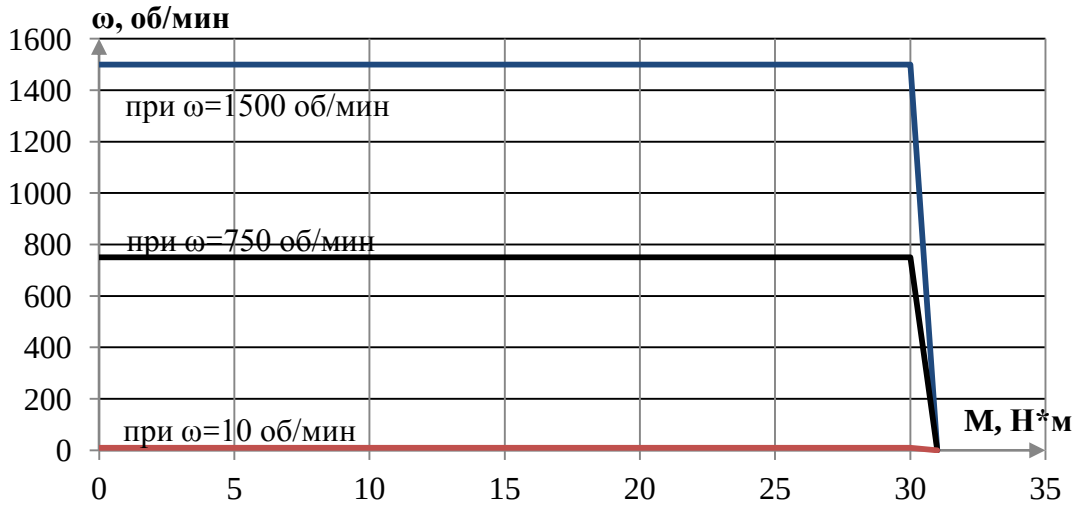


Рис. 2. Механические характеристики синхронного электропривода

Так, на базе преобразователя *Unidrive SP* был реализован регулируемый синхронный электропривод с высоким диапазоном регулирования скорости и момента электродвигателя.

Достигаемые посредством микропроцессорных преобразователей частоты регулировочные и перегрузочные характеристики сделали данный тип преобразователей широко используемыми в промышленности.

Помимо этого, в стенде реализовано управление двигателем на основе индивидуальных источников фаз [4]. Данный метод практически не применяется в промышленности, поскольку на малых мощностях это экономически не выгодно, но при большой мощности привода этот метод становится более выгодным. Помимо этого, применяя данный способ управления, преподаватель может объяснить и наглядно показать частотно-токовый способ управления синхронным электроприводом.

Традиционно при частотно-токовом управлении синхронным электроприводом в качестве датчиков положения применяются сельсины [5]. Но они технически устарели и вместо них можно применять более современные микропроцессорные системы. В таблице приведено сравнение различных способов управления синхронным электроприводом.

Таблица

Сравнение различных способов реализации управления синхронной машиной

Тип управления	Электромашинный	Микропроцессорный	Преобразователь частоты
Помехоустойчивость	Высокая	Низкая	Низкая
Быстродействие	Среднее	Высокое	Очень высокое
Габаритные показатели	Большие	Средние	Малые
Простота настройки	Малая	Малая	Высокая
Наглядность	Высокая	Высокая	Низкая
Гибкость параметров	Малая	Высокая	Средняя

Микроконтроллер, оснащенный датчиком положения ротора, выполняет функции сельсина. При этом стоимость такого оборудования значительно ниже, чем при использовании сельсинов. Помимо этого цифровая плата меньше по размерам и проще в установке. К недостаткам реализации на базе МК можно отнести более низкую помехоустойчивость системы и хрупкость ее элементов [6].

Технически данный способ управления реализован на энкодере и плате с микроконтроллером. Плата имеет 3 входа: сигнал задания амплитуды (задается с потенциометра), сигнал задания угла сдвига фаз (задается с потенциометра) и сигнал задания положения (задается с датчика положения). И имеет 3 смещенных на 120 электрических градусов выходные синусоиды, синхронизированные с сигналов с датчика положения и параметрами, зависящими от задания на потенциометрах. Выходные сигналы имеют амплитуду 5 В и подаются на индивидуальные источники токов фаз в качестве управляющего воздействия.

На кафедре ЭПА активно ведутся научные исследования в области синхронного электропривода и, в частности, синхронного регулируемого электропривода. Разработка данного стенда позволила провести сравни-

тельный анализ между замкнутыми электроприводами на основе традиционного синхронного двигателя и на основе различных способов управления синхронным двигателем.

Библиографический список

1. Усыпин, Ю.С. Системы управления электроприводами: Учебное пособие / Ю.С. Усынин. – 2-е изд., испр. и доп. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 328 с.

2. Верцюх, А.С. Модернизация лабораторного стенда синхронного электропривода: Выпускная квалификационная работа / А.С. Верцюх. – Челябинск: ЮУрГУ, 2014. – 44 с.

3. *Control Techniques Drives Limited*. Руководство пользователя *Unidrive SP*. Модели с габаритами от 1 до 9. – М.: Представительство КонтролТекникс в России, 2006. – 308 с.

4. Разработка узла формирования фазных токов: Выпускная квалификационная работа / В.С. Евдокимов – Челябинск: ЮУрГУ, 2014. – 40 с.

5. Ермолин, Н.П. Электрические машины малой мощности / Н.П. Ермолин. – СПб.: Изд-во «Высшая школа», 2001. – 421 с.

6. Драчев, Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие / Г.И. Драчев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 209 с.

К содержанию

УДК 62-83:621.313.3 + 62-83

ОБЗОР РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ТРАДИЦИОННЫМИ И НОВЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МАШИНАМИ

А.Н. Горожанкин

Приводится обзор традиционных электроприводов: асинхронного электропривода и синхронного электропривода, имеющего постоянные магниты на роторе, а также новых электроприводов: вентильно-индукторного электропривода и синхронных реактивных электроприводов. Рассматриваются особенности, усовершенствования, достоинства и недостатки этих решений.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, синхронный электропривод, вентильно-индукторный электропривод, синхронный реактивный электропривод.

Асинхронный электропривод. В системах регулируемого электропривода весьма перспективным является использование высокоскоростных короткозамкнутых асинхронных электрических машин. Подкупающим преимуществом асинхронных электродвигателей (АД) является простота конструкции, высокая надежность, хорошая перегрузочная способность,

простота реализации взрывозащищенного исполнения. Указанные преимущества АД наиболее полно реализуются при частотном управлении и, особенно при векторном управлении регулируемыми переменными (токами, потокосцеплениями и моментом асинхронного электродвигателя) [1].

Ведущие электротехнические фирмы разработали серии асинхронных двигателей специально для регулируемого электропривода, что часто подчеркивается термином «*Converter fed machines – CFM*» (управляемые преобразователем двигатели) [2]. Их главные отличия [3, 4]: геометрия магнитопровода, схемы и исполнения фазных обмоток и фазные напряжения рассчитывают на питание от управляемого инвертора с переменной частотой и формой фазного напряжения (не всегда синусоидальной); двигатели изготавливают из высококачественных материалов (сталь, изоляция и т.д.) с предельно допустимыми электромагнитными нагрузками, что обычно приводит к росту температуры обмоток и статора (до 100–150 градусов Цельсия);

С целью повышения энергоэффективности в [5] предлагается применить в асинхронных двигателях литую медную короткозамкнутую обмотку ротора вместо алюминиевой короткозамкнутой обмотки. Это в значительной степени решает проблемы энергосбережения.

В [6] предлагается асинхронный энергосберегающий электродвигатель, на роторе которого размещены постоянные магниты. Этот электродвигатель занимает промежуточное положение между асинхронным двигателем и синхронным генератором. Он обеспечивает снижение потребления реактивной мощности и полного тока из сети в режиме холостого хода до 60 %, под нагрузкой – 25–30 %, увеличивает коэффициент мощности и уменьшает потери в двигателе и энергосистеме [7].

В [8] предлагается замена листовой электротехнической стали на спеченный магнитный материал из порошкового кремнистого железа в асинхронном двигателе. При этом обеспечивается снижение потребляемой мощности, уменьшение отхода материала, повышение КПД, снижение тока холостого хода, повышение cos φ и увеличение вращающего момента.

В [9] предлагается многофазный асинхронный электропривод, который характеризуется уменьшенным уровнем вибраций и шумов, а также повышенной отказоустойчивостью.

В [10] предлагается двухзвенно-непосредственный преобразователь частоты (ПЧ) для асинхронного электропривода, в котором отсутствует силовой сглаживающий фильтр в звене постоянного тока, что существенно улучшает его массогабаритные показатели.

Синхронный электропривод с бесконтактным синхронным двигателем, имеющим постоянные магниты на роторе. В общепринятом смысле синхронный электропривод с бесконтактным синхронным электродвигателем, имеющим постоянные магниты, представляет собой систему, в которой объединены синхронная электрическая машина, как правило,

с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ), электронный коммутатор (инвертор), посредством которого осуществляется питание обмоток якоря машины, и система автоматического управления инвертором, оснащенная необходимыми измерительными устройствами (датчиками). Традиционно управление ключами инвертора осуществляется в функции положения ротора синхронного двигателя.

Благодаря своим высоким эксплуатационным характеристикам, СДПМ являются наиболее перспективными электрическими машинами в диапазоне малых и средних мощностей, особенно для моментных систем электропривода.

Преимуществами вентильного электропривода являются [11]: бесконтактность и отсутствие узлов, требующих обслуживания. Отсутствие у вентильных электродвигателей скользящих электрических контактов существенно повышает их ресурс и надежность по сравнению с электрическими двигателями постоянного тока или асинхронными двигателями с явно выраженной обмоткой на роторе; большая перегрузочная способность по моменту (кратковременно кратность максимального момента равна 5 и более); высокое быстродействие; наивысшие энергетические показатели (КПД и cos φ); имеют практически неограниченный диапазон регулирования частоты вращения (1:10000 и более) и возможность регулирования частоты вращения по различным законам; у вентильных двигателей более простая схема преобразователя по сравнению с асинхронным частотно регулируемым электроприводом; минимальные массогабаритные показатели при прочих равных условиях;

К недостаткам вентильного электропривода следует отнести [4]: разброс номинальных данных одинаковых машин, зависящих от свойств магнитов и условий сборки; технологическая сложность сборки; высокая стоимость редкоземельных магнитов; невозможность ремонта машины в заводских условиях; затруднение реализации двузонного регулирования скорости.

В [12, 13] предлагается ряд усовершенствований рассматриваемого электропривода, как на уровне конструкции электродвигателя, так и на уровне законов управления. В [12] сказано, что применение синхронных электродвигателей с радиально-тангенциальными магнитами дает возможность заметно (в 1,25 раза) повысить выходную мощность по сравнению с традиционными синхронными двигателями с радиальными магнитами. В [14] показано, что использование в составе ротора тонких высокотемпературных сверхпроводниковых пленок позволяет повысить выходную мощность машин на 25–30 %. В [13] указано, что вентильные двигатели с трапецеидальной ЭДС имеют меньший расход обмоточной меди (до 25 %), улучшенные массогабаритные показатели и меньшую электромагнитную постоянную времени. В [15] предлагается беспазовый вариант СДПМ с улучшенными массогабаритными и энергетическими показателями.

Вентильно-индукторный электропривод. В начале 80-х годов прошлого века в иностранной научно-технической информации появились материалы о новом типе электрической машины – SRM (Switched Reluctance Motor) и электрического привода на ее основе – SRD (SR Drive). В отечественной литературе он получил название ВИП – вентильно-индукторный привод. С тех пор до конца столетия лавинообразно нарастало количество докладов на эту тему на различных конференциях, статей в журналах, постоянно росло число институтов и фирм, участвующих в разработке различных проектов в области SRD-технологии.

Предпосылками создания ВИП являются [16]: силовые полупроводниковые ключи с высокими характеристиками по быстродействию и потерям; развитие микроконтроллеров, сигнальных процессоров, снижение сложности реализации алгоритмов управления.

Преимуществами ВИП являются [17]: предельно простая, технологичная, дешевая и надежная конструкция двигателя; поскольку сила притяжения ферромагнитного якоря в электромагните не зависит от направления тока в катушке, фазы ВИП питаются однополярными импульсами тока, что позволяет выбрать более надежную конфигурацию силовой схемы в сравнении с преобразователем частоты для асинхронного электропривода; по мнению ряда авторов, основанном как на теоретических расчетах, так и на сравнении конкретных образцов двигателей, ВИП по основным массогабаритным и энергетическим показателям не уступает и даже превосходит частотно-регулируемый асинхронный привод; ВИП имеет уникальную устойчивость к отказам отдельных элементов [18]. Отсутствие магнитной связи между фазами ВИП позволяет работать каждой фазе независимо от других. Отключение одной и даже нескольких фаз приводит только к пропорциональному снижению выходной мощности и возрастанию пульсаций момента, но сохраняет привод в рабочем состоянии. Потеря мощности частично может быть компенсирована за счет увеличения нагрузки на оставшиеся фазы, если имеется надлежащий запас по допустимым токам фаз и силовых ключей; стоимость производства ВИП в 3 раза меньше, чем машины с постоянными магнитами, в 1,4 раза меньше, чем асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором [19, 20].

Недостатками ВИП являются [17]: один из основных недостатков машины заключается в том, что этот тип двигателя не может работать без электроники, его нельзя подключить непосредственно к источнику питания или промышленной сети; в определенных условиях недостатком является большее, чем в обычных электроприводах, число проводников, соединяющих выводы фаз двигателя с силовым преобразователем и системой управления; для ВИП нет стандартных стоек транзистор-диод [20]; шум, вибрация и неравномерность электромагнитного момента [21, 22].

Электропривод на базе синхронного реактивного двигателя. При рассмотрении новых решений в рамках традиционного электропривода отдельно остановимся на синхронном электроприводе на базе реактивного двигателя. Особое внимание к этим двигателям вызвано возможностью выполнения предельно простого бесконтактного ротора и статора, являющегося серийно изготавливаемым элементом машины.

Идея работы машины достаточно проста: возбуждение осуществляется со стороны статора, а электромагнитный момент является результатом взаимодействия тока статора и поля возбуждения, образованного МДС статора и несимметричным в магнитном отношении ротором. По конструктивному исполнению классическая реактивная машина приближается к асинхронному двигателю с короткозамкнутым ротором. Для асинхронного пуска машины на роторе помещается короткозамкнутая обмотка. К сожалению, несмотря на простоту конструкции и работы электромеханического преобразователя, реактивный двигатель обладает явным недостатком – низкими удельными показателями (мощность, которую он может развивать, не превышает 40 % от номинальной мощности асинхронной машины, выполненной в тех же габаритах) [45].

Оптимизацией классических реактивных машин занимался Е.В. Кононенко [23]. Он показал, что если увеличить отношение x_d / x_q, то возможности реактивных машин с точки зрения удельных показателей улучшаются. На практике увеличить отношение реактансов машины можно включением в конструкцию ротора немагнитопроводящих промежутков так, что продольная составляющая поля практически не изменяется, а реакция якоря уменьшится. Варьируя число и размеры немагнитопроводящих промежутков можно получить машину с удельными показателями, не уступающими показателям асинхронного двигателя.

Таким образом, оптимизированные синхронные реактивные двигатели занимают промежуточное положение между асинхронными и индукторными двигателями. Как показал обзор литературы, большая часть вариантов улучшения удельных возможностей машины остается в классических рамках, и связана с увеличением магнитной несимметрии ротора, при этом законы управления чаще всего остаются синусоидальными. Такие решения способствуют усложнению конструкции машины и не позволяют наиболее оптимально использовать электрическую машину совместно с электрическим преобразователем.

Электропривод с синхронным реактивным двигателем независимого возбуждения (СРДНВ). Один из вариантов построения электропривода переменного тока с улучшенными технико-экономическими характеристиками (повышение КПД, надежности, диапазона регулирования скорости, оптимизация показателей электромагнитной совместимости с силовыми источниками и др.) является его реализация на основе исполнительного двигателя с увеличенным числом фаз статорной обмотки [24, 25, 26].

При поиске новых эффективных решений в классе машин с пассивным ротором и «гладким» статором, привлек внимание многофазный синхронный двигатель, предложенный Weh-ом [27]. Высокие показатели в такой машине достигаются выбором конфигурации схем обмотки на статоре, оптимизацией геометрии ротора и применением специальных законов управления токами статора, отличных от синусоидальных.

Идея работы двигателя заключается в том, что часть обмоток выполняет функцию возбуждения, а другая – создает поле реакции якоря, причем регулирование этих полей независимое, а следовательно, появляется возможность управлять возбуждением машины так, что при изменении нагрузки оно будет оставаться постоянным.

В [28] развивается идея предложенного двигателя. Изучаемая машина имеет следующие конструктивные особенности: на статоре размещается m-фазная (в нашем случае – шести) сосредоточенная обмотка, имеющая полный шаг. Явнополюсность ротора достигается в [28] за счет его продольной шихтовки. В работах [29] дается математическое описание машины, определяется влияние насыщения на характеристики машины, высказываются некоторые соображения по выбору числа фаз, полюсов, полюсной дуги. Авторы приходят к выводу, что при тех же массах меди, электрических потерях и максимальной индукции в зазоре двигатель имеет на 68 % большее усилие, чем асинхронная машина. L. Law и др. предлагают название машины, наиболее близко отражающее принцип ее работы – Field Regulated Reluctance Machine (синхронный реактивный двигатель независимого возбуждения – СРДНВ).

Конструктивными преимуществами машины являются: бесконтактность; простая и технологическая конструкция массивного ротора; высокая механическая жесткость ротора; «холодный» ротор; простая обмотка на статоре.

Библиографический список

1. Электроприводы для запуска газотурбинных установок / В. Ф. Шалагинов, В. А. Миронов, Е.В. Волокитина и др. // Труды IV Международной (XVI всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу (АЭП-2007, Санкт-Петербург, 18–21 сентября 2007 г.). – СПб., 2007. – С. 464–466.

2. Lipo, T. Advanced Motor Technologies: Converter Fed Machines / T. Lipo // Transactions on – 1997. – P. 204–222.

3. Кравчик, А.Э. Основные направления совершенствования асинхронных двигателей общего назначения / А.Э. Кравчик, М.В. Андрианов // Лифт. оборуд.: эксплуатация и ремонт. – 2007. – № 1–2. – С. 2–4.

4. Развитие регулируемого электропривода с новыми типами машин переменного тока / Л.А. Садовский, В.Л. Виноградов, А.А. Максимов и др. // Приводная техника. – 2001. – № 2 (30). – С. 35–44.

5. Энергосберегающие асинхронные двигатели / В.А. Чувашев, С.С. Наливайко, А.В. Шишов и др. // Электромеханика. – 2009. – № 5. – С. 2–11.

6. Алиев, И.И. Коэффициент мощности асинхронного энергосберегающего двигателя / И.И. Алиев // Электротехника. – 2004. – № 5. – С. 29–31.

7. Алиев, И.И. Асинхронный энергосберегающий двигатель / И.И. Алиев // Электротехника. – 2001. – № 11. – С. 39–41.

8. Тимофеев, И.А. Разработка асинхронного двигателя на основе энергосберегающей технологии / И.А. Тимофеев, Е.И. Ефименко // Электротехника. – 2001. – № 8. – С. 38–43.

9. Ананьев, С.С. Асинхронный электропривод с улучшенными виброшумовыми характеристиками / С.С. Ананьев, А.Н. Голубев // Электричество. – 2008. – № 8. – С. 52–56.

10. Энергосберегающий промышленный регулируемый асинхронный электропривод нового поколения на основе двухзвенно-непосредственных преобразователей частоты / Р. Шрейнер, В. Кривовяз, А. Калыгин и др. // Силовая электроника. – 2007. – № 1. – С. 42–44.

11. Вентильный электропривод: шанс для российских производителей // Оборудование: рынок, предложение, цены. – 2004. – № 1.

12. Ковалев, Л.К. Синхронные электродвигатели с радиально-тангенциальными магнитами / Л.К. Ковалев, Ю.Ю. Кавун, Д.С. Дежин // Электричество. – 2007. – № 11. – С. 16–23.

13. Масленников, В.С. Трапецеидальная форма ЭДС вращения вентильных двигателей / В.С. Масленников // Электротехника. – 2001. – № 8. – С. 25–29.

14. Ковалев, Л.К. Предельные характеристики синхронных машин с постоянными магнитами и высокотемпературными сверхпроводниковыми элементами в роторе / Л.К. Ковалев, Ю.Ю. Кавун, Д.В. Голованов // Электричество. – 2008. – № 12. – С. 16–23.

15. Афонин, А.А. Исследование беспазовых электрических машин с постоянными магнитами / А.А. Афонин, В.В. Гребеников // Доп. Нац. АН Украины. – 2009. – № 5. – С. 99–104.

16. Бычков, М.Г. Элементы теории вентильно-индукторного электропривода / М.Г. Бычков // Электричество. – 1997. – № 8. – С. 35–44.

17. Бычков, М.Г. Вентильно-индукторный электропривод: современное состояние и перспективы развития / М.Г. Бычков // Рынок электротехники. – 2007. – № 2. – С. 48–55.

18. Schramm, A. Bewertung und Vergleich von fehlerredundanten Geschalteten Reluktanzantrieben für einen elektromechanischen Aktuator / A. Schramm // 2. Rexroth Doktoranden Kolloquium, 11. – 12. Mai 2006, Lohr am Main.

19. Вентильно-индукторный электропривод – перспективы применения / Т.А. Ахунов, Л.Н. Макаров, М.Г. Бычков и др. // Приводная техника. – 2001. – № 2 (30). – С. 14–17.

20. Ильинский, Н.Ф. Перспективы развития регулируемого электропривода / Н.Ф. Ильинский // Электричество. – 2003. – № 2. – С. 2–7.

21. Виноградов, А Б. Минимизация пульсаций электромагнитного момента / А. Б. Виноградов // Электричество. – 2008. – № 2. – С. 39–48.

22. Шабаев, В.А. Алгоритмы управления вентильно-индукторным электроприводом, обеспечивающие уменьшение неравномерности электромагнитного момента / В.А. Шабаев, М.В. Лазарев, А.В. Захаров // Электротехника. – 2005. – № 5. – С. 54–56.

23. Кононенко, Е.В. Синхронные реактивные машины / Е.В. Кононенко. – М.: Энергия, 1990.

24. Голубев, А.Н. Многофазный синхронный электропривод / А.Н. Голубев, А.А. Лапин // Электричество. – 2005. – № 2. – С. 43–47.

25. Плеханов, С.Н. Некоторые вопросы развития современного электропривода / С.Н. Плеханов // Электро: электротехника, электроэнергетика, электротех. промышленность. – 2009. – № 1 – С. 39–42.

26. Levi, E. Multiphase electric machines for variable-speed applications / E. Levi // IEEE Trans. Ind. Electron. – 2008. – № 5. – Vol. 55. – Pp.1893–1909.

27. Weh, H. On the Development of Inverter Fed Reluctance Machines for High Power Densities and High Output / H. Weh // Electrical Machines Institute of the Technical University of Brauschweig. – 1984. – Bd. 6. – Pp. 135–144.

28. Law, D. Design and Performance of Field Regulated Reluctance Machine / D. Law, A. Chertok, T. Lipo // IEEE Transactions on Industry Applications. – 1994. – Vol. 30. – № 5. – Pp. 1185–1192.

29. Law, J. Magnetic Circuit Modeling of the Field Regulated Reluctance Machine, Part I: Model Development / J. Law, T. Busch, T. Lipo // IEEE Transaction on Energy Conversion. – 1996. – № 1. – Vol. 11. – Pp. 49–56.

К содержанию

УДК 519.71 + 681.5.01

ОПТИМАЛЬНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.Л. Кодкин

В статье приводятся результаты теоретического анализа условий существования скользящих процессов в электромеханических системах. Получены условия скольжения по частотным характеристикам. Впервые показана эквивалентность этих условий и условий абсолютной устойчивости, найденной схемы замещения с релейным элементом.

Ключевые слова: электромеханические системы, системы с переменной структурой, скользящие процессы, абсолютная устойчивость, частотные характеристики.

К оптимальности управлений в сложных технических системах сложилось непростое отношение. Повсеместное применение универсальных средств регулирования с весьма ограниченными вариантами выбора параметров и структур заставляет больше внимания уделять другим задачам. К этому же вынуждают, как кажется, и общеэкономические проблемы. На первый план выдвигаются – энергосбережения, увеличение сроков службы, надежность машин. Однако есть задачи, при решении которых оптимальность становится необходимым условием, это например, конкурентность.

И еще – оптимальность это наилучший вариант идентификации, ибо только предельные характеристики позволяют достоверно определить – возможности любой системы.

Очень коротко, напомним, что оптимальная по быстродействию электромеханическая система регулирования (ЭМС) – это релейная система с нелинейной траекторией переключения (рис. 1).

Объект управления в ЭМС – двукратный интегратор, связывающий механический момент М и угловое перемещение Х без демпфирующих связей:

$$\begin{cases} T^2\ddot{x} + UsignS = 0 \\ S = f(x) + \dot{x} \end{cases}. \quad (1)$$

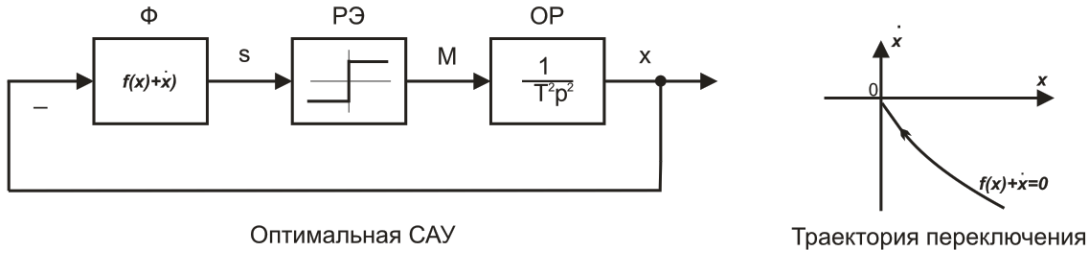


Рис. 1. Релейная система с нелинейной траекторией переключения

Траектория рассчитывается на фазовой плоскости, исходя из следующих положений:

– есть траектория $S = f(x) + \dot{x} = 0$, для которой в силу уравнения САУ (1) выполняется условие:

$$\dot{s} = 0, при\ s \le 0;$$

$$\dot{s} = \frac{df}{dx}\cdot\dot{x} + \ddot{x} = -\frac{u\cdot sign(s)}{T^2} + \frac{df}{dx}(-f) = \frac{u}{T^2} - \frac{df}{dx}f;$$

$$\frac{df}{dx}f(x) = \frac{u}{T^2}; \quad f = \sqrt{\frac{2ux}{T^2}}. \quad (2)$$

При этом $S = \sqrt{\frac{2Ux}{T^2}}$ – единственная траектория, которая безвозвратно «портится» внешними возмущениями, звеньями высокого порядка, просто изменением параметров.

Для любого отклонения от уравнения САР следует заново рассчитать траекторию S (x, $\dot{x}$).

Многочисленные методы адаптации системы приводят только к ее усложнению и созданию новых предпосылок для «развала» оптимальности.

Поэтому в восимидесятые годы XX столетия очень большие надежды стали возлагать на внедрение в ЭМС систем с переменной структурой (СПС) со скользящими процессами [1, 2, 3] (рис. 2):

$$\begin{cases} T^2\ddot{x} + K|x|signS = 0 \\ S = T_1\dot{x} + x \end{cases}. \quad (3)$$

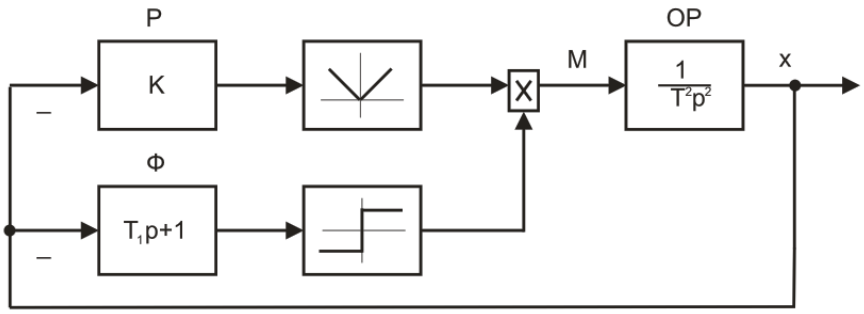


Рис. 2. Система с переменной структурой (СПС) со скользящими процессами

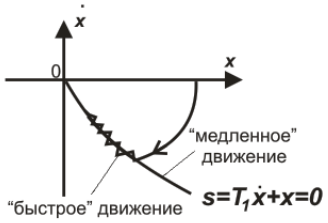


Рис. 3. Влияние чистого запаздывания, гистерезиса, малых инерционностей

В этих системах, несколько уступающих по быстродействию, оптимальным стало возможно обеспечивать инвариантность к различным особенностям. Суть этого управления в том, что в определенной области фазового пространства вокруг поверхности S=0 создаются условия встречных движений. Фазовая траектория «раскладывается» на два движения: быстрое и медленное. Эти движения обладают необходимой жесткостью к внешним возмущениям и изменению параметров системы. Условия эти находятся почти также как оптимальная траектория:

$S = T_1\dot{x} + x = 0$, в силу уравнения САР (3):

$$\dot{s} > 0, при\ s < 0\ и\ sign(s) = -1;$$

$$\dot{s} = T_1\ddot{x} + \dot{x} = T_1\left(-\frac{kx \cdot sign(s)}{T^2}\right) + \dot{x} = \frac{kxT_1}{T^2} - \frac{x}{T_1} \geq 0;$$

$$при\ x > 0 \quad \frac{kT_1}{T^2} - \frac{1}{T_1} \geq 0;$$

$$T_1 \geq \sqrt{\frac{T^2}{k}}.$$

Итоговое условие связывает передаточные функции объекта регулирования $\frac{1}{T^2p^2}$, формирователя траектории переключения $T_1p + 1$ регулятора К.

При этом, звено с частотой среза $\sqrt{\frac{K}{T^2}}$ – это объект регулирования, охваченный обратной связью с регулятором с коэффициентом *К*.

Поскольку в условиях (4) стоит знак «>» СПС может быть грубой к внешним возмущениям и изменениям параметров. Если условие (1) выполняется, изменения T^2 не влияет на процесс, он определяется только поверхностью переключения $S= T_1\dot{x}+x$. Но ряд «отклонений» объекта регу-

лирования от системы уравнений (3) существенно меняют скользящий процесс. Наличие в объекте управления звеньев чистого запаздывания, гистерезиса, малых инерционностей существенно меняют как «медленные», так и «быстрые» движения (рис.3) . Очень часто для ЭМС неприемлемо ни то, ни другое. Анализ же их влияния весьма затруднен еще и потому, что свести реальную ЭМС к виду (3) очень трудно.

Чаще всего при создании ЭМС приходится оперировать частотными характеристиками отдельных звеньев. Поэтому и критерии синтеза САУ чаще всего сводят к линейным условиям. Очевидно, что рассчитать условия существования скольжения – быстрых и медленных движений, пользуясь изложенным выше методом невозможно. Поэтому представим условие (4) по ЛЧХ объекта управления, регулятора и поверхности переключения.

Условие (4) можно интерпретировать по ЛЧХ всех структур, входящих в САУ (рис. 4).

Рассмотрим ЛЧХ последовательного соединения звеньев. При выполнении условия (4) АЧХ и ФЧХ будут иметь подъемы на участках от $\frac{1}{T_1}$ до $\sqrt{\frac{K}{T^2}}$; после которых АЧХ с единичным отрицательным наклоном уйдет к 0 при $\omega \to \infty$, а ФЧХ скачком уменьшившись на 180˚ уйдет к -90˚ при $\omega \to \infty$. Будем считать, что именно такие АЧХ и ФЧХ обеспечивают идеальный скользящий процесс в исходной системе.

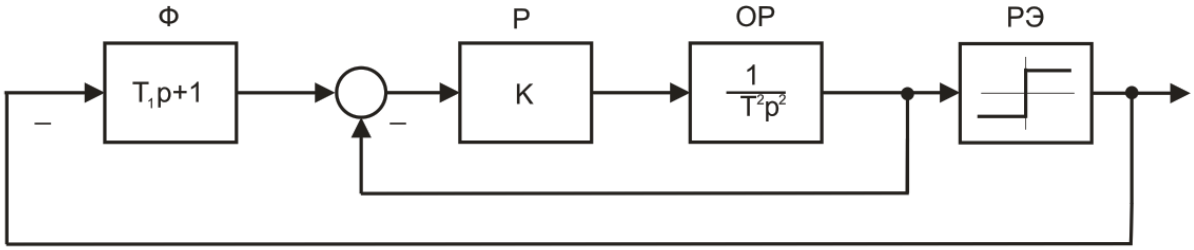


Рис. 4. Интерпретация условия (4) по ЛЧХ всех структур, входящих в САУ

Рассмотрим АЧХ и ФЧХ граничного скользящего процесса. При $T_1 = \sqrt{\frac{T^2}{K}}$ ЛЧХ и ФЧХ контура объекта управления с регулятором и формирователя траектории переключения выглядят как на рис. 5.

Фазовую характеристику последовательного соединения структур назовем граничной. При нарушении условия (4) эквивалентная фазовая характеристика будет расположена ниже граничной. Сделаем допущение, что справедливо и обратное, т.е. если эквивалентная фазовая характеристика при каких-то частотах расположена ниже граничной, то идеальное скольжение нарушается, при этом быстрые движения имеют частоту и амплитуду, определяемые отклонением от граничной характеристики (рис. 5).

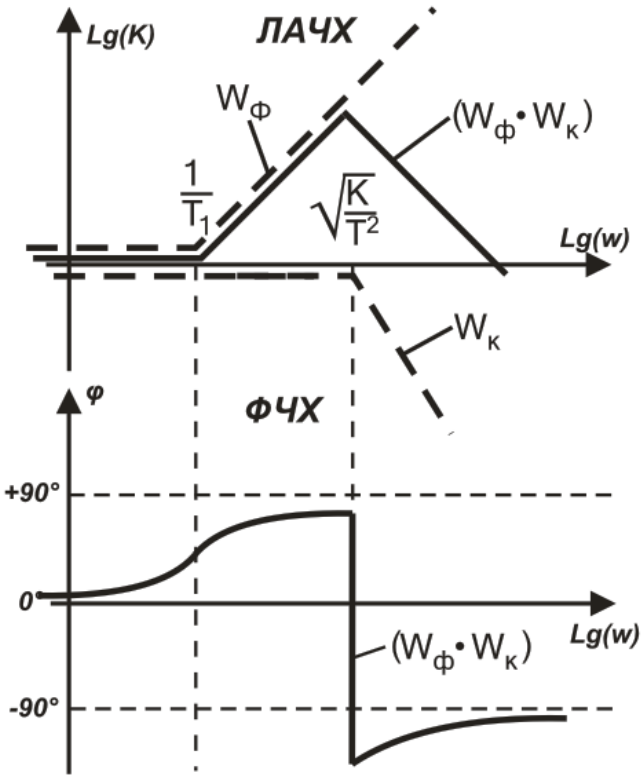


Рис. 5. Траектории переключения

Критическая фазовая траектория на рис. 5, условие идеального скольжения выполняется в том случае, если два звена образуют последовательное соединение, эквивалентная фазовая характеристика которого не переходит значения -90˚, причем -90˚ достигается при $\omega \to \infty$.

Это условие равносильно условию абсолютной устойчивости для системы с релейным нелинейным звеном, полученным В.М.Поповым, в 60-е годы [4].

Если же фазовая характеристика двух последовательно соединенных звеньев – формирователя поверхности переключения ($W_ф$) и контура, образованного регулятором и объектом управления в ЭМС – ($W_к$) не меньше (-90°), то условие скользящих процессов выполняются, причем быстрые движения имеют бесконечно большую частоту и малую амплитуду.

Это условие можно выразить следующим образом:

$$\mathrm{Re}\,(W_к \cdot W_ф) > 0. \qquad (5)$$

Что равносильно условию абсолютной устойчивости [4].

Таким образом, получены условия эквивалентности идеального скольжения в СПС и абсолютной устойчивости в схеме замещения с релейным элементом.

Если в объекте управления есть звенья существенно отличающие его от дух кратного интегратора, они неизбежно нарушат условия граничной фазовой траектории и идеального скольжения. Чтобы выполнить эти условия

необходимо скорректировать передаточную функцию контура $W_ф \rightarrow W_k \rightarrow$ РЭ или поверхность переключения.

Главная проблема электромеханических систем – это звенья высокого порядка, которые определяются нежесткой механикой, информационными системами, электромагнитными процессами. При их учете очень сложно сформировать поверхность переключения, чтобы эквивалентная фазовая характеристика удовлетворяла условию (5). Проблема может быть решена перекрестными связями по скорости исполнительного двигателя. Структура ЭМС с такой связью будет выглядеть как на рис. 6. При этом перекрестная связь будет корректировать контур объекта управления или функцию переключения и обеспечит выполнение условий абсолютной устойчивости и идеального скольжения (рис. 7 и рис. 8).

Предложенный метод позволяет определить структуру идеального скольжения в реальной электромеханической системе применяя методы абсолютной устойчивости соответствующей схеме замещения.

Эквивалентность условий идеального скольжения в ЭМС с СПС и абсолютной устойчивости в схеме замещения исключительно интересна. Как показано выше движение вдоль траектории переключения на условие встречных движений вокруг поверхности, а абсолютная устойчивость – на существование функции Ляпунова во всем пространстве.

При этом скользящие процессы существуют в системе с переменной структурой, т.е. переменной динамикой, а абсолютная устойчивость допускает вариации статически нелинейных звеньев. Поэтому эквивалентность этих положений несколько неожиданна, даже с учетом различия исходной схемы и схемы замещения.

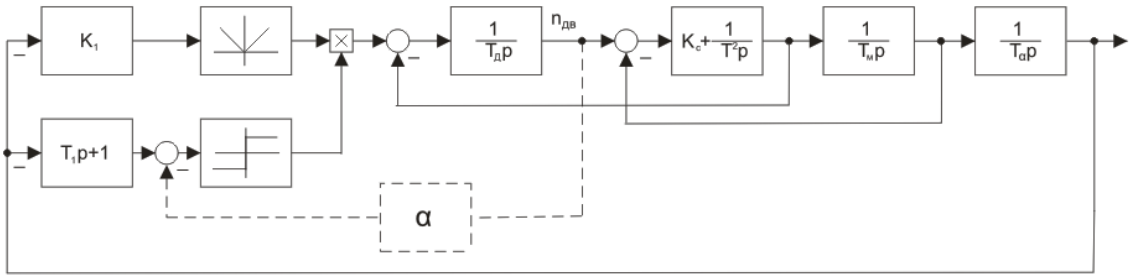


Рис. 6. ЭМС с перекрестной связью по скорости двигателя

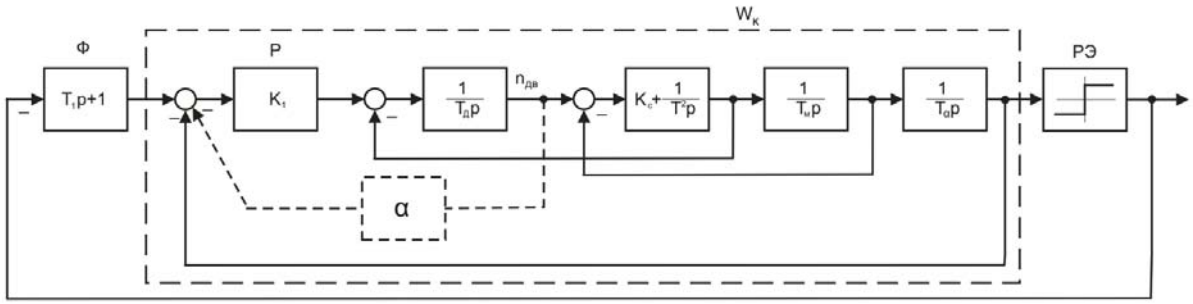


Рис. 7. Схема замещения ЭМС с перекрестной связью по скорости двигателя

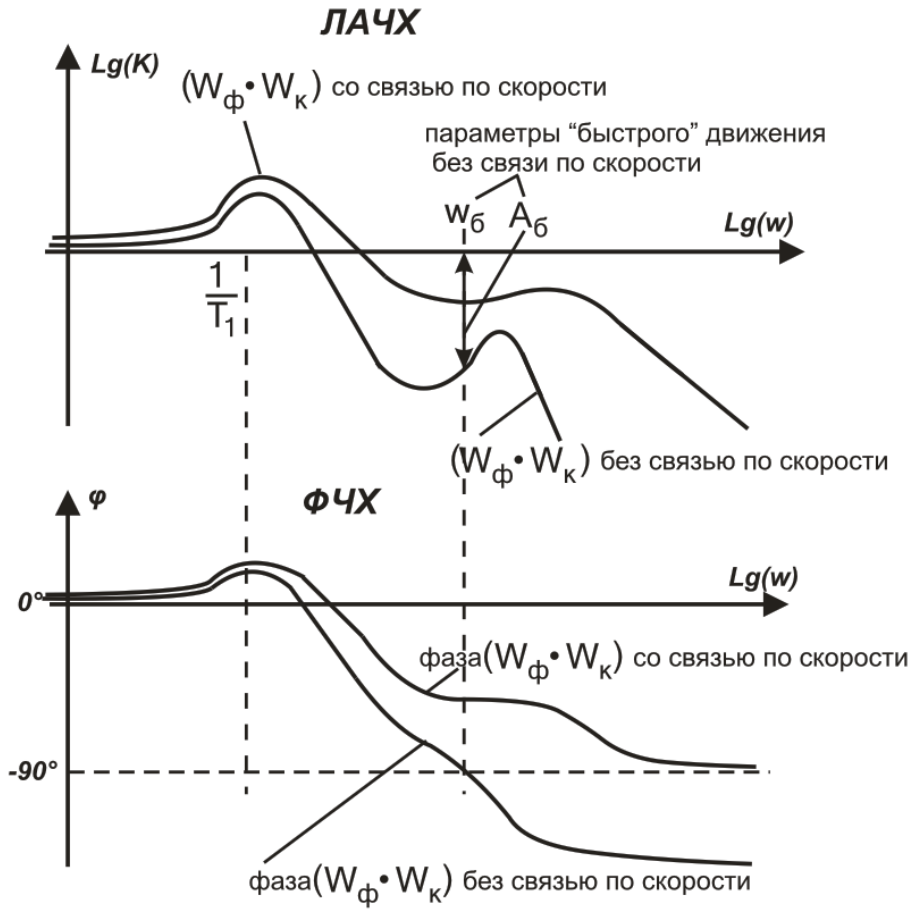


Рис. 8. Условия скольжения и устойчивости в ЭМС со связью по скорости

Однако практические результаты в ЭМС, полученные ранее с помощью перекрестных связей скользящие процессы в реальных ЭМС подтверждают эти выводы.

Условия абсолютной устойчивости будут сохраняться и при замене релейного элемента на усилитель с конечным коэффициентом. В этом случае СПС преобразуется в систему с управлением близким к бинарному или с большим коэффициентом, откуда следует, что условие существования в этих системах устойчивых процессов также эквивалентно абсолютной устойчивости в схеме замещения.

Несколько неожиданна достаточность абсолютной устойчивости схемы замещения для существования близких к идеальным скольжениям. Если устойчивость в случае существования скольжения во всем фазовом пространстве не вызывает интуитивных противоречий, то обратное условие – скольжение при абсолютной устойчивости САР это неожиданный результат.

Библиографический список

1. Емельянов, С.В. Новые типы обратной связи: Управление при неопределенности / С.В. Емельянов, С.К. Коровин. – М.: Наука. Физматлит, 1997. – 352 с.

2. Теория систем с переменной структурой / Под ред. С.В. Емельянова. – М.: Наука, 1970. – 592 с.

3. Уткин, В.И. Скользящие режимы в задачах оптимизации и управления / В.И. Уткин. – М.: Наука.1981. – 386 с.
4. Цыпкин, Я.З. Основы теории автоматического управления / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука. 1978. – 477 с.

К содержанию

УДК 62-83-52 + 621.313.33

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ. НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В.Л. Кодкин, А.А. Балденков, Н.А. Логинова

Представлены результаты экспериментальных исследований асинхронных электроприводов с частотным управлением. Приведен анализ неустойчивых состояний привода при векторном управлении.

Ключевые слова: электропривод переменного тока, частотное управление, векторное управление, неустойчивые состояния, срыв управления.

Повсеместное применение преобразователей частоты (ПЧ) любых фирм для управления асинхронными двигателями, их надежность, сохранение работоспособности при заводских настройках, создало в последние годы впечатление отсутствия проблем в области автоматизированного электропривода. Однако попытки углубленного изучения получаемых технических характеристик таких электроприводов, сталкиваются, очень часто, с совершенно неожиданными результатами. Так, попытки получить частотные характеристики электропривода с ПЧ ATV38 фирмы *Schneider Electric*, который реализует бездатчиковое векторное управление, замкнутое по расчетной скорости двигателя, привели к установлению такого явления как полный срыв управления. Эксперименты проводились на стенде, содержащем два асинхронных двигателя с общим валом которые управлялись преобразователями частоты, принципиальная электрическая схема приведена на рис. 1. На вход ПЧ ATV38 подавался сигнал смещенной синусоиды амплитудой 0–2 В, частотой от 0 до 15Гц. При срыве управления возникали неуправляемые колебания тока статора (рис. 2).

Условия срыва зависели только от частоты ω и амплитуды A входного сигнала. Причем «критические» значения определялись довольно четкой математической зависимостью:

$$A \cdot \omega = \text{const}.$$

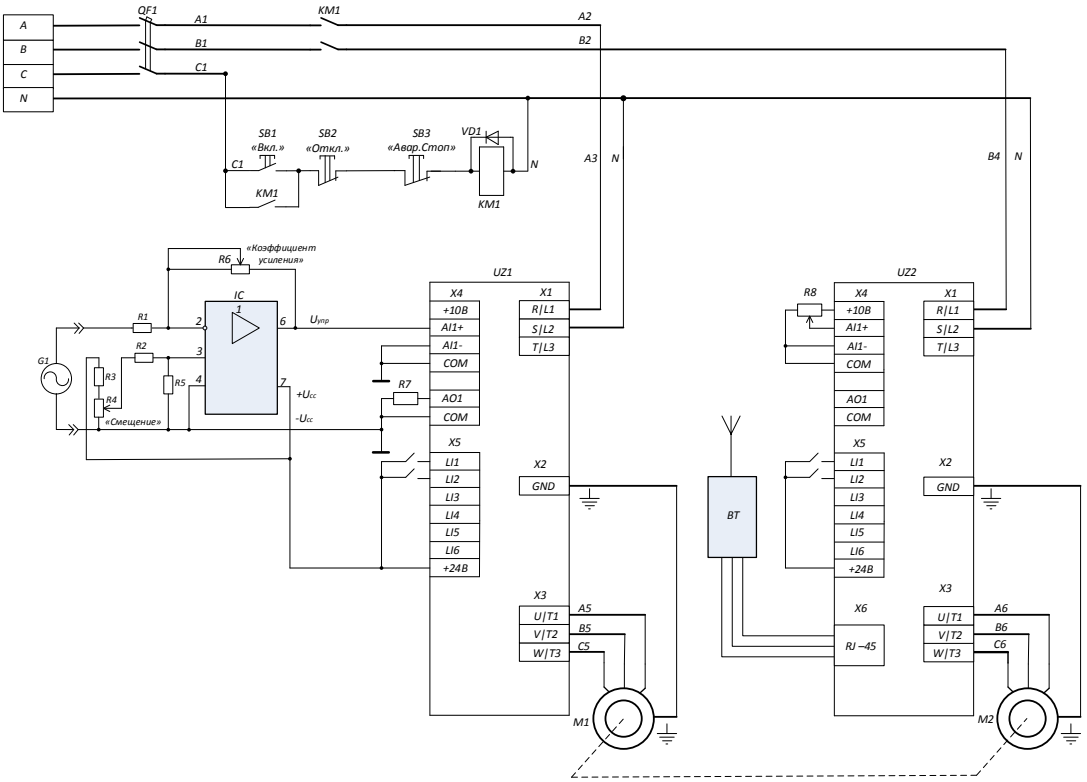


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема стенда

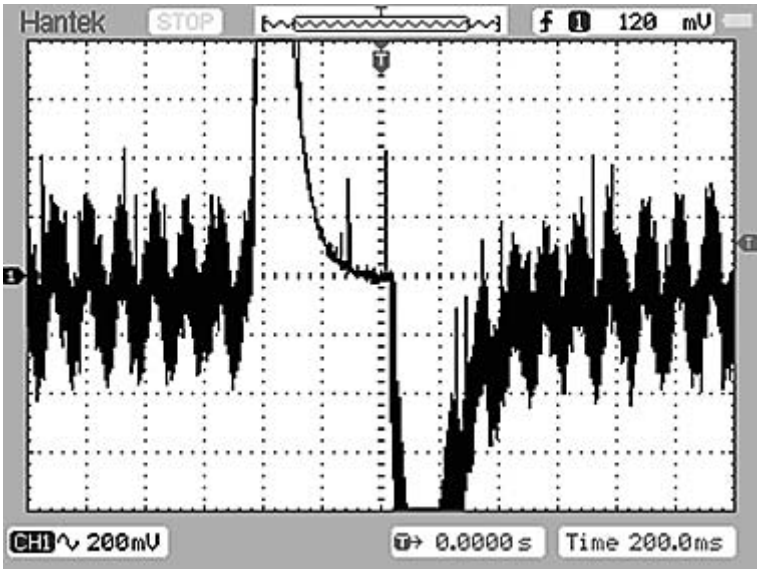


Рис. 2. Срыв управления на ATV38 (ток статора)

На них совершенно не влияли параметры настройки, статическая нагрузка, момент инерции силовой установки и т.д. При статических заданиях скорости таких режимов так же не было обнаружено. Поскольку подробный алгоритм управления ATV38 в документации не приводится тео-

ретический анализ возможного алгоритма был проведен по известным формулам и зависимостям [1]. Оказалось, что векторное бездатчиковое управление, моделируя процессы в роторе АД, не учитывает, а, строго говоря, и не может учесть динамический характер задающих сигналов или внешних возмущений. В частности, в формулу вычисляющую сигнал потокосцепления ротора должны быть внесены начальные условия, определяемые сигналом задания. Факт, в общем-то известный, который рекомендуется учитывать дополнительными наблюдающими устройствами, которые, однако, ни одна фирма – производитель ПЧ не «встроила» в программное обеспечение ПЧ. Оказалось, что накапливание ошибки вычислений в ПЧ может приводить не просто к снижению качества работы, а к полным сбоям. Необходимо учесть, что испытывать возмущающие воздействия сложного, непредсказуемого спектра может привод практически любого механизма, даже вентиляторы и насосы. Причем такой режим может привести к аварии как ПЧ, так и механизма, а установить впоследствии причину этого явления будет практически невозможно.

На данном стенде, также были проведены экспериментальные исследования преобразователей частоты ATV71 и ATV32 с различными двигателями небольшой (до 1,5 кВт) мощности. На вал был установлен энкодер и в ATV71 установлена карта энкодера, что позволило, кроме варианта замкнутого управления, контролировать скорость вращения вала агрегата. Исследовались различные режимы управления в широком диапазоне скоростей. В статических режимах возникают автоколебания тока статора и срывы управления (рис. 3, рис. 4). Эти процессы возникают во всех режимах векторного управления (SVC I; SVC U). Причем, даже у близких по характеристикам двигателей (АИР63В4У3 и АДЭМ63В4У2) условия наступления срыва управления различны. Кроме того, существенное влияние на возникновение нештатных ситуаций оказывает автоматическая подстройка (АП) преобразователя на конкретный двигатель (автоматическое определение преобразователем частоты активного и реактивного сопротивления статора двигателя). Однако, в некоторых случаях, эти ситуации удавалось предотвратить изменяя значения «*IR*» и «*S*» компенсаций. Более подробно диапазоны регулирования, в которых возникают автоколебания и срывы управления, приведены в таблице. Следует обратить внимание, что при скалярном управлении таких явлений обнаружено не было.

Необходимо иметь в виду, что эти аварийные режимы возникают при полном соблюдении всех инструкций и правил настройки.

Причиной этих явлений следует считать структуру векторного управления, очень чувствительную к неточностям моделей процессов в роторе, которые заложены в блоке векторного управления.

Таблица

Диапазоны регулирования, в которых возникают автоколебания тока и срывы управления в электроприводе с ПЧ

Двигатель / Типы управления	АИР63В4У3		АДЭМ63В4У2		4АХ80А4У3	
	без АП	с АП	без АП	с АП	без АП	с АП
SVC U IR = 25; S =0; разомкнутый контур	нет	42,6–50 Гц (при IR = 100 колебаний нет)	30,1–41,9Гц	38–50 Гц	44,9–50 Гц	8,8–10,1 Гц
SVC I IR = 25; S = 0; разомкнутый контур	нет	45,8 – 50Гц		> 45Гц	48 – 50Гц	колебания тока ~10 % при частоте задания 1 Гц
SVC I IR = 25; S = 0; режим «Задание»	нет	45,8–50 Гц	32–42Гц – колебания тока, >43 Гц срыв управления	>45 Гц колебания тока	47–50 Гц	нет

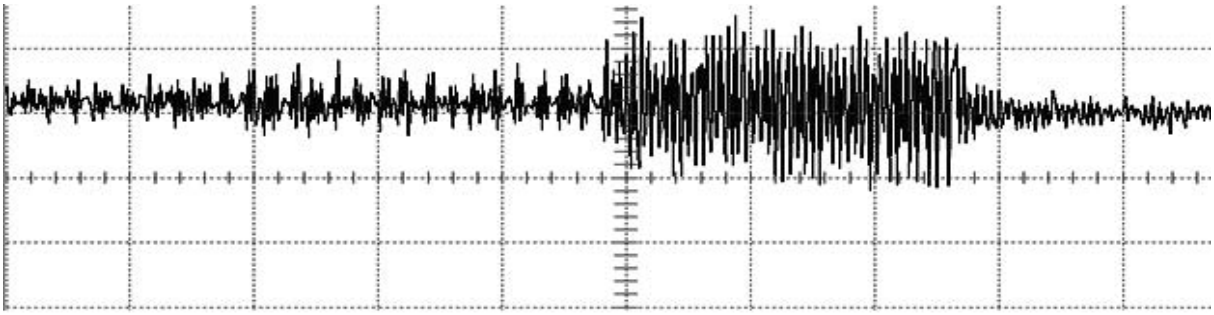


Рис. 3. Колебания статорного тока

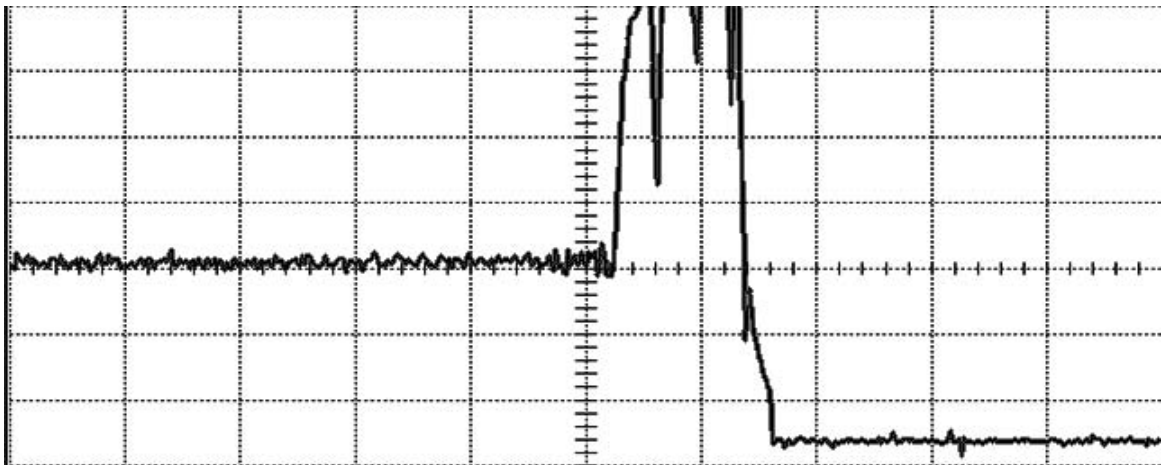


Рис. 4. Срыв управления (ток статора)

Расчетным путем предсказать появление описанных выше неустойчивых состояний электропривода на базе преобразователей частоты невозможно. Поэтому, наиболее целесообразно в процессе наладки проверить систему на предмет возможности возникновения таких неустойчивых состояний и при необходимости принять соответствующие меры.

Библиографический список

1. Усольцев, А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. Учебное пособие / А.А. Усольцев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.

К содержанию

УДК 62-83-52 + 621.313.33 + 621.314

ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ СВЯЗЬ В АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В.Л. Кодкин, А.С. Аникин, А.А. Балденков

В данной статье предложен метод повышения динамики асинхронных частотно-регулируемых электроприводов путем введения динамических положительных обратных связей по току статора. Показаны преимущества такой динамической коррекции перед общепринятыми системами частотного и векторного управления. В силу того, что предлагаемый метод коррекции не требует существенной модернизации структуры системы управления электропривода и достаточно прост в технической реализации, он может найти широкое применение в асинхронных электроприводах подъемно-транспортных механизмов.

Ключевые слова: частотное управление, асинхронный электропривод, положительная обратная связь, динамическая коррекция, преобразователь частоты.

В настоящее время характерно широкое внедрение частотно-регулируемых электроприводов переменного тока и, прежде всего, асинхронных электроприводов (АЭП) на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (АДКзР) в различные отрасли промышленного производства. Возрастающие технологические требования к качеству производственных процессов обуславливают повышенные требования к методам настройки параметров АЭП, в том числе, к их динамическим характеристикам. Это связано с тем, что не существует механизмов, в которых требования к динамике полностью отсутствовали бы, для большинства механизмов являются важными процессы разгона и торможения, а также – работа

при изменяющейся внешней нагрузке. В этих случаях на качество работы привода оказывает влияние его способность компенсировать внешние возмущения, которая относится к важным динамическим характеристикам.

Принято считать, что для решения динамических проблем целесообразно применять векторное управление, которое формирует оптимальный механический момент. Для этого в блок управления «встраивается» модель с обратным оператором по отношению к динамическим звеньям асинхронного двигателя и управляют мгновенными значениями статорных токов (рис. 1а). Так построено векторное управление – в отличие от скалярного, в котором управляется средними значениями статорных токов. Проблемы такого векторного управления – это высокая чувствительность к неточностям модели и измеряемых сигналов. Моделирование и исследования преобразователей частоты ATV38 и ATV71 фирмы Schneider Electric на стенде [1] показали, что неточность модели двигателя в блоке векторного управления приводит к существенным колебаниям (рис. 1), а неточности в измерении сигнала скорости «разваливают» управление; кроме того, при гармоническом внешнем возмущении, при определенном соотношении амплитуды и частоты этих возмущений в приводе наступает режим неуправляемых колебаний.

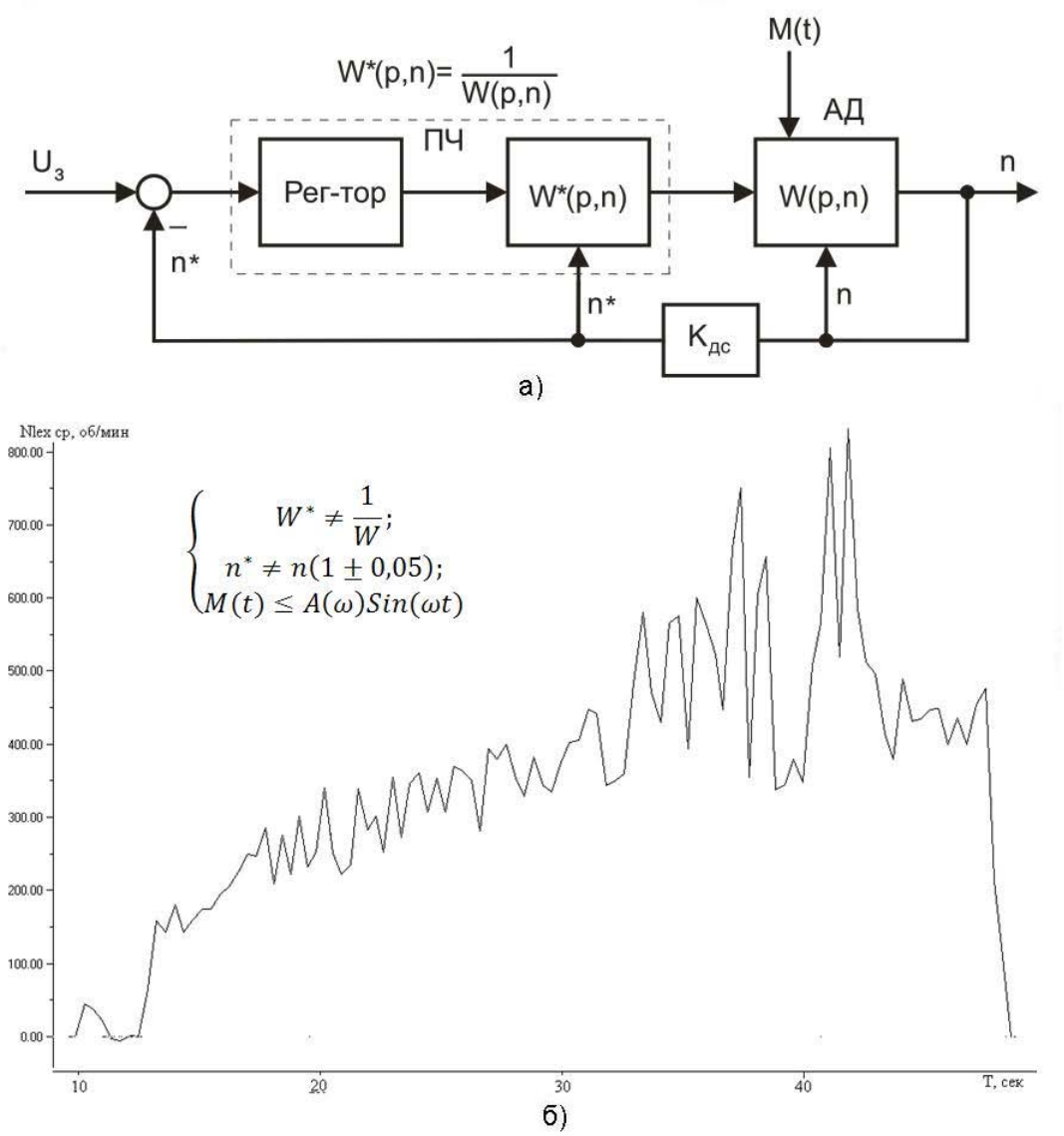
В связи с этим актуальной задачей является исследование динамических режимов АЭП со скалярным управлением и разработка методов повышения качества переходных процессов (снижение динамической ошибки, уменьшение времени переходного процесса и т.д.).

В ряде исследований приводятся результаты построения замкнутых по скорости частотно-регулируемых АЭП [2], и отмечается, что их построение существенно осложняется сохраняющимися при скалярном управлении нелинейностями АДКзР. Следует указать, что одной из существенных проблем частотного управления таким двигателем является изменение его динамических характеристик при изменении частоты питающего напряжения. Особенно это сказывается на низких скоростях, так как скалярное управление осуществляется по средним значениям тока и при этом период их измерения достигает слишком больших величин, чтобы обеспечить качественное управление.

Чаще всего в таких приводах решаются только статические задачи, а для поддержания скорости при больших нагрузках используют корректирующие положительные связи по току (Ir-, Iz- компенсации). Подробный анализ влияния этих связей на динамику АЭП не проводился. Большинство исследователей ограничиваются лишь замечанием, что положительная обратная связь (ПОС) негативно влияет на устойчивость привода.

Устойчивость систем с ПОС практически не рассматривается и в работах по автоматическому управлению. В книге Б.Н. Наумова [3] система с ПОС анализируется частотными методами, а сама связь представляется как звено,

сдвигающее фазу входного сигнала на -180^0. Такой подход показывает, что неустойчивой будет любая система автоматического управления (САУ), в которой звено прямого канала будет иметь неположительный фазовый сдвиг.



$$\begin{cases} W^* \neq \frac{1}{W}; \\ n^* \neq n(1 \pm 0{,}05); \\ M(t) \leq A(\omega)Sin(\omega t) \end{cases}$$

Рис. 1. Структурная схема векторного управления (а) и переходный процесс при неточностях модели и измерении скорости (б)

Между тем, ПОС приводит к структурной неустойчивости только в тех случаях, когда охватываемая ею структура имеет нулевые полюса, то есть не имеет эквивалентных отрицательных связей. Электроприводы, в том числе и асинхронные, имеют мощную отрицательную связь по ЭДС вращения, и поэтому ПОС может корректировать динамику системы, не нарушая устойчивости. Для иллюстрации этих предположений рассмотрим упрощенный аналог АЭП (рис. 2а) и смоделированные в нем процессы.

Если исходная схема имеет достаточный запас устойчивости, то в процессах отсутствует колебательность. При набросе нагрузки в системе возникает

большая ошибка по скорости (диаграмма 1 на рис. 2б). Безинерционная ПОС компенсирует ошибки, но ухудшает устойчивость (диаграмма 2 на рис. 2б), введение фильтра первого порядка в ПОС возвращает качество переходных процессов и сохраняет компенсацию ошибки (диаграмма 3 на рис. 2б).

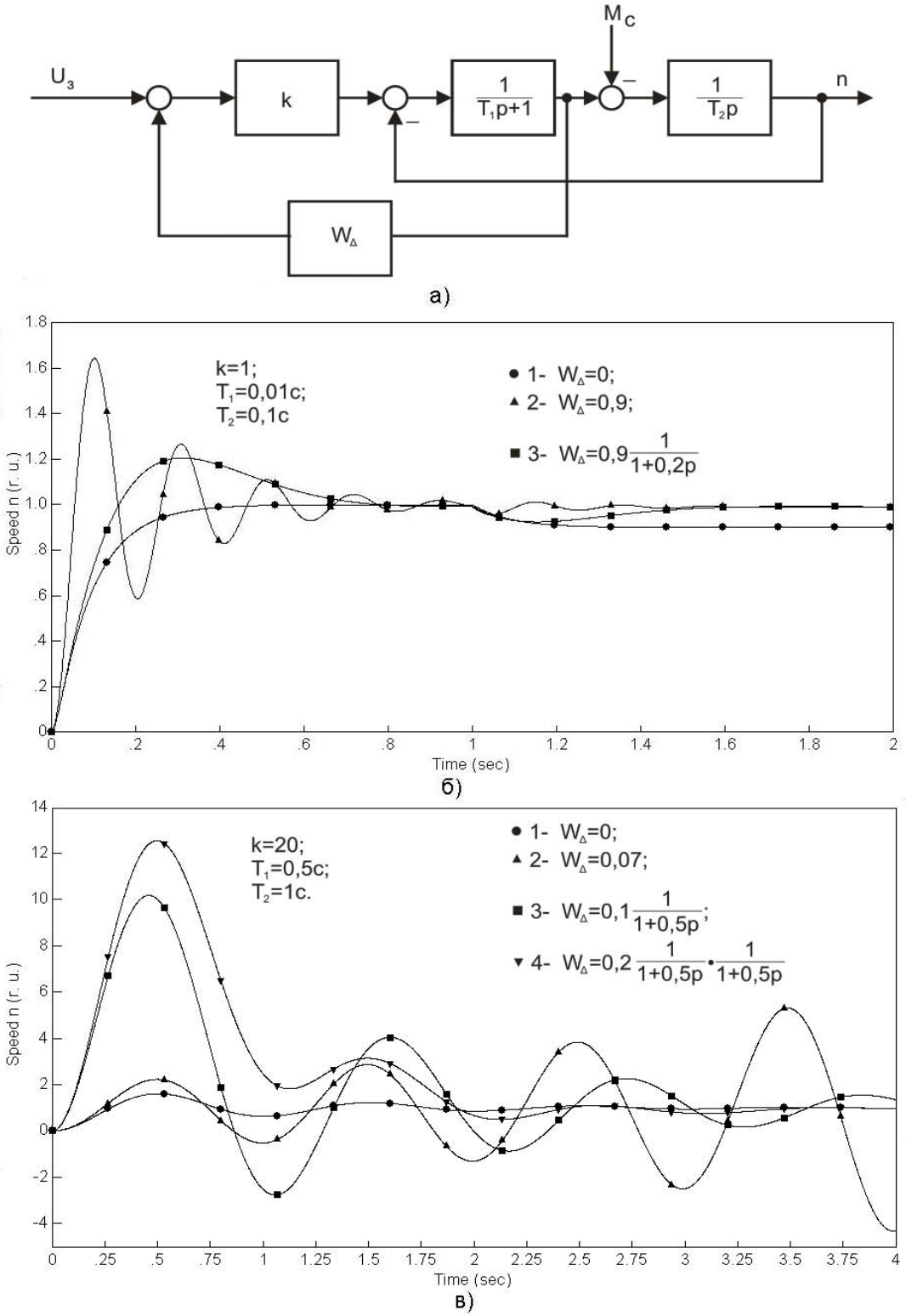


Рис. 2. Структурная схема АЭП с положительной обратной связью (а) и переходные процессы при различной коррекции (б, в)

Если исходная система колебательная (диаграмма 1 на рис. 2в), то безинерционная ПОС приводит к асимптотической неустойчивости (диаграмма 2 на рис. 2в), а введение фильтра первого порядка – к расходящимся колебаниям (диаграмма 3 на рис. 2в), причем результат мало зависит от его параметров. Только введение в ПОС фильтра второго порядка возвращает системе устойчивость (диаграмма 4 на рис. 2в).

Экспериментальные исследования электропривода с ПЧ ATV71 показали, что предлагаемая коррекция обеспечивает парирование статической и динамической активных нагрузок с ошибкой в 1,5 раза меньше, чем предельная стандартная компенсация. Привод, работающий на частоте 30 Гц, испытывал одинаковые статические нагрузки. При этом ошибка привода со стандартной коррекции составила 20%, время процесса 300 мс (рис. 3), в приводе с положительной обратной связью по току статора ошибка – 12 %, время – 200 мс (рис. 4). Динамическая ошибка получена как реакция на возмущающий момент частотой 1,5 Гц, со стандартной коррекцией – 3 % (рис. 5), с положительной обратной связью по току статора – 1 % (рис. 6).

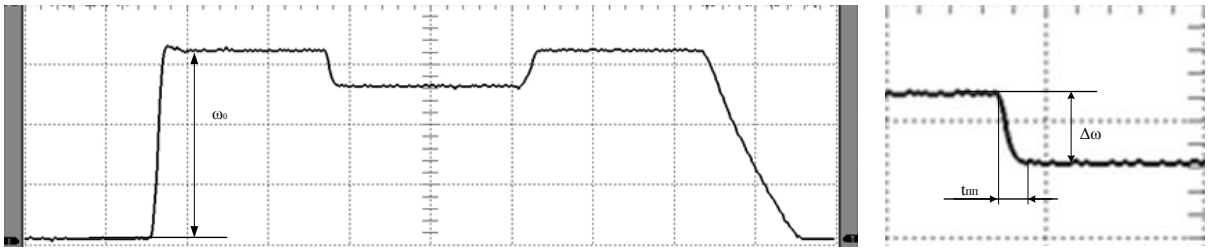


Рис. 3. Реакция электропривода без обратной связи на статическую нагрузку

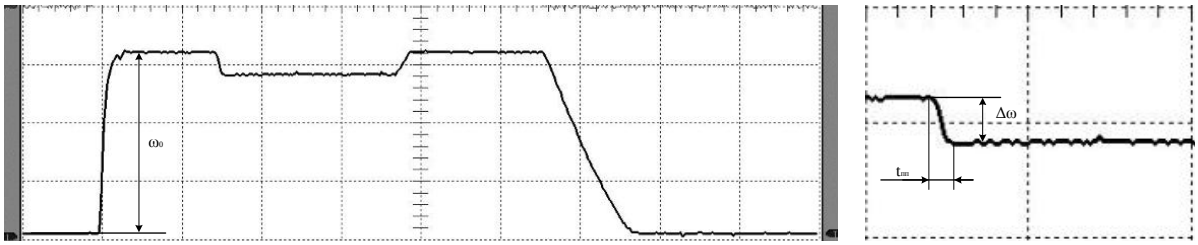


Рис. 4. Реакция электропривода с обратной связью на статическую нагрузку

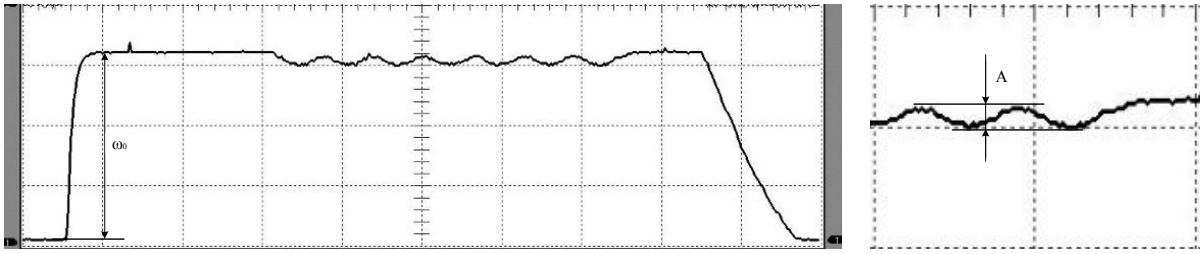


Рис. 5. Реакция электропривода без обратной связи на динамическую нагрузку

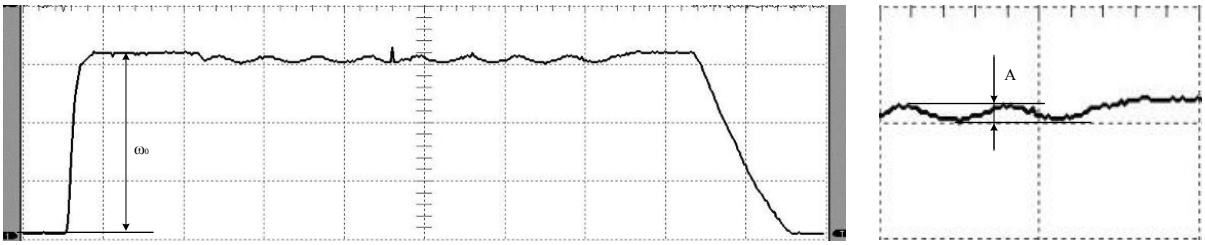


Рис. 6. Реакция электропривода с обратной связью на динамическую нагрузку

Приведенные результаты показывают принципиальную возможность и перспективу коррекции динамики САУ ПОС, в том числе, и исходных колебательных структур. При этом реализовать такую связь значительно проще, чем провести декомпозицию контуров отрицательными обратными связями.

Таким образом, необходимо отметить, что введение динамических звеньев в виде фильтров первого и второго порядка в корректирующие звенья существенно отличается от коррекции в системах с отрицательной обратной связью, в которых всегда требуется максимальное быстродействие обратных связей. Фильтры в корректирующих структурах повышают порядок дифференциальных уравнений, описывающих электроприводы, чего также рекомендуется избегать. Однако, как показывают исследования, усложнение структурных решений приводит к существенному повышению эффективности электропривода и, что достаточно важно, не связано с большими материальными затратами, так как создание контура с динамической положительной связью осуществляется значительно проще многоконтурной декомпозиции и линеаризации нелинейного объекта управления, а также значительно менее чувствительной к изменениям параметров электропривода.

Библиографический список

1. Кодкин, В.Л. Особенности частотного управления асинхронным электроприводом с преобразователем частоты и напряжения фирмы «Schneider Electric» ATV7 / В.Л. Кодкин, В.Л. Немков, А.С. Аникин // Наука ЮУрГУ: материалы 62-ой научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – Т. 3. – С. 103–107.

2. Фигаро, Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фигаро, Л.Б. Павлячик. – Минск: Техноперспектива, 2006. – 363 с.

3. Наумов, Б.Н. Теория нелинейных автоматических систем. Частотные методы / Б.Н. Наумов. – М: Наука, 1971. – 544 с.

К содержанию

УДК 620.9:662.92 + 658.264:681.515.015 + 697.1:681.515.015

ИДЕНТИФИКАЦИЯ РЕГУЛЯТОРОВ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ЗВЕНЬЯМИ С ПЕРЕМЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

В.Л. Кодкин, А.С. Аникин, А.А. Балденков, А.Ю. Качалин

В статье представлен опыт проведения идентификации регуляторов температуры теплоносителя в системах отопления. Приведены алгоритмы и результаты идентификации регуляторов *ECL Comfort* (производитель *Danfoss*).

Ключевые слова: тепловые системы, регулятор температуры теплоносителя.

Широкое применение в тепловых системах автоматических регуляторов выявило ряд проблем. Главные из них следующие: алгоритмы работы регуляторов не раскрыты. Даже если в инструкциях присутствуют термины «пропорционально-интегральный» или «дифференциальный», это не значит, что регуляторы работают, как привычные ПИ, ПИД – регуляторы. Так многолетний опыт наладки систем отопления, от коттеджей до многоквартирных домов, с применением регуляторов *ECL Comfort* (производитель *Danfoss*), показывает, что применение рекомендаций по их настройке приводит к колебаниям температуры теплоносителя с периодом 5–20 мин и амплитудой 7–10 °С. Такой процесс «заставляет» увеличивать исходную температуру теплоносителя на 10–15 °С, что значительно повышает расход энергоресурсов. Для того, чтобы определить возможность существенного изменения динамики процесса регулирования, а именно снижения амплитуда автоколебаний до 1–2 °С, был проведен ряд теоретических и экспериментальных исследований. На начальном этапе была поставлена задача идентифицировать динамику автоматических регуляторов, поскольку их работа на реальных котельных не слишком совпадала с положениями ТАУ.

Для исследования алгоритмов работы контроллеров управления системами отопления и горячего водоснабжения, и экспериментов по оптимизации процессов разработан стенд, имитирующий эти системы. Принципиальная электрическая схема стенда на базе контроллера *ECL Comfort 200* приведена на рис. 1.

Переменные резисторы R3–R7 предназначены для имитации датчиков температуры, тумблер S1 – для дискретного изменения рассогласования температур. В связи с тем, что выходные сигналы всех регуляторов температуры представляют собой импульсное напряжение амплитудой 220 вольт, применены развязывающие трансформаторы T1–T2, обеспечивающие безопасность исследований.

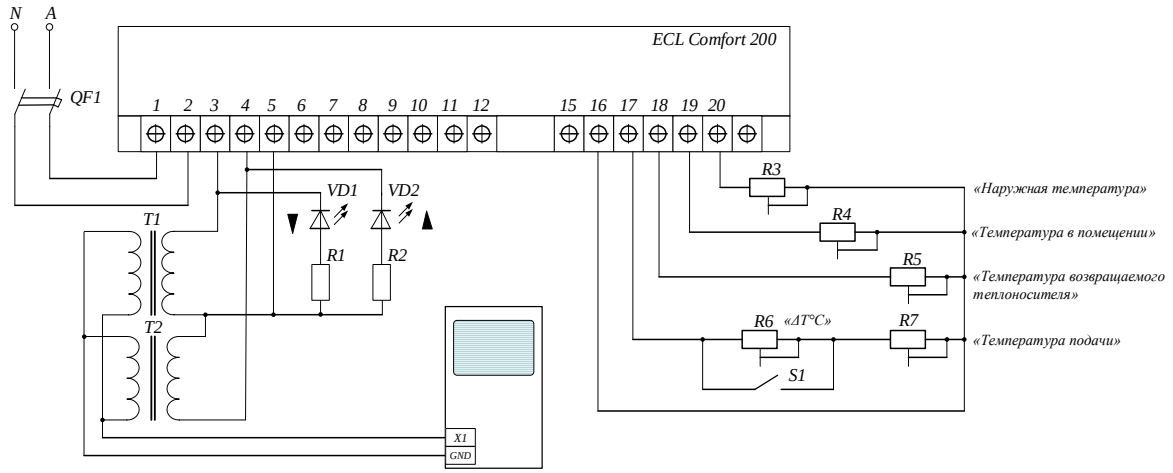


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема стенда
для исследования регуляторов температуры

Данный регулятор позволяет существенно изменять параметры заложенных в него динамических звеньев. Выходной сигнал регулятора *ECL Comfort 200* приведен на рис. 2.

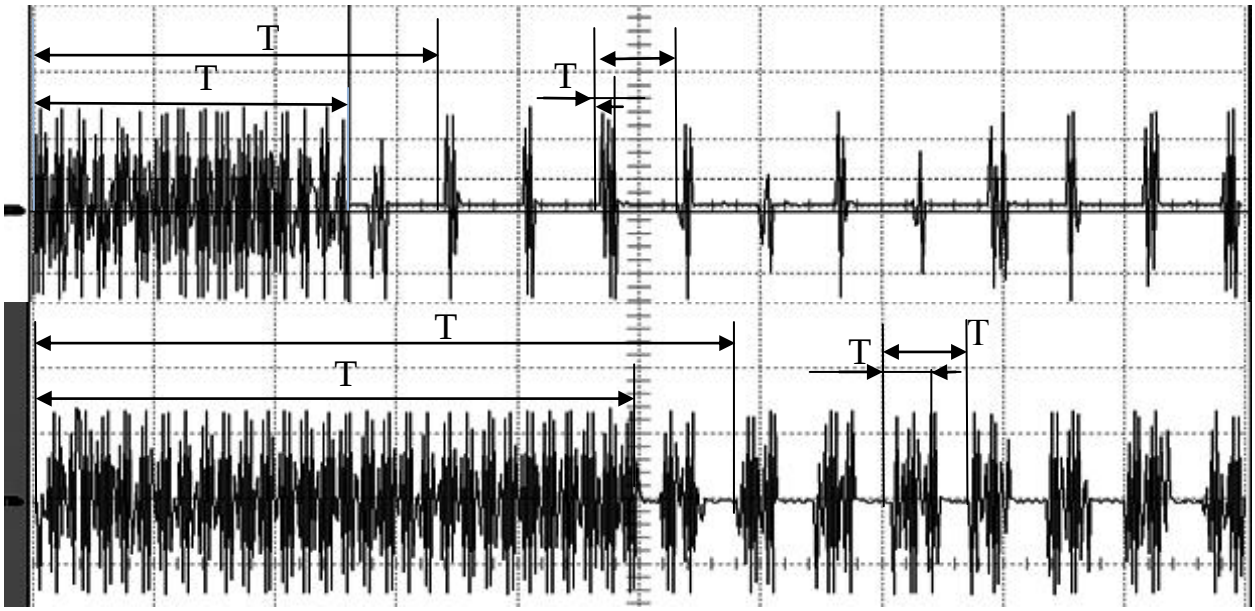


Рис. 2 Структура выходного сигнала контроллера *ECL Comfort 200*

Сигнал содержит первоначальный импульс, интервал времени с изменяющейся скважностью и установившиеся значение с малой скважностью. Такой процесс может соответствовать выходному сигналу ПД регулятора (3):

$$W = K + \frac{T_2 \cdot p}{1 + T_1 \cdot p}, \quad (3)$$

где $K = \frac{T_{имп}}{T}$; $T_1 = \frac{T_{уст}}{3 \div 4}$; $\frac{K + {}^{T_2}/_{T_1}}{K} = \frac{T_{пуск}}{T_{имп}}$.

Проведен цикл испытаний, показавший зависимость параметров передаточной функции от параметров регулятора: $X_р$ – зона пропорциональности, $T_и$ – постоянная интегрирования, Тш – «время перемещения штока клапана из одного крайнего положения в другое». В программе *Matlab* 7.11 рассчитаны частотные характеристики регуляторов (рис. 5), оказалось, что при параметрах, которые чаще всего устанавливают при наладке (графики 2, 3 рис. 5), регуляторы близки к пропорциональным звеньям и не оказывают существенного корректирующего воздействия. Это объясняет отмеченные ранее факты незначительного влияния изменяемых параметров на процессы регулирования. Вместе с тем, возможно установить такие динамические свойства регулятора, которые способны существенно изменить динамику тепловой системы (график 1 рис. 5).

Передаточные функции регулятора *ECL Comfort 200*

По параметрам выходного сигнала рассчитаны передаточные функции регулятора при различных настройках Ти, Хр и различном рассогласовании температур теплоносителя. Полученные передаточные функции сведены в табл. 1, 2, 3 и представлены рис. 3–5.

Таблица 1

Передаточные функции погодного компенсатора *ECL Comfort 200* при изменении Ти

I (10)	II (50)	III (250)
$W = 0{,}65 + \frac{467{,}9 \cdot p}{1 + 9{,}33 \cdot p}$	$W = 0{,}14 + \frac{1{,}022 \cdot p}{1 + 0{,}7 \cdot p}$	$W = 0{,}028 + \frac{0{,}03 \cdot p}{1 + 0{,}5 \cdot p}$

Поскольку период колебаний составляет 5–7 минут, эфеективен будет вариант I, с $T_2 = 467{,}9$ с.

Таблица 2

Передаточные функции погодного компенсатора *ECL Comfort 200* при изменении Хр

I (10)	II (50)	III (250)
$W = 0{,}48 + \frac{13{,}8 \cdot p}{1 + 1{,}83 \cdot p}$	$W = 0{,}14 + \frac{3{,}03 \cdot p}{1 + 1{,}17 \cdot p}$	$W = 0{,}028 + \frac{1{,}57 \cdot p}{1 + 1{,}15 \cdot p}$

Таблица 3

Передаточные функции погодного компенсатора *ECL Comfort 200* при изменении рассогласования температур Δt °С

Δt = 1 °С	Δt = 5 °С	Δt = 10 °С
$W = 0{,}029 + \frac{0{,}023 \cdot p}{1 + 1{,}91 \cdot p}$	$W = 0{,}023 + \frac{0{,}024 \cdot p}{1 + 0{,}35 \cdot p}$	$W = 0{,}018 + \frac{0{,}051 \cdot p}{1 + 0{,}12 \cdot p}$

Исходя из того, что чаще всего настройка параметров регулятора производится согласно инструкциям и руководствам [3] (с. 42, 46), [4] (п. 26 «Установка параметров ПИ – регулирования»), не дающим абсолютно никакого представления о том, как влияет каждый конкретный параметр на характер процессов в системе, в результате, процесс регулирования, как правило, представляет собой автоколебания со значительной амплитудой.

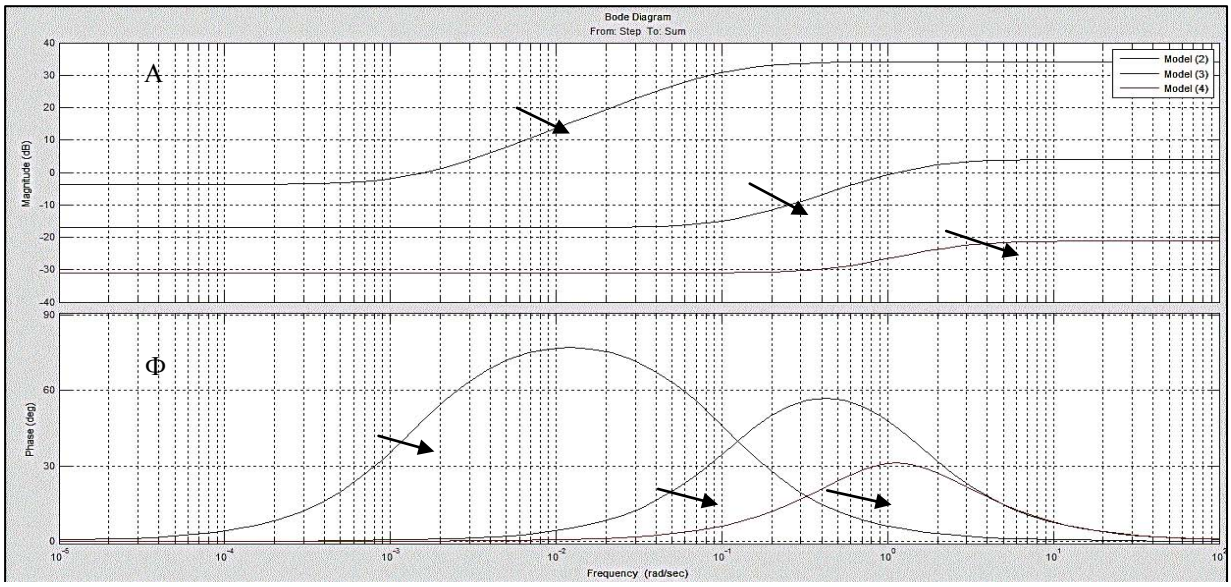


Рис. 3. Частотные характеристики регулятора *ECL Comfort 200* при изменении зоны пропорциональности X_p

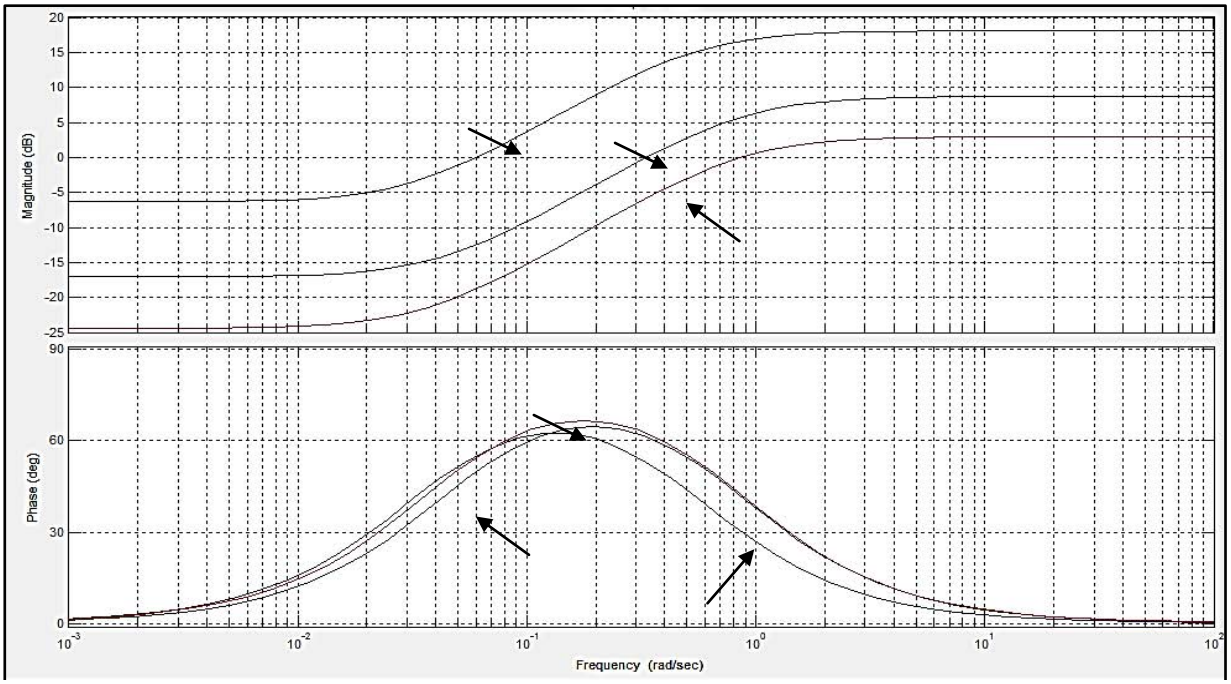


Рис. 4. Частотные характеристики регулятора *ECL Comfort 200* при изменении постоянной интегрирования Ти = 10 (1), 50 (2), 250 (3)

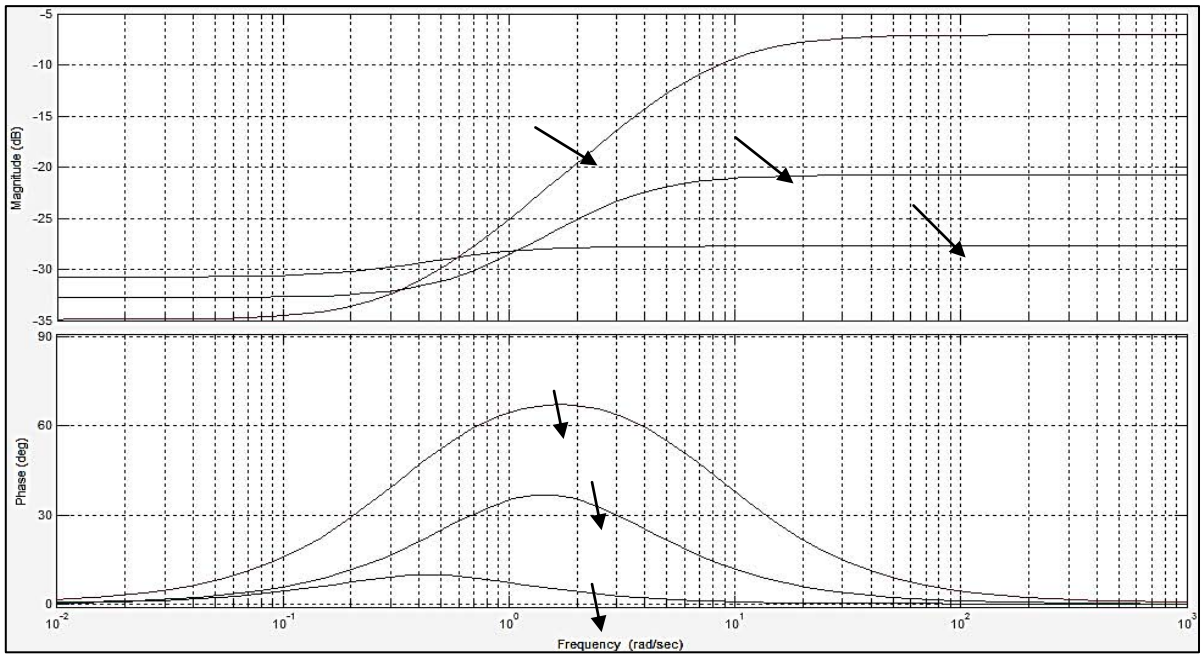


Рис. 5. Частотные характеристики регулятора *ECL Comfort 200* при изменении рассогласования температур Δt = 1 (1), 3 (2),10 (3) °С

В ходе экспериментальной идентификации установлено:

– параметр «время интегрирования» не определяет параметр интегрирующего звена, более того, интегральное звено в данном регуляторе отсутствует, а указанный параметр влияет на все характеристики динамического звена;

– параметр «зона пропорциональности» определяет общий коэффициент усиления регулятора;

– все коэффициенты и постоянные времени регулятора зависят от величины рассогласования.

Возможно, регуляторы *ECL Comfort* содержат нечеткие алгоритмы [5], однако разобрать их и, особенно, воздействовать на их корректировку, т.е. воспользоваться генетическими алгоритмами нет никакой возможности.

В связи с этим, единственно возможным, вариантом корректировки данных регуляторов может быть метод, опирающийся на их идентификацию как динамических нелинейных регуляторов и использование методов частотного анализа или гармонической линеаризации для корректировки динамики контуров теплоснабжения.

Библиографический список

1. Цифровой погодозависимый каскадный контроллер Vitotronic 300 – K. Инструкция по монтажу и сервисному обслуживанию для специалистов. – URL: http://viessmann.watercity.ru/upload/iblock/b09/efc210a6-b149-11e1-9504-6c626d-b89317_efc210b4-b149-11e1-9504-6c626db89317.pdf.

2. Инструкция по установке регулятора ESBE series 90. – URL: http://www.es-be.eu/ru/ru-ru/produktsiia/kontrolliery/90c.

3. Каталог автоматических регуляторов для систем теплоснабжения зданий. ЗАО «Данфосс» 2012 г. *ECL Comfort 200*. Руководство пользователя. – URL: http://www.danfoss-rus.ru/catalog/sections_files/VI7BC550_P30.pdf.

4. Штовба, С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. Монография / С.Д. Штовба. – Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 2001. – 756 с.

5. Беккер, Ю.Л. Сравнительный анализ практического применения терморегуляторов, основанных на ПИД – законе и на применении правил нечеткой логики (Fuzzy Logic) / Ю.Л. Беккер, Н.Д. Сибильская, В.В. Делибалтов, А.М. Зак. – URL: http://d.17-71.com/2007/08/20/sravnitelnyiy-analiz-prakticheskogo-primeneniya-termoregulyatorov-osnovannyih-na-pid-zakone-i-na-primenenii-pravil-nechetkoy-logiki-fuzzy-logic/.

К содержанию

УДК 620.9:662.92 + 658.264:681.515 + 697.1:681.515

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В.Л. Кодкин, А.А. Балденков, А.Ю. Качалин, А.С. Аникин, В.Л. Немков

В статье представлены экспериментальные исследования в реальной системе отопления, в которой работают два контура автоматического регулирования температуры теплоносителя, с целью определения потенциальных возможностей ее оптимизации по потреблению ресурсов.

Ключевые слова: тепловые системы, регулятор температуры теплоносителя.

На сегодняшний день основные задачи реализации программ энергосбережения в стране состоят в обеспечении эффективности всех процессов, связанных с производством, передачей и потреблением энергоносителей. В коммунальном хозяйстве потребление тепловой энергии практически на порядок превосходит потребление электрической энергии в связи с нуждами отопления и горячего водоснабжения. Помимо этого график тепловой нагрузки в течение отопительного сезона сильно варьируется (в 5–6 раз) не только от времени суток, но и от климатических условий. В связи с этим повышение энергоэффективности в системах теплоснабжения за счет обеспечения в них качественного процесса регулирования является актуальной задачей.

Широкое применение в тепловых системах автоматических регуляторов массового производства (таких например, как ECL Comfort (производитель *Danfoss*)) выявило ряд проблем. Соблюдение рекомендаций по их настройке приводит к колебаниям температуры теплоносителя с периодом

5–20 мин и амплитудой 7–10 °С. Такой процесс «заставляет» увеличивать исходную температуру теплоносителя на 10–15 °С, что значительно повышает расход энергоресурсов.

Цель данных исследований – установить возможность существенного снижения амплитуды колебаний температуры теплоносителя в автоматической системе регулирования.

Экспериментальные исследования проводились на реально существующей крышной котельной по адресу Академика Сахарова, 11.

Структура котельной и системы отопления представлена на рис. 1, где: К1–К3 – котлы; Р1 – регулятор котлов; Р2 – регулятор контуров отопления; Кл1, Кл2 – трехходовой регулировочный клапан; I – контур теплоснабжения – удаленный, но малоинерционный; II – контур теплоснабжения.

Каждый из контуров – это нелинейный ПД – регулятор, релейный элемент (трехходовой смесительный клапан) и динамическая система второго–третьего порядка (отапливаемое здание).

Регуляторы ECL Comfort включают в себя нелинейные ПД – звенья, при правильном выборе параметров, обеспечивающие существенное снижение амплитуды колебаний.

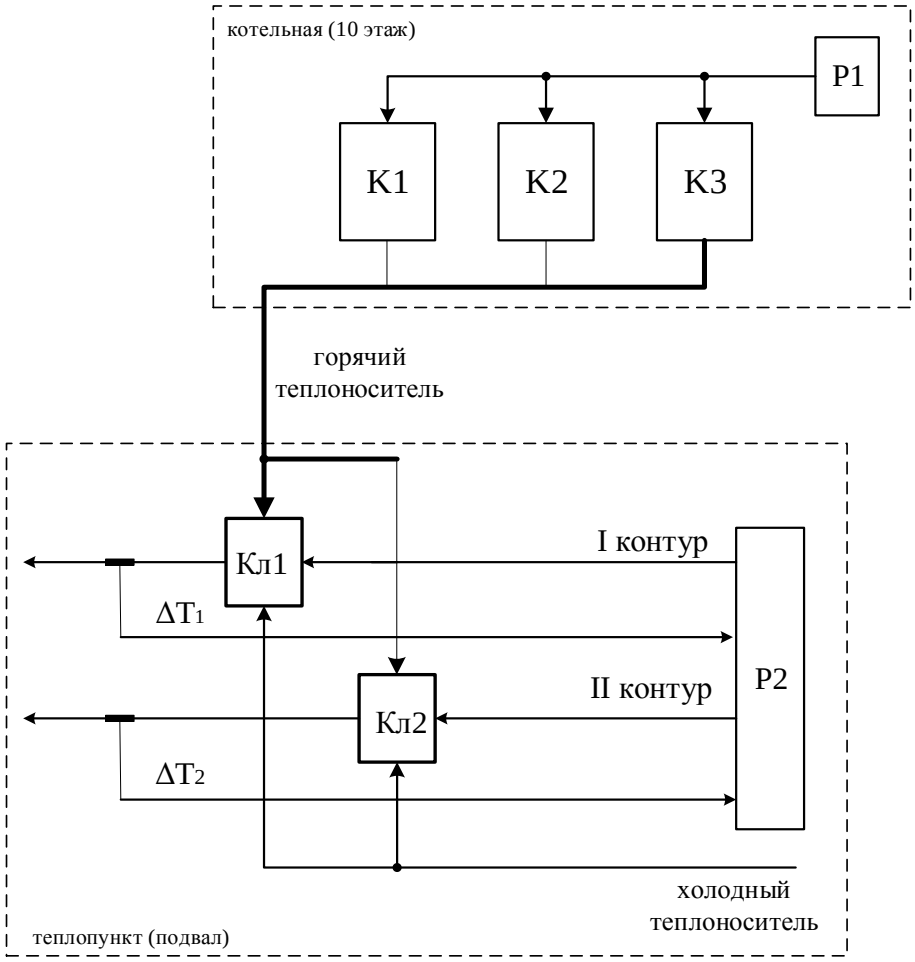


Рис. 1. Структура котельной и системы отопления

Во всех регуляторах установлены параметры, соответствующие инструкциям. Процессы зарегистрированные по показаниям датчиков ECL 200 показаны на рис. 2.

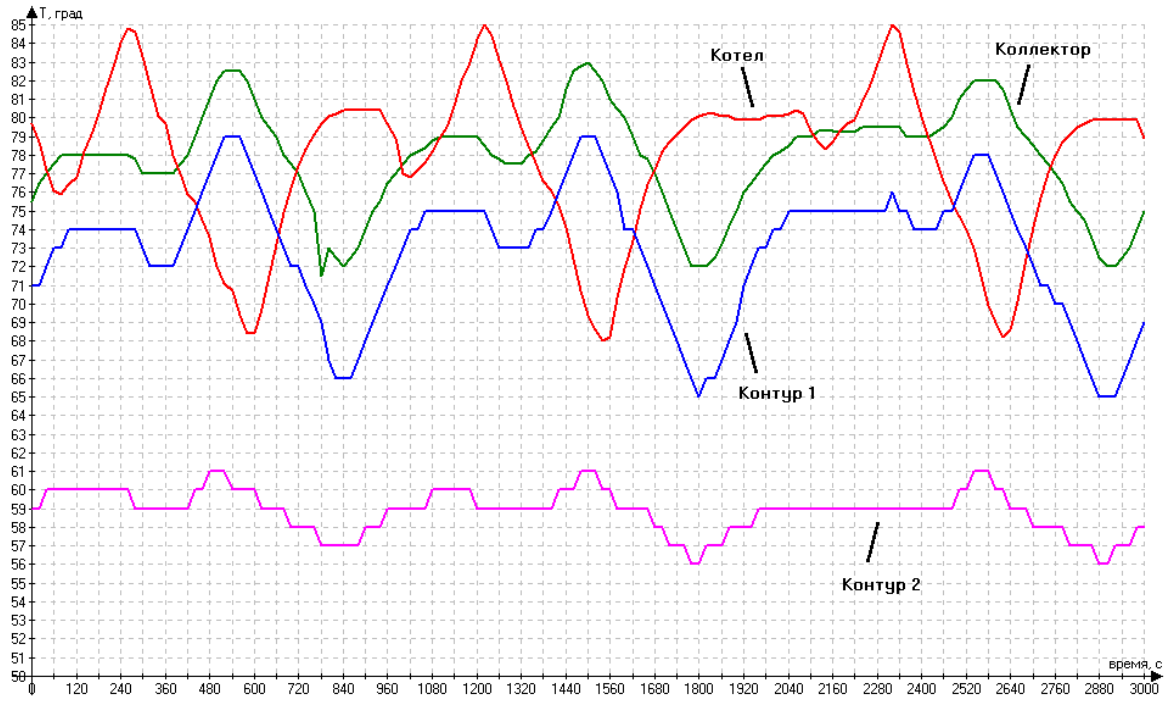


Рис. 2. Процессы в котельной и контурах отопления при параметрах регуляторов, установленных в соответствии с инструкциями

Согласно рис. 2 амплитуда (период) колебаний: контур I 13–15 °С (период 600 с); контур II 5–6 °С (период 600 с), соответственно процесс регулирования представляет собой периодические колебания с амплитудой до 10–15 °С, а следовательно, на эту величину температура теплоносителя превышает требуемое значение. Процессы в контурах по фазе совпадают с процессами в коллекторе.

При изменении параметров регуляторов (рис. 3) резко изменились процессы в контуре I: амплитуда снизилась до 1 °С, период до 90 с.

Провалы температуры в коллекторе проявляются в контурах I и II. Возрастание температуры в коллекторе увеличивает амплитуду колебаний во II контуре.

Процесс изменения температуры в коллекторе ($T_{кол}$), по форме повторяет процесс изменения температуры в котле ($T_{котла}$) с уменьшенной амплитудой и сдвинут по фазе на 300 с.

Процессы в I и II контурах повторяют процессы в коллекторе.

При измененных настройках амплитуда (период) колебаний выглядит следующим образом:

– в контуре II: A = 1 °С, ω = 60 с, не реагирует на температуру в коллекторе;

– в контуре I: A = 1 °C, кроме участков переходных процессов после снижения температуры в коллекторе до 75 °C (вне зоны ±1 °C не более 5 % общего времени).

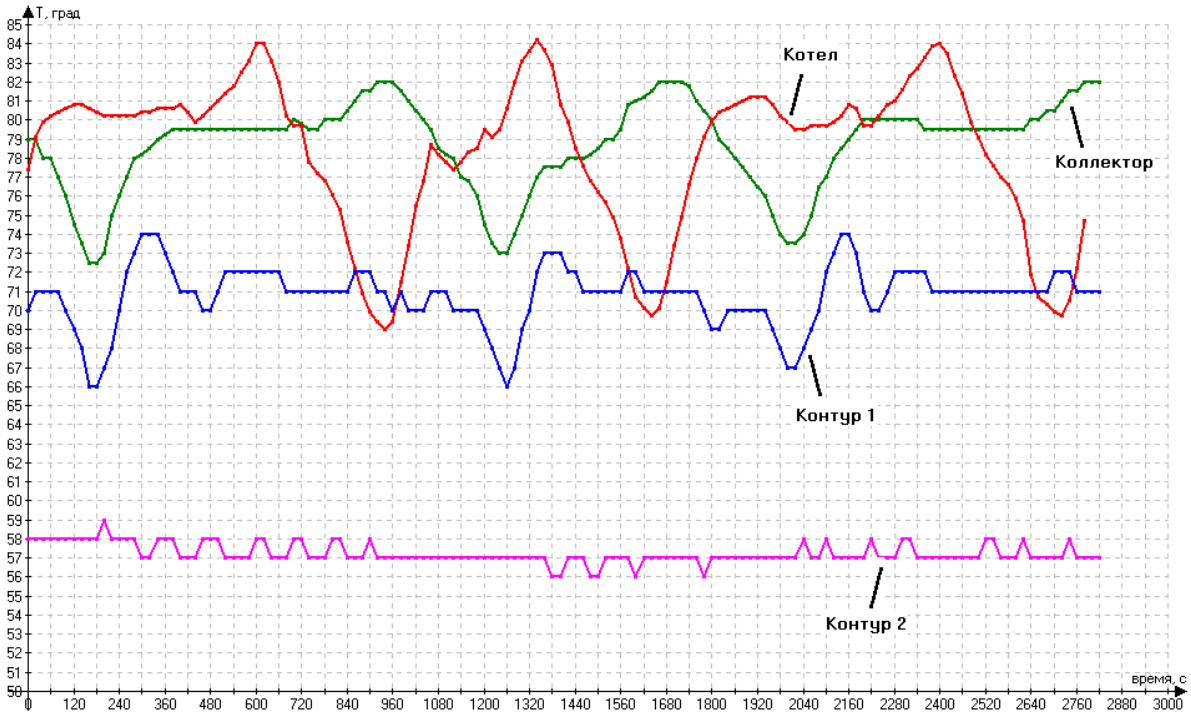


Рис. 3. Процессы в котельной и контурах отопления
при оптимальных параметрах регуляторов

Таким образом, оптимальная настройка регулятора контуров отопления *ECL Comfort* (производитель *Danfoss*) позволяет существенно снизить колебательный характер процессов регулирования температуры теплоносителя в сети отопления, однако, необходимо стабилизировать температуру в котле и коллекторе, для того чтобы стабилизировать процессы в контурах.

К содержанию

УДК 620.9:662.92 + 658.264 + 697.1:681.515

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ТЕПЛОВЫХ СИСТЕМАХ МЕТОДАМИ ТАУ

В.Л. Кодкин, А.А. Балденков, А.Ю. Качалин, А.С. Аникин, В.Л. Немков

В статье представлены результаты экспериментальных исследований проведенных в реальной системе отопления с целью повышения ее энергоэффективности и возможности снижения объемов потребляемых ресурсов с применением методов теории автоматического управления .

Ключевые слова: тепловые системы, регулятор температуры теплоносителя, оптимизация процессов, частотные характеристики.

Как показали исследования регуляторов и экспериментальные испытания автоматических контуров теплоснабжения правильным выбором динамических характеристик регуляторов можно существенно снизить амплитуду колебаний температуры теплоносителя в контурах.

Существенную роль играет характер процессов в коллекторе с горячим теплоносителем. Следуя современным инструкциям, температура в котлах поддерживается на 8–10 °С выше температуры в контурах, с тем, чтобы при снижении температуры в котле в контурах не было бы недопустимых провалов. Это увеличение температуры теплоносителя, в конечном счете, приводит к перерасходу ресурсов – электроэнергии и топлива. Оптимизация процессов с точки зрения теории автоматического управления приводит к повышению энергоэффективности системы.

При установке параметров системы в соответствии с инструкциями, частотная характеристика регулятора выглядит как на рис. 1, процессы изменения температуры теплоносителя в системе при этом приведены на рис. 2.

Изменение параметров регулятора, на полученные в результате исследований, привело к тому, что ЛЧХ регулятора стали выглядеть, как на рис. 3, процессы регулирования температуры для данного случая приведены на рис. 4.

Следует обратить внимание, что амплитуда колебаний в контурах менее 1 °С, несмотря на повышенную частоту переключений (период 60 с вместо 900 с) в исходной системе перемещается только 30 % времени в контуре II и 20 % – в контуре I. Таким образом данный режим оптимален с самых разных точек зрения.

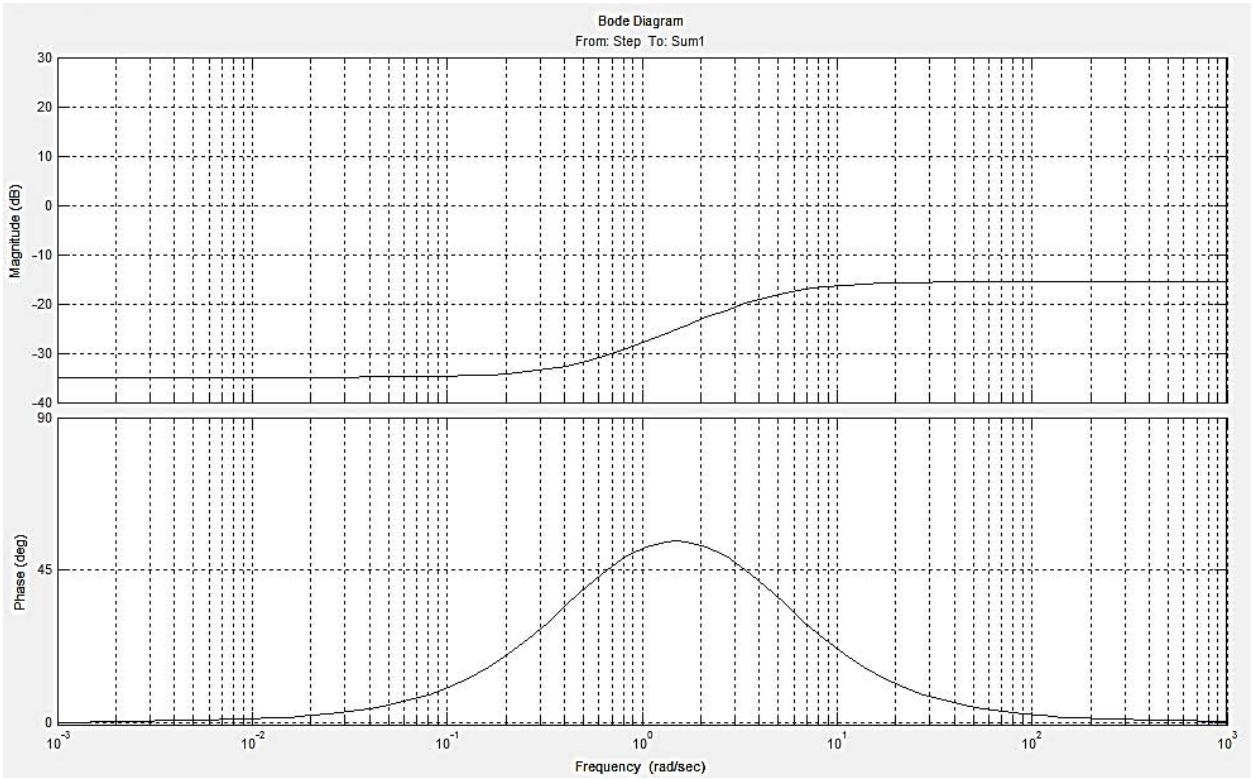


Рис. 1. ЛЧХ регулятора I контура при настройках, рекомендуемых инструкциями

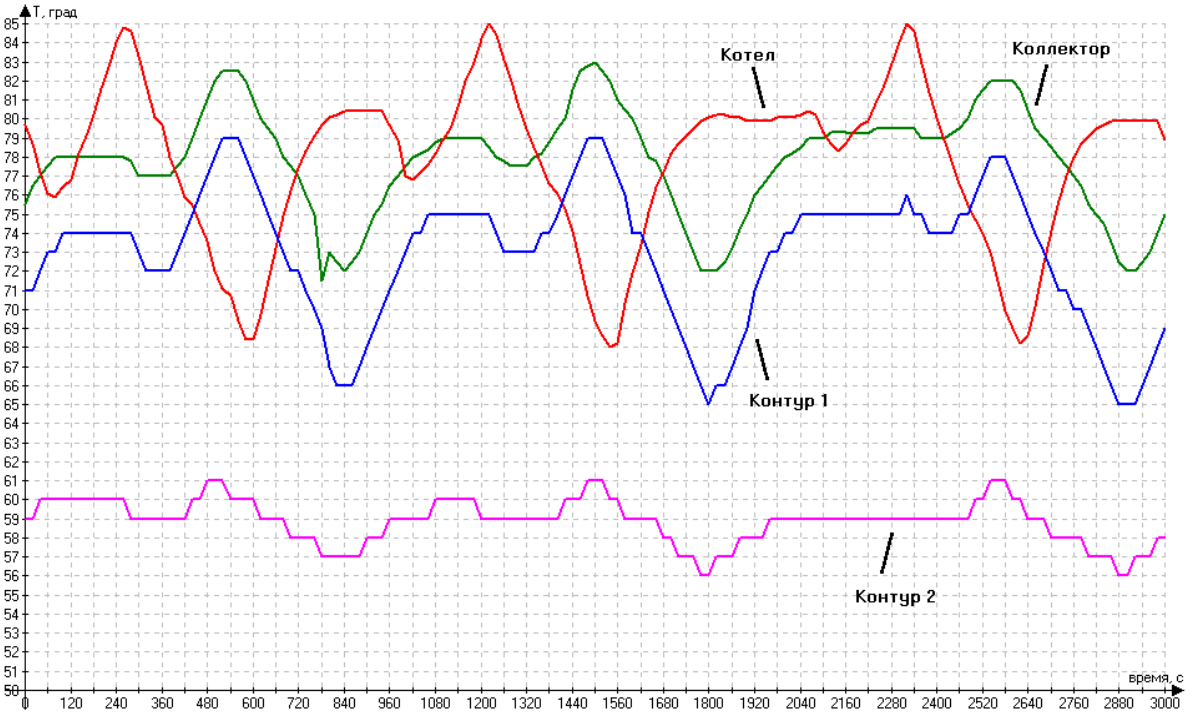


Рис. 2. Процессы в системе отопления
при настройках регулятора, рекомендуемых инструкциями

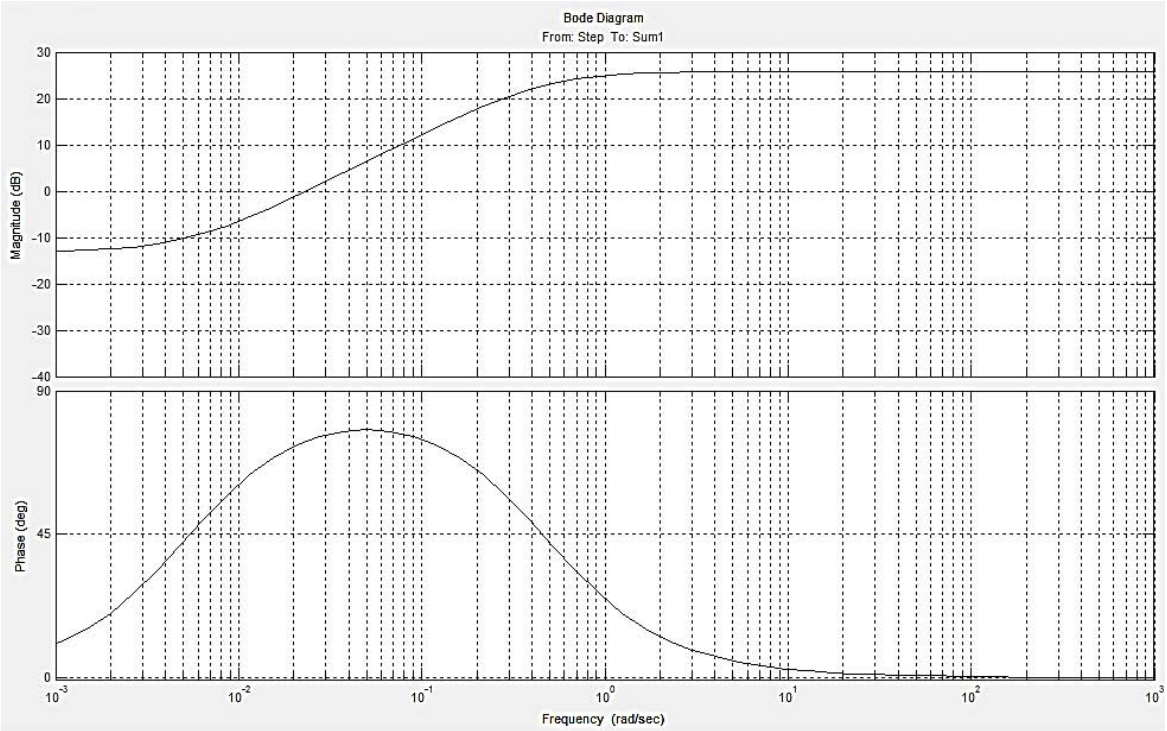


Рис. 3. ЛЧХ регулятора I контура при оптимальных настройках

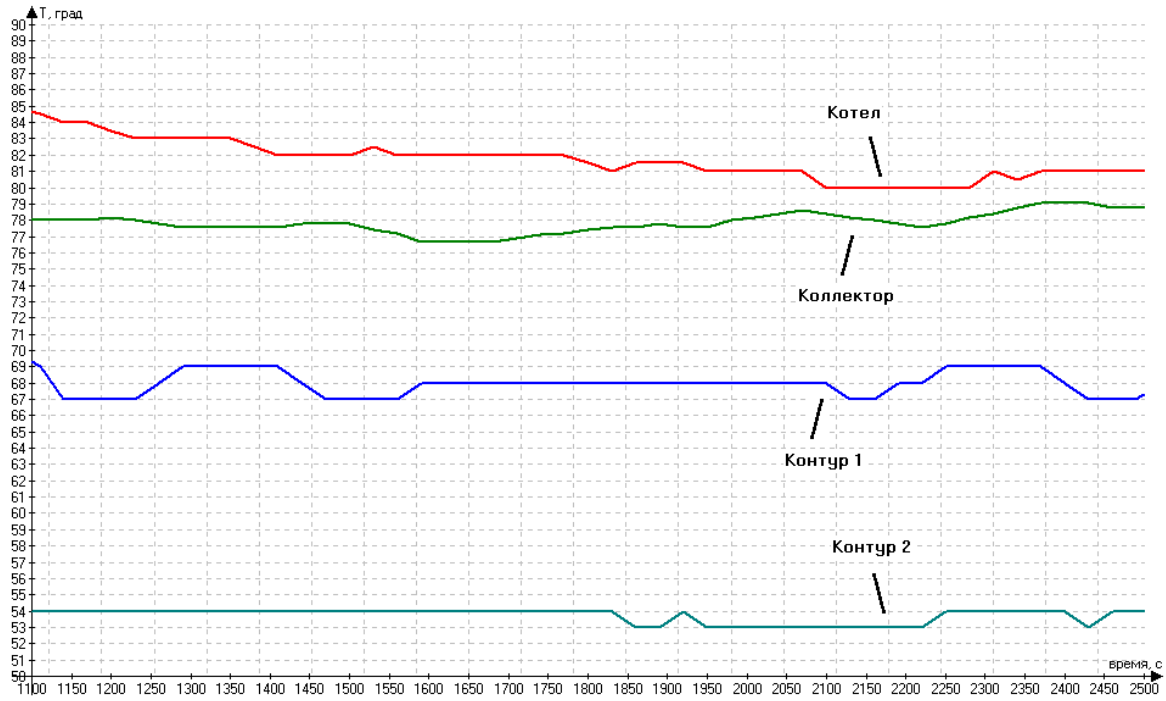


Рис. 4. Процессы в котельной и контурах отопления
при оптимальных настройках регулятора

Обращая внимание на поддерживаемые температуры: в котле – 78 °С, в контуре I – 54 °С, в контуре II – 68 °С; и на процессы в системе, можно утверждать, что температура в котле может быть снижена до 70–71 °С, что

принесло бы еще большую экономию ресурсов. Однако даже при сохранении температуры котла и теплоносителя в контурах, только за счет исключения колебательности процессов, удалось получить существенную экономию. На рис. 5 приведены графики потребления газа и среднесуточных температур до (16.03.2015г.) и после настройки контуров. При одинаковых среднесуточных наружных температурах, потребление газа снижено на 5–10 %.

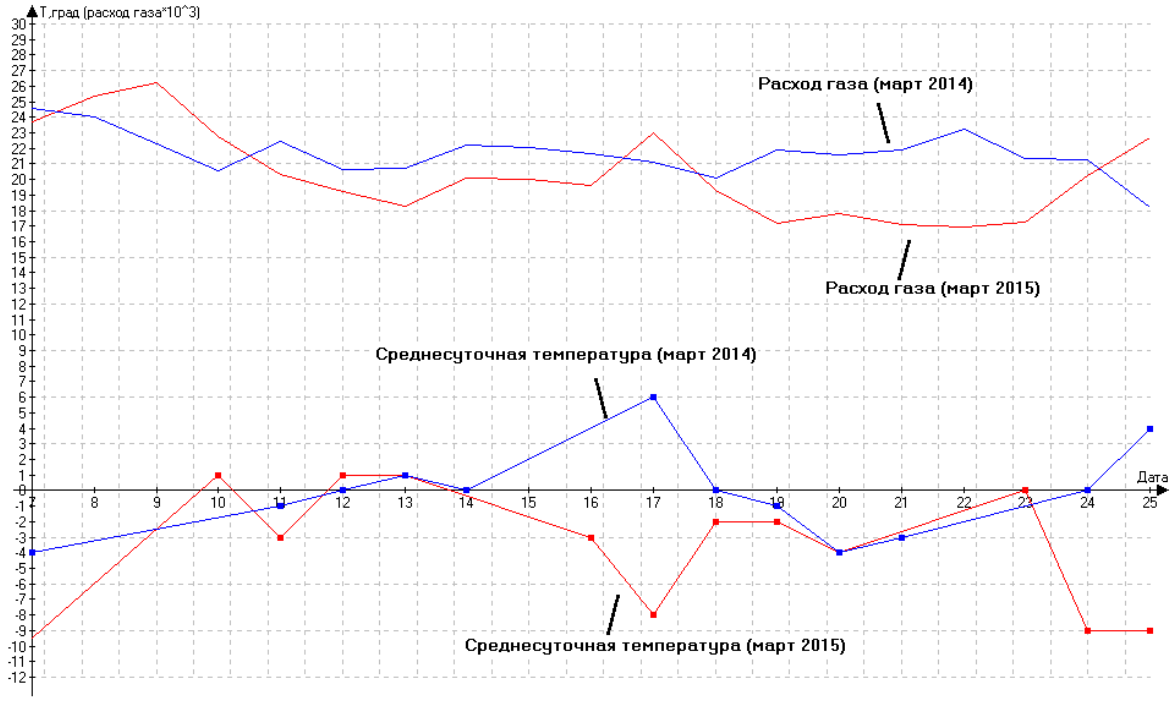


Рис. 5. Графики среднесуточных температур и потребления газа (нижние графики – температуры, верхние – расход газа *10^3)

Комплекс проведенных исследований подтверждает, что оптимизация процессов в контурах может снизить амплитуды колебаний до 1 – 1,5°С, а это позволит изменить алгоритмы управления каскадными регуляторами, исключив «запасы», приводящие к высокому энергопотреблению. В конечном итоге, предлагаемые мероприятия могут экономить от 10 до 20% энергоресурсов.

Библиографический список

1. Зайцев, Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования: учебное пособие для студентов вузов / Г.Ф. Зайцев. – 2-е изд. перераб. и доп. – Киев: Выща школа, 1988. – 431 с.

2. Иващенко, Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы системы: учебник для вузов / Н.Н. Иващенко. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 736 с.

К содержанию

УДК 621.3.072.1 + 62-83:621.313.32

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Я.А. Шмарин, В.Л. Кодкин

Представлены результаты экспериментальных исследований электропривода на базе синхронного электродвигателя с постоянными магнитами с трапецеидальной формой магнитного поля и преобразователя частоты. Представлен анализ динамических характеристик электропривода. Динамические режимы работы исследовались при гармоническом задании по каналу скорости, а также при сбросе и набросе нагрузке. Сравнивалась работа электропривода при скалярном и векторном режимах работы преобразователя. Показаны высокие динамические характеристики электропривода; в процессе исследований выпада из синхронизма не наблюдалось.

Ключевые слова: Электропривод переменного тока, синхронный двигатель с постоянными магнитами, динамические характеристики синхронного электропривода.

Многие технологические процессы на производстве требуют особенной точности в поддержании заданного значения скорости рабочего органа. К таким механизмам можно отнести механизмы в металлургической, текстильной отраслях, механизмы насосных и компрессорных установок. К электроприводам, обеспечивающим эффективную реализацию режима поддержания скорости можно отнести класс электроприводов на базе синхронного электродвигателя. С учетом развития технологий добычи и обработки, а также экономической конъюнктуры на рынках редкоземельных металлов, синхронные электродвигатели часто стали выпускаться с возбуждением от постоянных магнитов. Такие электродвигателя обеспечивают высокие показатели по КПД, удельные показатели мощности и момента.

Тем не менее, кажущаяся простота применения синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ) сопряжена с рядом особенностей. Например, работа СДПМ в режиме бесколлекторного двигателя постоянного тока [1] требует установки электронного коммутатора, который обеспечивает ориентацию пространственного вектора магнитного потока в соответствии с положением ротора. С одной стороны, данный способ управления невозможен без применения датчика положения ротора, с другой – специальные позиционные коммутаторы, чаще всего, разрабатываются и изготавливаются малыми партиями, что обуславливает их относительно высокую стоимость и недостаточное качество. Другим возможным способом управления являются специальные приложения в преобразовате-

лях частоты для управления синхронными двигателями. Однако в таком способе тоже присутствует ряд ограничений. Во-первых, приложения в преобразователях частоты предъявляют жесткие требования к форме ЭДС двигателя (она должна быть строго синусоидальной), во-вторых, не в каждом преобразователе частоты есть такое приложение, а те, в которых есть, чаще всего имеют более высокую стоимость.

Предлагаемое исследование синхронного двигателя с постоянными магнитами направлено на разработку алгоритмов и условий работы СДПМ совместно со стандартным, серийно-выпускаемым преобразователем частоты. Данное решение может обеспечить работу электропривода без датчика положения ротора, вместе с этим применение общепромышленных преобразователей вместо специализированных коммутаторов позволит снизить стоимость системы электропривода и упростит процесс наладки.

В целях изучения вопросов применения стандартного преобразователя частоты и СДПМ были проведены экспериментальные исследования электропривода на базе электродвигателя ЭДБН-25, выпускаемого НПО «Электромашина» с преобразователем частоты *ATV71* компании *Schneider Electric* [2]. В ходе испытаний в ряде других экспериментов, подтверждающих работоспособность электропривода, проводились исследования динамических режимов. В программу исследований динамических режимов входили режимы реакции на гармоническое воздействие, а также реакция на сброс-наброс нагрузки.

Функциональная схема, соответствующая эксперименту отработки гармонического воздействия представлена на рис. 1. В ходе эксперимента синусоидальный гармонический сигнал подавался на вход задания скорости, при этом фиксировались временные диаграммы угловой скорости вращения вала двигателя, ток двигателя, напряжение на звене постоянного тока преобразователя. Задающий сигнал по скорости обладает параметрами, сведенными в табл. 1 и соответствующими изменению задающего сигнала в пределах от 20 до 25 Гц. Временные диаграммы скорости при изменении частоты входного сигнала задания представлены на рис. 2.

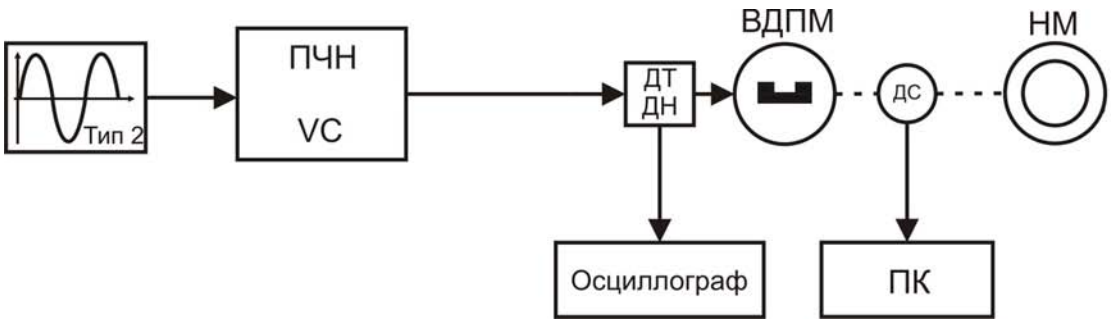


Рис. 1. Функциональная схема испытательного стенда СДПМ с ПЧ

Таблица 1

Параметры сигнала задания

Амплитуда	0,38 В соответствует 2,5 Гц задания скорости
Смещение	1,7 В соответствует 22,5 Гц задания скорости
Частота	Изменяется в пределах 0,5 Гц до 3,0 Гц с шагом 0,5Гц

Из рис. 2 видно, что электропривод отрабатывает синусоидальное задание.

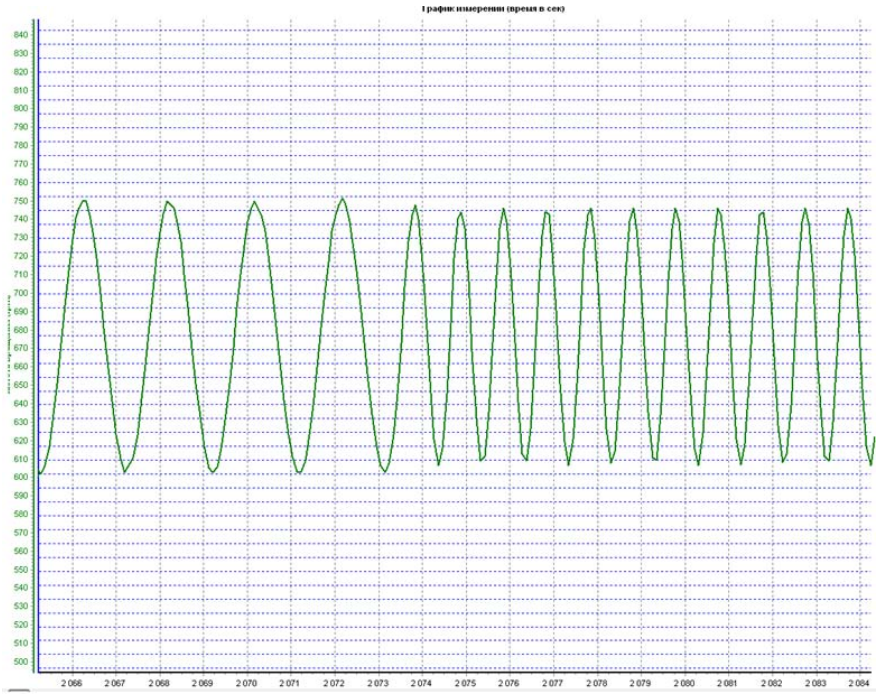


Рис. 2. Участок временной диаграммы скорости углового вращения вала СДПМ при отработке синусоидального задания

Режим отработки синусоидального задания исследовался при работе скалярного и векторного приложений в ПЧ. Стоит отметить, что при работе скалярного управления наблюдался так называемый «срыв управления» при определенной частоте задания выходной сигнал скорости терял синусоидальную форму (рис. 3). Так, электропривод отрабатывал возмущение частотой до 2 Гц почти без погрешности, но на частоте 2,5 Гц управление разрывалось. Кроме того, статорные токи оказались в 2–3 раза больше, чем токи при векторном управлении (рис. 4). В случае с векторным управлением, с ростом частоты уменьшалась амплитуда колебаний, однако синусоидальность сохранялась.

Привод с векторным управлением имеет АЧХ, близкую к звену первого порядка с частотой среза 1,5Гц (рис. 5). Анализ данной характеристики позволяет предположить хорошую управляемость электропривода состоящего из ПЧ и электродвигателя с постоянными магнитами, которая совместно с хорошими массогабаритными показателями позволит создать высоко-

технологичный электропривод, замкнутый по скорости вращения или тяговому усилию, который по характеристике будет превосходить асинхронный электропривод.

Другим режимом исследований динамических возможностей электропривода был режим сброса-наброса нагрузки. Ступенчатые изменения момента сопротивления на валу электродвигателя обеспечивались путем скачкообразного введения в цепь нагрузочной машины добавочных сопротивлений. Сопротивления подбирались таким образом, чтобы обеспечить скачок момента, соответствующий 10–30 Нм. Исследования проводились на скорости 900–600 об/мин.

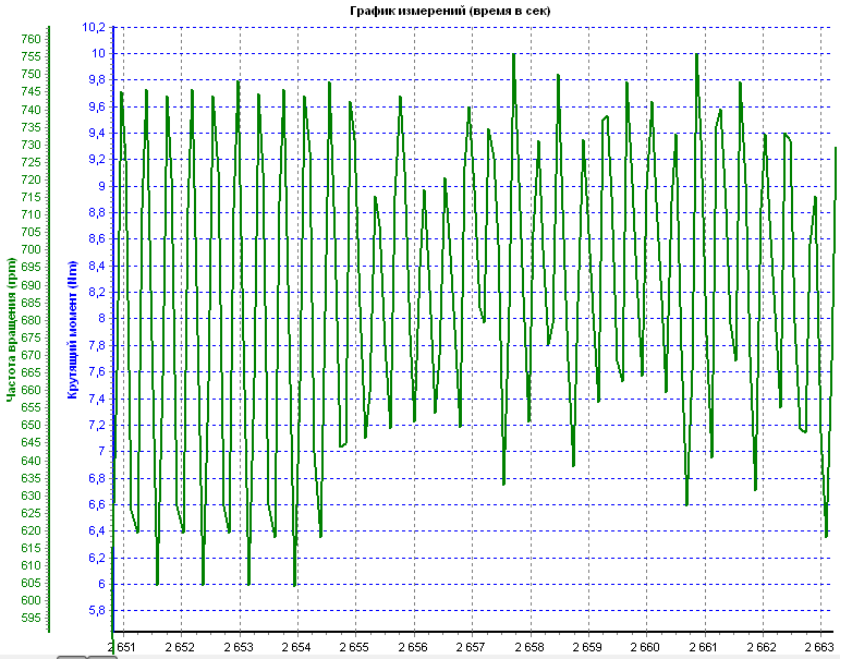
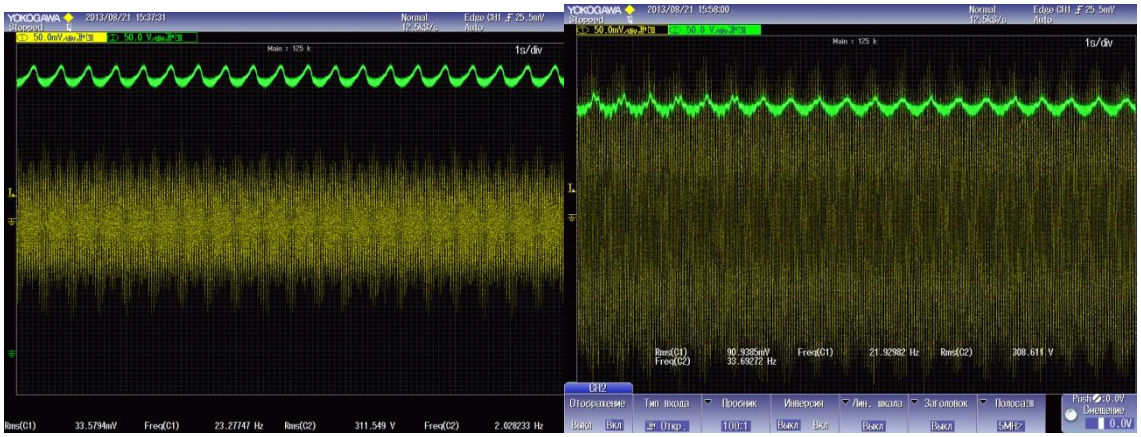


Рис. 3. Временная диаграмма скорости при срыве управляемости



а) б)

Рис. 4. Осциллограммы тока статора и напряжения на звене постоянного тока при векторном управлении – а), и скалярном – б)

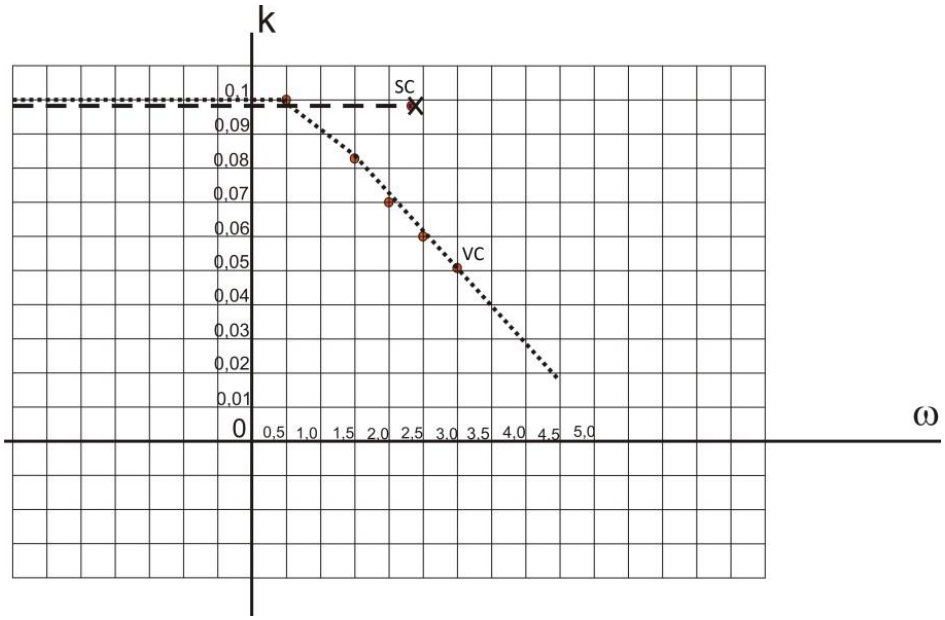
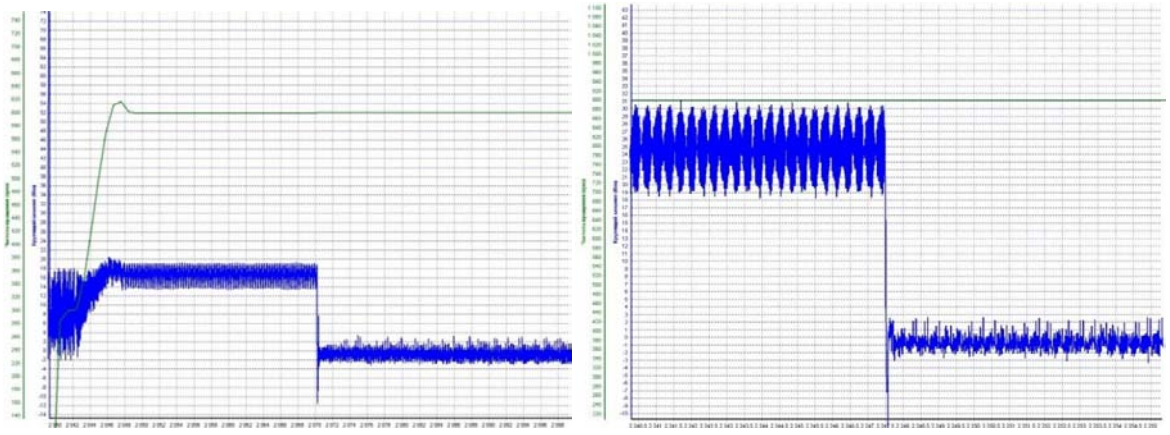


Рис. 5. АЧХ электропривода с выходом по скорости вращения ротора при скалярном управлении – *SC* и векторном – *VC*

На рис. 6–7 представлены результаты экспериментов сброс-наброса нагрузки.

В табл. 2 приведены результаты экспериментальных исследований режимов сброса-наброса нагрузки при различных скоростях и различных режимах управления



а) б)

Рис. 6. Диаграммы сброса-наброса нагрузки при векторном управлении: а) – 15 Нм, б) – 27 Нм

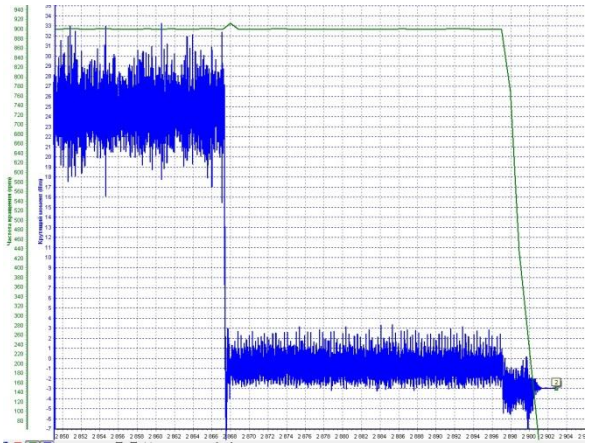


Рис. 7. Диаграмма сброса-наброса нагрузки 27 Нм –
при скалярном управлении

Таблица 2

Характеристики режимов сброса-наброса нагрузки

№	Условия испытаний					Результаты		
	Тип преобразователя	Тип управления	U, В	N, Об/мин	Нагрузка R, Ом	Δn	ΔM, Нм	Тв, с
1	ATV71	SVC	200	600	52	0	16	0
2		SVC	200	900	52	0	25	0
3		SC	200	900	52	15	25	1,9
4		SC	220	900	52	14	25	1,8

Из анализа рис. 6, 7 и табл. 2 видно, что набросы момента величиной 10 и 30 Нм практически не вызывают изменений скорости. Практически нет динамической и статической ошибки по скорости. При скалярном (SC) управлении изменения не значительны, а при векторном управлении (VC) сброс нагрузки на угловой скорости вращения вала вообще не сказывается, что говорит о высоком быстродействии системы.

Выводы

Проведенное эксперименты позволяют установить следующее:

– скорость привода жестко связана с частотой, задаваемой ПЧ (частотой напряжения питания, формируемой ПЧ);

– форма статорных токов двигателя во всех режимах близка к синусоидальной;

– при отработке синусоидального сигнала задания скорость двигателя изменяется по синусоидальному закону;

– частотная характеристика электропривода при векторном управлении в ПЧ близка к частотной характеристике инерционного звена с частотой среза 1 Гц;

– частотная характеристика электропривода при скалярном управлении близка к безынерционному звену, но при f = 2,5 Гц происходит срыв управления;

- наброcы момента сопротивления практически не вызывают отклонений по скорости как в векторном, так и в скалярном режимах.

Результаты экспериментов показали, что привод на основе двигателя ЭДБН-25 с ПЧ ATV71 является управляемым и работоспособным, а также обладает значительными возможностями по улучшению характеристик. Полученные результаты дают ориентацию на вопросы оптимизации частотного управления СДПМ и выявление энергоэффективных режимов работы электропривода.

Библиографический список

1. Зиннер, Л.Я. Вентильные двигатели постоянного и переменного тока / Л.Я. Зиннер, А.И. Скороспешкин. – М.: Энергоиздат, 1981. – 136 с.

2. Кодкин, В.Л. Особенности частотного управления вентильным двигателем с постоянными магнитами / В.В. Кодкин, Я.А. Шмарин // Материалы XX Всероссийской научно-технической конференции Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – Т. I. – 373 с.

К содержанию

УДК 621.31 + 658.262:622.692

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ СТЕНДА «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ И SCADA-СИСТЕМЫ»

А.С. Нестеров, А.А. Шапкин

Рассмотрены особенности построения систем электроснабжения нефтеперекачивающих станций; особенности режимов работы технологического оборудования; направления развития систем релейной защиты, автоматики, телемеханики и управления технологическими агрегатами.

Ключевые слова: лабораторный стенд, функциональная схема, преобразователь частоты, пид-регулятор.

На перекачку центробежными насосами чистых и сточных вод в России расходуется 120–130 млрд кВт•ч электроэнергии. Стоимость электроэнергии в общей сумме эксплуатационных расходов на водопроводно-канализационных предприятиях составляет 40–50 %. В результате 5–15 % энергии нерационально теряются в процессе перекачки чистых и сточных вод. Основные потери в насосных установках обусловлены несоответствием режима работы, режиму потребления и неправильно выбранного

способа управления. На базе лабораторного стенда есть возможность практически проверить влияние режимов управления на состояние гидравлической системы.

Стенд (рис. 1 и 2) представляет собой гидравлическую систему (1), содержащую две емкости: технологическую (2) и мерную (3). Мерная емкость является имитацией резервуара и предназначена для создания на ее основе, системы регулирования уровня жидкости. Для этого емкость снабжена датчиком гидростатического давления, емкостными поплавковыми датчиками. Также в емкость установлен трубчатый электронагреватель и термопара, что в совокупности с ПИД-регулятором температуры, позволяет реализовать в данном стенде систему регулирования температуры. Циркуляция жидкости в трубопроводе осуществляется насосным агрегатом (4), питающимся от преобразователя частоты (5). Для регулирования расхода в гидросистеме в трубопровод установлена задвижка с электроприводом (6). Также в систему трубопроводов установлены различные датчики, такие как: датчики давления, температуры, интеллектуальный датчик давления, стрелочные приборы, ультразвуковой расходомер и др. Исследуемые устройства и приборы установлены таким образом, чтобы существовала возможность сравнения между собой показаний измерительных приборов различного типа.

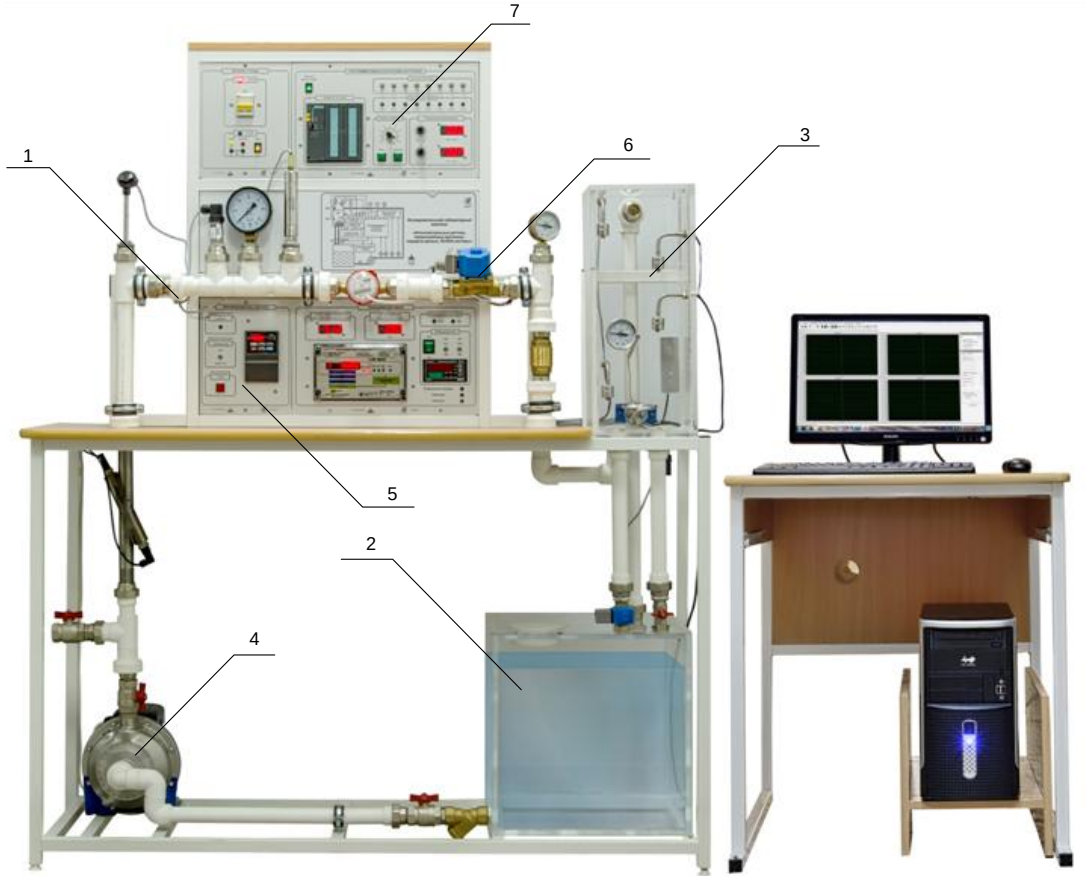


Рис. 1. Внешний вид лабораторного стенда

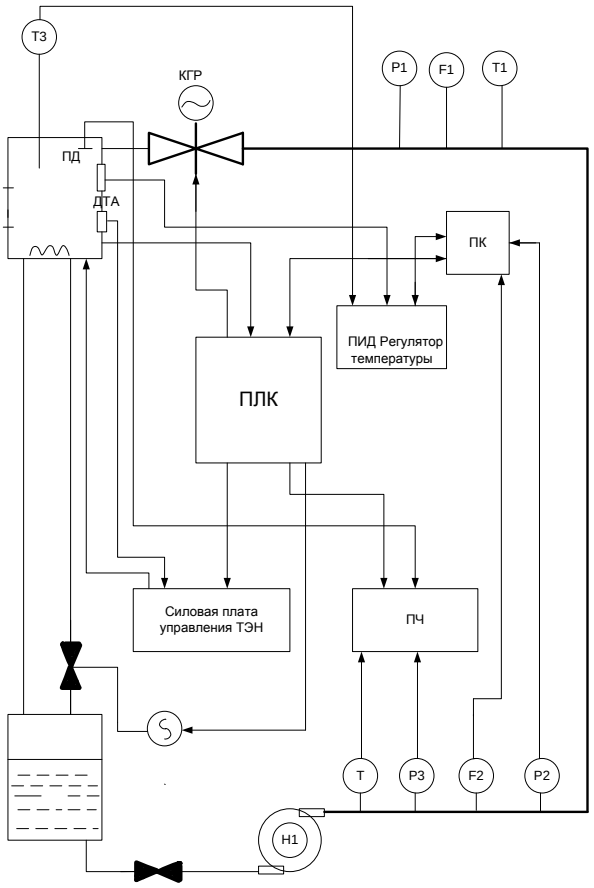


Рис. 2. Функциональная схема стенда

Формирование управляющих сигналов, а также, сбор, обработку и обмен информации в стенде осуществляет общепромышленный программируемый логический контроллер фирмы Siemens. Центральный процессор контроллера с набором встроенных дискретных и аналоговых входов-выходов установлен в лицевую панель, на которой также расположены тумблеры и потенциометры для имитации входных сигналов (7).

Для дальнейшего рассмотрения системы регулирования давления, необходимо напомнить специфику и терминологию гидравлических систем.

Гидравлическая машина, создающая напорное перемещение жидкости при сообщении ей энергии (насос) в совокупности с электроприводом и передаточным механизмом образует насосный агрегат, основными параметрами которого являются давление и подача.

Давление – разность удельных энергий жидкости в напорном и всасывающем патрубках насоса, необходимая для подъема жидкости на заданную высоту и для преодоления сил трения в трубопроводе:

$$P = \rho g h_2 - \rho g h_1;$$

Подача – объем жидкости, перекачиваем насосной установкой за единицу времени:

$$Q = \frac{V}{t};$$

Напор – равноценно термину давления. Напор и давление связаны между собой отношением:

$$H = \frac{P}{\rho g};$$

где Н – напор, м; Р – давление жидкой среды насоса, Па; ρ – плотность жидкой среды, кг/м^3; g – ускорение свободного падения, м/с^2.

Зависимость между расходом жидкости через трубопровод и напором, который требуется для обеспечения этого расхода, называется характеристикой трубопровода и описывается уравнением:

$$H_C = H_{CT} + SQ^2;$$

где H_C – напор в начале трубопровода; S – гидравлическое сопротивление трубопровода; H_{CT} – статический напор, обусловленный разностью геодезических отметок подачи и приема жидкости.

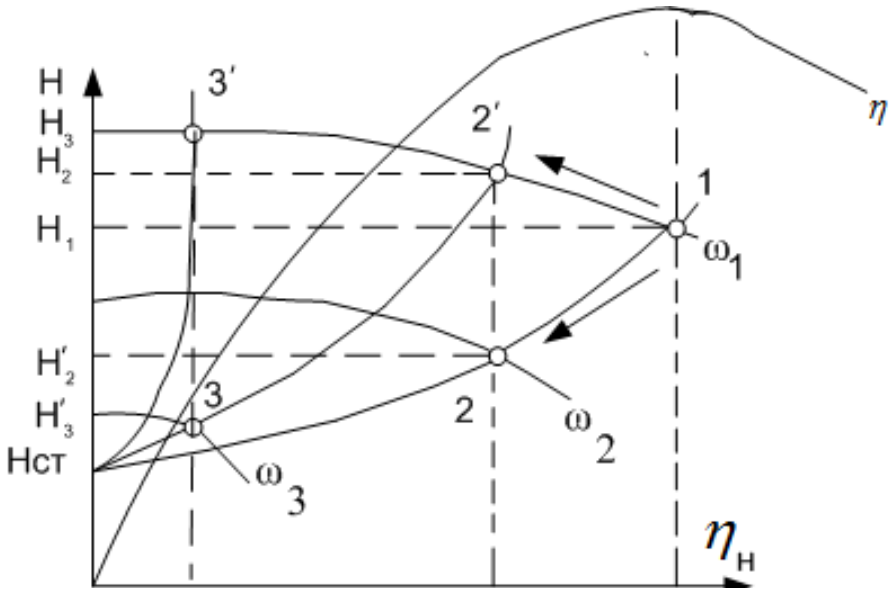


Рис. 3. Регулирование напора

Преднамеренное изменение подачи и напора насоса в соответствии с изменяющимся режимом работы системы называется регулированием.

Рассмотрим два способа регулирования давления в системе (рис. 3): путем изменения степени открытия задвижки (дросселирование) и путем изменения частоты вращения двигателя (частотное регулирование).

В первом варианте, закрывая или открывая задвижку, изменяют крутизну характеристики H-Q трубопровода, которая зависит от его гидравлического сопротивления. Так при закрытии задвижки характеристика передвигается из точки 1 в точку 2’. Увеличивая степень закрытия затвора, увеличивают напор развиваемый насосом до значения H_2, а подача уменьшается до значения Q_2.

Второй способ называется частотным управлением. При уменьшении частоты вращения насоса напорная характеристика перемещается вниз, параллельно самой себе. При этом рабочая точка перемещается из точки 1 в точку 2, перемещаясь по характеристике трубопровода, следовательно, подача уменьшается также, как и напор в сети.

Для изучения второго способа регулирования, реализуем в данном стенде систему поддержания давления в трубопроводе. Для этого используем ПИД-регулятор, встроенный в преобразователь частоты. Для запуска ПИД-регулятора требуется настроить параметры преобразователя частоты, а также проверить подключение соответствующего датчика к каналу обратной связи.

При настройке ПИД-регулятора были настроены следующие параметры:

– источник задания ПИД-регулятора – пульт управления;

– источник сигнала обратной связи – отрицательный сигнал обратной связи 4–20 мА;

– коэффициент усиления обратной связи – т.к. максимальное давление, развиваемое в стенде при максимальной частоте, соответствует, приблизительно 120 кПа, а датчик давления рассчитан на 600 кПа, то данный параметр имеет значение $К_{УОС}$= 20/6,7=3 (рис. 4);

– пропорциональная составляющая контура – var;

– интегральная составляющая контура – var;

– дифференциальная составляющая контура – var.

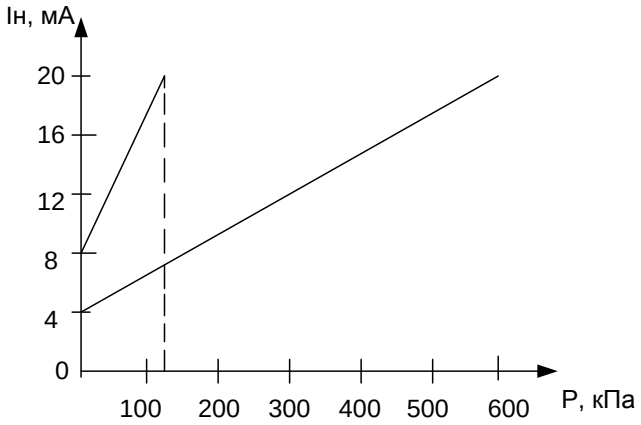


Рис. 4. Настройка коэффициента обратной связи

Структурная схема системы поддержания давления представлена на рис. 5.

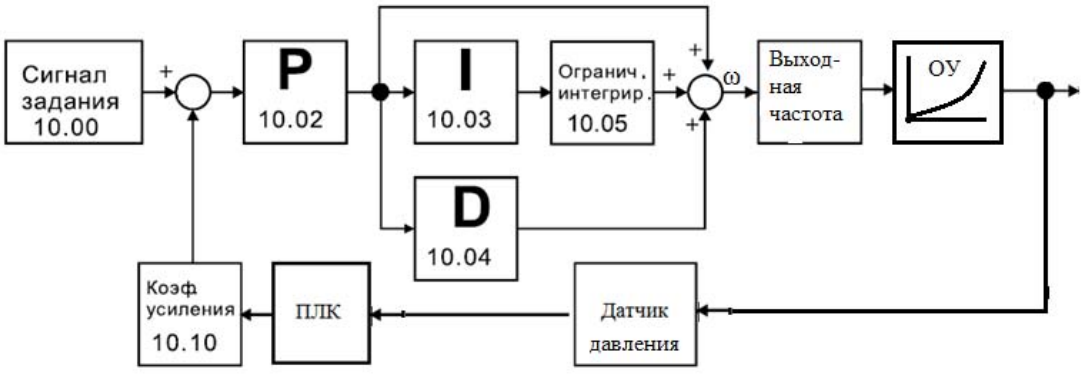


Рис. 5. Структурная схема частного регулирования

Для работоспособности системы регулирования, необходимо выполнение главного критерия работоспособности замкнутой системы – она должна быть устойчива. Под устойчивостью системы понимают свойство системы самостоятельно возвращаться к равновесному состоянию после возмущения, нарушившего ее равновесие.

Так как возникает необходимость обеспечить не только устойчивость системы, но также обеспечить высокие показатели качества переходного процесса, то для настройки коэффициентов ПИД-регулятора воспользуемся достаточно распространенным методом Циглера-Никольса:

– обнуляем все коэффициенты регулятора К;

– постепенно увеличиваем пропорциональный коэффициент, до тех пор, пока не получим режим автоколебаний;

– фиксируем коэффициент, замеряем период колебаний системы Т;

далее с помощью следующих формул рассчитываем коэффициенты ПИД-регулятора:

$$K_П = K \cdot 0.5; K = 1; K_П = 0.5;$$

$$K_И = (2 \cdot K_П) / T; T = 4; K_И = 0.25;$$

$$K_Д = (4 \cdot K_П) / T; T = 4; K_Д = 0.25.$$

После настройки системы, была произведена проверка разработанной системы регулирования (рис. 6).

Далее, была проведена практическая проверка влияния коэффициентов настройки ПИД-регулятора, на показатели качества переходного процесса. Были рассмотрены следующие показатели: динамическая ошибка – максимальное отклонение регулируемого параметра от заданного значения; статическая ошибка – рассогласование между установившимся значением и начальным значением; время переходного процесса (рис. 7–8).

В итоге на практике были получены зависимости показателей качества от коэффициентов регулятора (табл. 1 и 2). Как и предполагалось в теории:

- увеличение пропорционального коэффициента приводит к увеличению быстродействия, но снижение устойчивости системы;
- увеличение дифференциальной составляющей также приводит к значительному увеличению быстродействия;
- дифференциальная составляющая призвана устранить затухающие колебания, возникающие при использовании только пропорциональной составляющей;
- интегральная составляющая приводит к повышению точности системы, но существенно повышает ее инерционность.

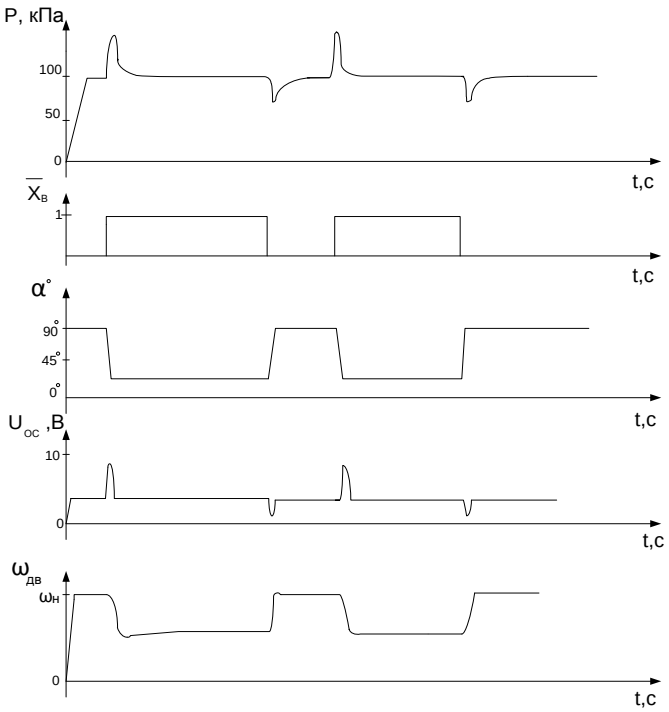


Рис. 6. Временные диаграммы переходных процессов в процессе работы системы поддержания давления

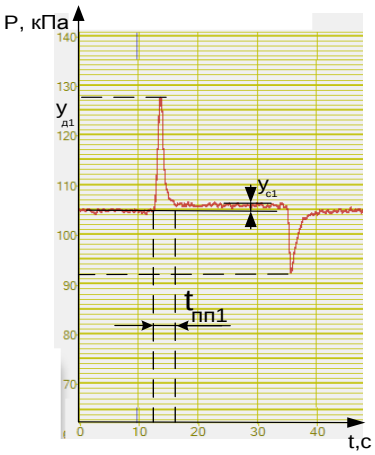


Рис. 7. График переходного процесса при настроенном ПИД-регуляторе ($К_{П1}$=0,5, $Т_{И1}$= 0,25, $Т_{Д1}$=0,1)

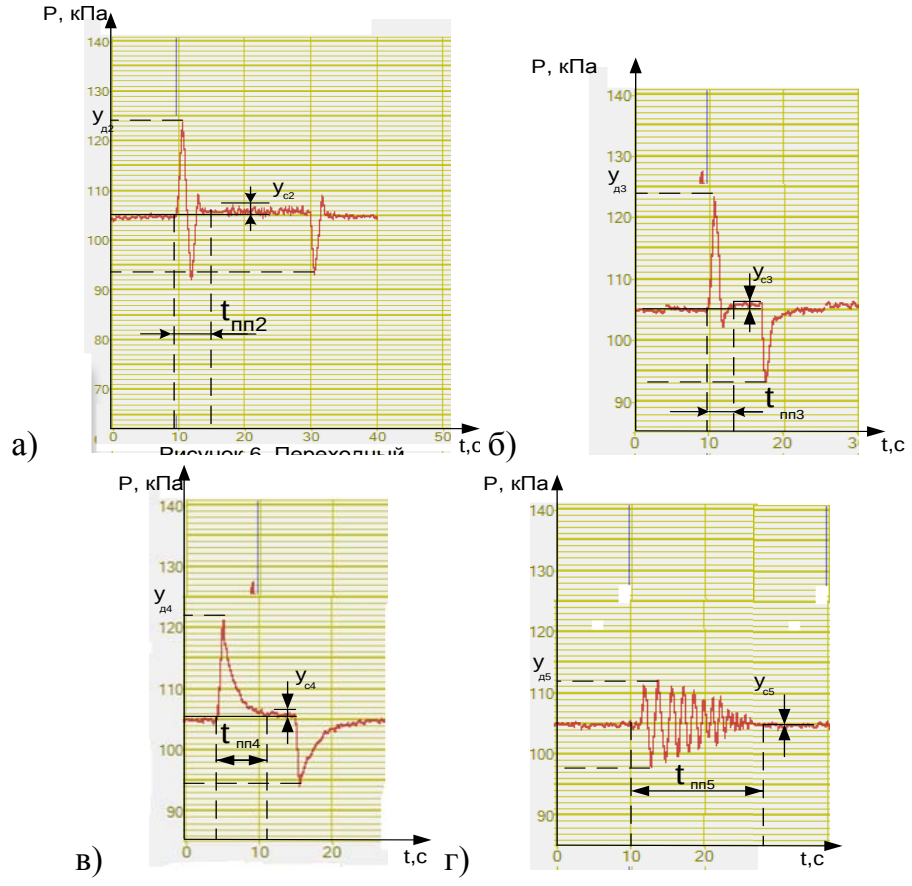


Рис. 8. Графики переходного процесса при вариации параметров ПИД-регулятора (а – $К_{П2}$= 4$К_{П1}$, б –$Т_{И3}$= 0,5$Т_{И1}$, в –$Т_{И4}$= 4$Т_{И1}$, г – $Т_{И5}$= 10$Т_{И1}$)

В итоге на практике были получены зависимости показателей качества от коэффициентов регулятора (табл. 1 и 2). Как и предполагалось в теории:

- увеличение пропорционального коэффициента приводит к увеличению быстродействия, но снижение устойчивости системы;
- увеличение дифференциальной составляющей также приводит к значительному увеличению быстродействия;
- дифференциальная составляющая призвана устранить затухающие колебания, возникающие при использовании только пропорциональной составляющей;
- интегральная составляющая приводит к повышению точности системы, но существенно повышает ее инерционность.

Таблица 1

Влияние интегральной составляющей на переходный процесс

Параметры	Время переходного процесса, с	Статическая ошибка, кПА	Динамическая ошибка, кПА	Количество колебаний до установившегося значения
Ти=0,25	4	2	27	2
Ти=1	7	1	22	1
Ти=2,5	19	0	13	10

Таблица 2

Влияние пропорционального канала на переходный процесс

Параметры	Время переходного процесса, с	Статическая ошибка, кПА	Динамическая ошибка, кПА	Количество колебаний до установившегося значения
Кп=1	3,4	2	27	1
Кп=2	5	5	25	3

Вывод

Применение современных систем автоматического управления и внедрение регулируемого электропривода зачастую приводит к более эффективному использованию насосных установок. Приводит к уменьшению износа гидромеханического и электротехнического оборудования, снижению вероятности возникновения аварийных ситуаций, благодаря плавному изменению режимов работы насосных установок.

Выполнение работы на лабораторном стенде, позволило реализовать и экспериментально проверить данные теоретические положения. Также возможности стенда позволяют провести такие важные экспериментальные исследования, как реализация систем поддержания уровня, температур.

Библиографический список

1. Денисенко, В.П. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации / В.П. Денисенко // СТА. – 2006. – № 4. – С. 66–74.
2. Денисенко, В.П. ПИД-регуляторы: вопросы реализации / В.П. Денисенко // СТА. – 2007. – № 4. – С. 86–97.
3. Мюллер, Ю. Регулирование на основе SIMATIC. Практическое пособие по регулированию на основе SIMATIC и SIMATIC PCS7 / Ю. Мюллер, В. Хунгер, Б.-М. Пфайфер // Siemens. – 2002. – 220 с.

К содержанию

УДК 621.3.018.782.3 + 621.314

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ИСТОЧНИКЕ ВТОРИЧНОГО ЭНЕРГОПИТАНИЯ

Н.М. Сапрунова, С.В. Киричук, А.И. Гребнев

Рассмотрены схемы замещения импульсного источника питания, у которого в качестве демпфирующей цепи применяются резистор и конденсатор. Для расчета используется операторный метод. Получено выражение тока в первичной обмотке выходного трансформатора для двух интервалов работы.

Ключевые слова: импульсный источник питания, транзистор, трансформатор, демпфирующая цепь, схема замещения, колебательный процесс.

Схема импульсного источника питания представлена на рис. 1. Транзистор управляется ШИМ-сигналом. Демпфирующая цепь состоит из элементов R_1, C_1, V_2. Когда транзистор открыт, тогда ток во вторичной обмотке не протекает.

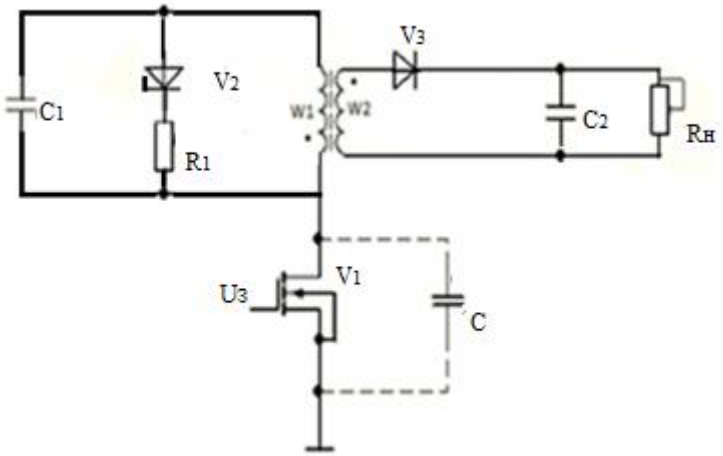


Рис. 1. Принципиальная схема импульсного источника питания

При выключении транзистора на первичной обмотке w_1 трансформатора T возникает ЭДС самоиндукции с полярностью, показанной на схеме. Во вторичной обмотке трансформатора появляется ток. Происходит заряд конденсатора C_2. Схема замещения для рассматриваемого интервала приведена на рис. 2.

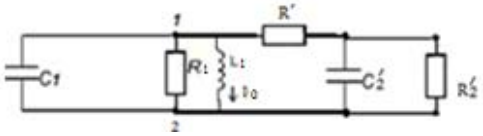


Рис. 2. Схема замещения

Емкость сток-исток транзистора не учитывается. Цепь вторичной обмотки приводится к первичной, где $R^{`}$ – приведенное сопротивление диода, $R_2^{`}$ – приведенное сопротивление нагрузки, $C_2^{`}$ – приведенная емкость сглаживающего фильтра.

В работе [2] рассмотрен переходный процесс для режима холостого хода цепи вторичной обмотки. Пусть вторичная обмотка подключается к нагрузке R_2-C_2. В схеме замещения пренебрегаем сопротивлением диода $R^{`}\approx 0$.

Значение тока первичной обмотки в операторной форме равно:

$$I_1(p) = \frac{I_0(p^2 + ap)}{p^2 + ap + d}, \quad (1)$$

где:

$$a = \frac{R_1 + R_2^{`}}{R_1 R_2^{`} C_2^{`} + R_1 R_2^{`} C_1}, \quad (2)$$

$$d = \frac{1}{L(C_1 + C_2^{`})}. \quad (3)$$

Пусть $d > a^2/4$, тогда переходный процесс носит колебательный характер. Решение уравнения (4) дает временную функцию тока:

$$i_1(t) = \frac{aI_0}{\omega} \cdot e^{-\frac{at}{2}} \cdot \sin \omega t + I_0 e^{-\frac{at}{2}} \cdot \left[\cos \omega t - \frac{a}{2\omega} \cdot \sin \omega t\right]. \quad (4)$$

Напряжение на параллельных ветвях схемы замещения (рис. 2) определяется выражением:

$$u_l(t) = -\omega L I_0 \cdot e^{-\frac{at}{2}} \cdot \sin \omega t + ahI_0 e^{-\frac{at}{2}} \cdot \left[\cos \omega t - \frac{a}{2\omega} \cdot \sin \omega t\right]. \quad (5)$$

Для известных параметров схемы замещения расчетным путем получен следующий характер переходного процесса в первичной обмотке трансформаторе (рис.3). Осциллограммы напряжения на первичной обмотке трансформатора приведены на рис. 4, 5 для двух значений времени работы транзистора.

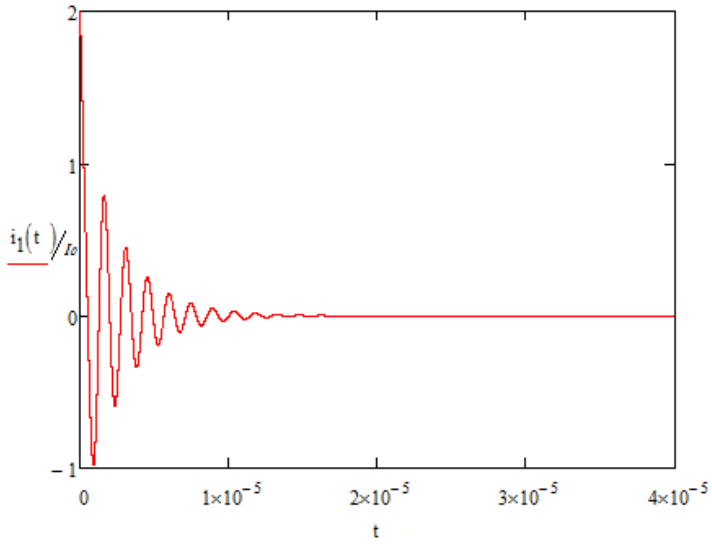


Рис. 3. Переходный процесс тока $i_1(t)$

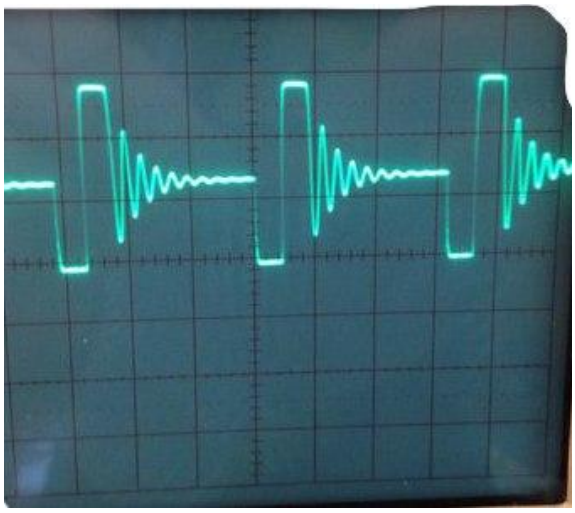


Рис. 4. Осциллограммы напряжения на первичной обмотке

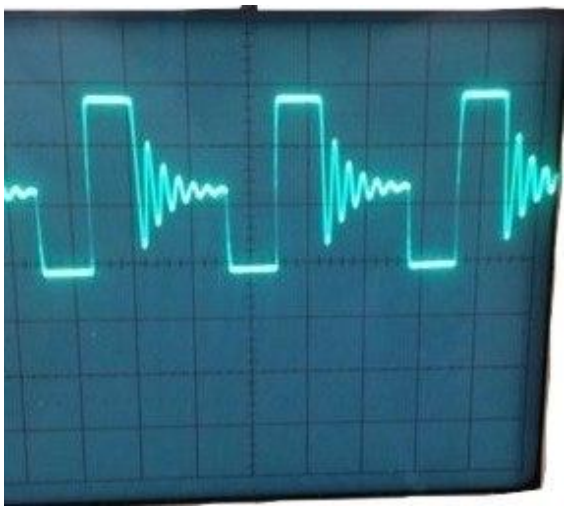


Рис. 5. Осциллограммы напряжения на первичной обмотке (масштаб напряжения – 5 В/см, масштаб времени – 5 мкс/см)

Итак, переходный процесс для тока и напряжения первичной обмотки трансформатора имеет колебательный характер с затуханием.

Библиографический список

1. Преобразовательная техника: учебное пособие к лабораторным работам / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, Н.М. Сапрунова, О.Г. Терещина. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – С. 101–102.

2. Сапрунова, Н.М. – Переходные процессы в импульсном источнике питания / Н.М. Сапрунова, А.И. Гребнев // Наука ЮУрГУ: секции технических наук. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2014. – С. 221–223.

К содержанию

УДК 621.1 + 697.1(470.55)

РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО МИКРОРАЙОНА РАЙОНА № 1 г. КОПЕЙСКА

Т.Б. Жиргалова

Рассматривается реконструкция системы теплоснабжения жилого микрорайона района № 1 г. Копейска с целью покрытия тепловых нагрузок в связи с увеличением числа жителей города и увеличением потребности теплоты на нужды отопления вентиляции и ГВС.

Ключевые слова: центральный тепловой пункт, теплосети.

В городе Копейск Челябинской области основная часть сетей централизованного теплоснабжения была построена около 50 лет назад, при этом длина сетей на один центральный тепловой пункт (ЦТП) достигала десятков километров. К утеплению же магистралей относились довольно халатно. Результат известен: потери тепла при транспортировке доходили до 60 %. Бурное жилищное строительство последнего времени ситуацию только усугубило – к изношенным сетям подключают все новые микрорайоны, при этом возможности котельной и ЦТП практически исчерпаны. Все это приводит к повышению аварийности и снижению качества оказываемых населению услуг.

В настоящее время жилые и производственные объекты города обеспечиваются теплом от районной котельной города Копейск. В котельной 5 котлов типа ПТВМ-30 (20 шт.), КВГМ-20 (1 шт.), ДКВр 20-13 (2 шт.), общей мощностью 25 Гкал/ч. В данной статье предложен вариант реконструкции системы теплоснабжения строящегося микрорайона района № 1 и существующих потребителей г. Копейска Челябинской области с целью покрытия тепловых нагрузок в связи с увеличением числа жителей города и увеличением потребности теплоты на нужды отопления вентиляции и ГВС, потребность в технологическом паре осталась неизменной.

Оборудование установленной на ЦТП-4 с мощностью 8 Гкал/ч, устарело и не справляется с возросшими нагрузками потребления воды на нужды отопления, вентиляции и ГВС. В ЦТП из оборудования установлено 2 сетевых насоса и клапаны для смешения воды, поступающей на горячее водоснабжение из подающей и обратной линий тепловой сети, и для автоматического поддержания заданной температуры смешанной воды. Поэтому ОАО «Челябоблкомунэнерго» было принято решение о строительстве новой ЦТП-4 на микрорайоне с мощностью 22 Гкал/ч, и магистральных тепловых сетей от существующих сетей районной котельной до проектируемого ЦТП, от ЦТП до тепловой камеры УТ5 и от ЦТП до существующей

ТК11. Прокладка трубопроводов тепловых сетей подземная в существующих непроходных железобетонных каналах типа КЛс 150-120. В ЦТП были выбраны: пластинчатые теплообменники типа НН № 1113-16/3-160-TKTL16 фирмы «Ридан» мощностью 11 Гкал/ч. (2 шт.); сетевые насосы типа BL 100/170-37/2 фирмы «Wilo» мощностью 37 кВт (4 шт.); подпиточные насосы типа MHI 405 3 фирмы «Wilo» мощностью 1.1 кВт (2 шт.); абонентские грязивики Ду400 и Ду300 серии 5.903-13; счетчик подпитки Ду50; бак запаса сырой исходной воды объемом 5 $м^3$ и установка пропорционального дозирования (бисульфита) с баком 50л и т.д. В новых строящихся зданиях микрорайона установили индивидуально-тепловые пункты, рис.1. В ИТП были выбраны: подпиточный насос типа MHIL-102 фирмы «Wilo» мощностью 133 Вт; циркуляционный насос на отопление принят сдвоенный насос TOP-S 40/7 фирмы «Wilo» мощностью 313 Вт; циркуляционный насос на ГВС принят TOP-Z 30/7 7 фирмы «Wilo» мощностью 117 Вт; мембранный расширительный бак объемом 200л; теплообменник для ГВС ТПР1-48/48 мощностью 0,326 Гкал/ч; теплообменник для отопления ТПР1-54/54 мощностью 0,35 Гкал/ч; грязевик ГТП серии ТС-569.00.000 и т.д.

По результатам расчета тепловых нагрузок по укрупненным показателям было определено, что для обеспечения теплом и горячей водой микрорайона требуется мощность 24,32 МВт. У котельной достаточно мощности, чтобы покрыть эту нагрузку.

До реконструкции основным теплоизоляционным материалом для прокладок в каналах являлось изделие на основе минеральной ваты, объемом 90 %. Цилиндры из минеральной и стеклянной ваты составляют не более 0,1 %. Применение такого способа прокладки и таких теплоизоляционных материалов превысили срок безаварийной службы и тепловые сети находятся в ветхом состоянии и нуждаются в ремонте [1]. Для уменьшения тепловых потерь и обеспечения требований техники безопасности предусмотрена тепловая изоляция поверхностей с температурой выше 450 °С. Для трубопроводов предусмотрена в качестве основного теплоизоляционного материала скорлупы пенополиуретана с покровным слоем из стеклопластика. Компенсация тепловых удлинений решена за счет самокомпенсации в углах поворота и на прямых участках за счет П-образных компенсаторов. Также было предусмотрено замена разрушенных при демонтаже плит перекрытия в размере 30 % и лотков в размере – 10 % от длины каналов; демонтаж существующих камер и неподвижных опор и монтаж новых. В камерах изоляция трубопроводов и арматуры предусмотрена матами и цилиндрами ROCKWOOL. Антикоррозионная защита предумотрена мастикой Вектор-1214 по грунту Вектор-1025.

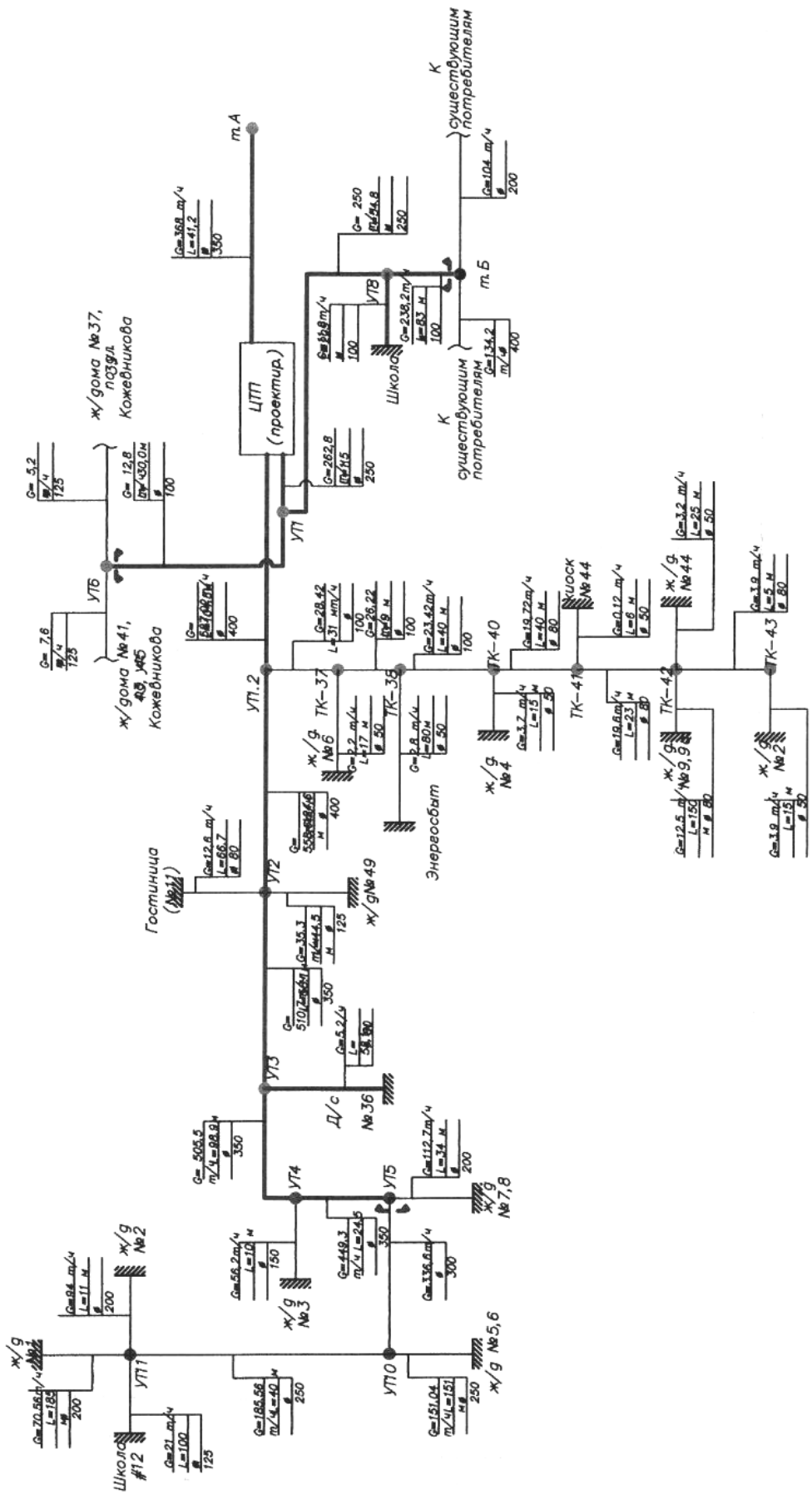


Схема тепловых сетей

Выводы

Проектируемый центральный тепловой пункт должен в полной мере обеспечить потребности в теплоте на нужды отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

За счет использования основного теплоизоляционного материала скорлупы пенополиуретана с покровным слоем из стеклопластика: экономия энергии; низкое водопоглощение теплоизоляционного слоя трубопровода (в отличие от других видов теплоизоляции для труб); высокая химическую стойкость ппу скорлуп; долговечность и износостойкость; высокая производительность - быстрый монтаж и быстрый доступ к поврежденному участку трубы в случае аварийной ситуации; сокращается время монтажа изоляции трубопроводов в 5–6 раз и значительно снижается срок ввода трубопровода в эксплуатацию; монтаж изоляции не зависит от погодных условий; возможность демонтажа в любое время года; значительное увеличение срока службы теплоизоляционного покрытия трубопровода.

Библиографический список

1. Бухин, В.Е. Индустриальные трубы с тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке для бесканальной прокладки тепловых сетей. Опыт производства, проектирования, строительства и эксплуатации / В.Е. Бухин // Трубопроводы и экология. – 2005. – № 3. – С. 11–16.

К содержанию

УДК 621.181

ВЫБОР ИСТОЧНИКА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БАЗЫ «СПЕЦТЕХНИКА» ТРАКТОРОЗАВОДСКОГО РАЙОНА г. ЧЕЛЯБИНСКА

Т.Б. Жиргалова

Изложено решение проблемы о необходимости строительства новой отопительной котельной для теплоснабжения зданий и сооружений производственной базы. В соответствии с необходимыми нагрузками, предлагается установка двух водогрейных автоматизированных котлов. Предложено вспомогательное оборудование. Рассмотрены вопросы автоматизации, защиты окружающей среды, экономики и безопасности жизнедеятельности обслуживающего персонала.

Ключевые слова: теплоснабжение, водогрейные котлы, отопительная котельная, теплопроизводительность.

В связи с увеличением объемов работ и, соответственно, расширением компании принято решение о строительстве нового административного здания и сооружений производственной базы.

Установленная теплопроизводительность котельной 1,6 МВт.

Расчетные климатические данные приняты по СНиП 23-01-99 для города Челябинска. Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления $t_0 = -34$ Средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{от} = -6,5$ Продолжительность отопительного периода – 218 дней.

Категория потребителей тепла по надежности теплоснабжения и отпуску тепла – вторая. Тепловая схема котельной предусматривается двухконтурная с установкой теплообменников, разделяющая работу котельной на два контура – внутренний и внешний. Теплоноситель для нужд отопления, вентиляции и горячего водоснабжения (внутренний контур) – горячая вода с параметрами $t_1 = 10$, $t_2 = 8$; $t_1 = 9$, $t_2 = 7$ (внешний контур). Схема теплоснабжения – закрытая.

Топливом для проектируемой котельной является природный газ, который должен соответствовать требованиям ГОСТ 5542-87. Теплота сгорания природного газа – 8000 ккал/нм^3, плотность – 0,6855 кг/м^3. Расход газа на каждый котлоагрегат – 95,55 нм^3/ч.

Газоснабжение предусматривается газопроводом среднего давления P<0,25 МПа.

В котельной предусмотрена установка двух водогрейных автоматизированных котлов типа «Wolf GKS-Eurotwin 800» фирмы «Wolf GmbH» Германия: теплопроизводительностью 1,0 МВт каждый с газовой горелкой

типа «P 71A M-MD.S.RU.A.0.40» фирмы «Cibital Unigas» Италия (прогрессивного исполнения). Для обеспечения защиты оборудования и трубопроводов от коррозийных повреждений и отложений накипи подпиточная вода для системы теплоснабжения должна соответствовать требованиям «Правилам устройства и безопасной эксплуатации паровых котлов с давлением пара не более 0.07 МПа, водогрейных котлов и водоподогревателей с температурой нагрева воды не свыше 338 К (115°С)».

Для циркуляции воды во внутреннем контуре установлены насосы:

«TP 100-70/4» фирмы «Grundfos» Германия.

Для подачи сетевой воды потребителю установлены насосы типа:

«TP 50-430/2» фирмы «Grundfos» Германия.

Для умягчения в котельной предусмотрена установка умягчения:

«HydroTech SSF 0618-5600 SEM».

Для химической деаэрации предусмотрен комплекс пропорционального дозирования. Дозирование осуществляется насосом, в зависимости от расхода воды на подпитку.

Выводы

Предусмотренные мероприятия в котельной в полной мере обеспечат потребность в теплоте на нужды отопления, вентиляции и ГВС. Котельная может работать в автоматическом режиме без постоянного обслуживающего персонала за счет наличия: тепломеханического контроля, автоматического регулирования, защиты и управления, автоматики безопасности комплекса котельной. При этом предусмотрен автоматизированный контроль и управление – расшифровка неисправностей и аварий на щите автоматизации котельной. Для формирования аварийных сигналов предусматривается передача аварийных сигналов на щит диспетчера, а также установка модема с возможностью передачи сигналов по радиоканалу на удаленный компьютер и мобильных телефон ответственному лицу.

Библиографический список

1. Копко, В.М. Теплоснабжение: курс лекций для студентов специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» высших учебных заведений / В.М. Копко. – М: Изд-во АСВ, 2012. – 336 с.

2. Инженерное обустройство территории: методичсекие указания / сост. П.В. Клюшкин, В.Н. Куренной, Е.В. Витько и др. – Ставрополь: АГРУС, 2007. – 60 с.

К содержанию

УДК 621.1+ 669.04

РЕКОНСТРУКЦИЯ КАМЕРНОЙ ПЕЧИ ЗП1 ОАО «УРАЛЬСКАЯ КУЗНИЦА» С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Т.Б. Жиргалова

Рассмотрен вопрос повышения энергоэффективности камерной печи ЗП-1 за счет ее реконструкции. Предложен способ модернизации печи путем замены горелок, огнеупорной кирпичной кладки и использования современных систем автоматики.

Ключевые слова: сплавы, штамповка, нагрев металла, камерные печи.

ОАО «Уральская кузница» г. Чебаркуль входит в число крупнейших в России производителей штамповок из качественных сталей, жаропрочных и титановых сплавов. Авиастроение, ракетно-космическая отрасль, тяжелое, транспортное и энергетическое машиностроение, автомобильная и тракторная промышленность, сельскохозяйственное машиностроение, производство дорожных и строительных машин, горнорудное и химическое машиностроение, производство подъемно-транспортных машин и другие отрасли широко применяют штамповки и заготовки Чебаркульского металлургического завода.

Широкая номенклатура обрабатываемых материалов, в том числе металла вакуумно-дугового, плазменного, индукционного переплава, позволяет заводу уже долгое время удерживать лидирующие позиции на мировом промышленном рынке.

Уникально то, что за 73 года работы освоено более 8500 различных штамповок, причем нагрев под ковку, штамповку производится в карусельных и камерных печах с автоматическим контролем и регулированием температуры.

Для обеспечения качественного нагрева металла, и с целью дальнейшего внедрения новых технологий и оборудования ОАО «Уральская кузница» проводит в настоящее время реконструкцию и модернизации термических, нагревательных газовых камерных печей, введенных в эксплуатацию в 1967 году.

В камерной газовой нагревательной печи 3П-1, предназначенной для нагрева заготовок из титана и легированных марок сталей под ковку, наметилась тенденция значительного увеличения расхода топлива на единицу выпускаемой продукции. Футеровка из-за морального износа приводит к повышенным теплопотерям печи.

Предлагается модернизация:

1) замена горелок с ГНП-6 на Regemat 350 позволит снизить расход топлива и воздуха;

2) замена огнеупорной кирпичной кладки на современные теплоизоляционные материалы – керамоволокнистые, микрогранульные, перлитовые материалы, высокопрочный, жароупорный армированный бетон;

3) использование эффективной автоматики регулирования и безопасности. (ОВЕН).

Выводы

Данная реконструкция позволит, в связи с применением нового типа горелок, получить снижение расхода топлива на печь и повысить КПД печи на 2–2,5 %. Применение высокоэффективных теплоизоляционных материалов значительно уменьшит теплопотери в окружающую среду на 5–7 %.

Библиографический список

1. Клименко, А.В. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / А.В. Клименко. – М.: МЭИ, 2011. – 424 с.

К содержанию

УДК 696.6

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ЗДАНИЙ

Л.Е. Лымбина

В статье представлены основные факторы, влияющие на энергопотери, и мероприятия по энергосбережению в зданиях. Приведены данные по экономии энергии и ресурсосбережению.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, энергоресурсы.

На современном этапе развития одним из приоритетных и актуальных направлений государственной политики во всех странах мира, в том числе и в Российской Федерации является энергоэффективность. Энергетическая эффективность – это показатель отношения эффекта использования энергетических ресурсов и их расхода, то есть это экономически целесообразное, оправданное и рациональное использование энергоресурсов при современном уровне развития энерготехнологий и соблюдении экологической безопасности.

В отличие от энергоэффективности, главным направлением энергосбережения является уменьшение энергопотребления.

По данным разных источников средний расход тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение на один квадратный метр площади в год в Российской Федерации составляет от 75 до 85 кг условного топлива, что превышает аналогичные показатели Европы 18–30 кг.у.т./м^2 в год почти в 3 раза.

Член-корр. РАН, профессор Клименко В.В., возглавляющий Научно-исследовательскую лабораторию глобальных проблем энергетики Московского энергетического института приводит следующие показатели расхода топлива на 1 человека:

Таблица

Показатели расхода топлива на 1 человека

Страны	Расход топлива на 1 человека, тонны условного топлива (т.у.т.) в год
Израиль	4
Германия	4
Канада	14
Россия	7,5
США	12
Швеция	6
В мире	2,5

Такая неравномерность, с одной стороны, зависит от климатических условий, длительности отопительного периода и доли населения, проживающей в областях, где наблюдается отрицательной среднегодовая температура, а с другой стороны – от уровня технико-экономического развития страны, размера и конфигурации ее территории, протяженности энергокоммуникаций.

Как известно именно Россия является самой холодной страной в мире.

По некоторым данным в России безвозвратно теряется до 40 % энергоресурсов, значительная их часть в строительном комплексе.

Поэтому на современном этапе развития одной из наиболее актуальных задач является поиск и создание энергосберегающих технологий и инженерных решений по созданию энергосберегающих зданий.

Например, в законопроекте от 06 июня 2012 г. «Об утверждении требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений», устанавливаются с момента принятия законопроекта для большей части территории РФ требования минимального сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций: 0,8 $м^2$·К/Вт и 1,0 $м^2$·К/Вт с 2016 г.

Известно, что одной из важных составляющих энергосбережения здания является его тепловая защита (теплоизоляция), которую почти невозможно улучшить в будущем. Применение современных теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях дает ощутимые результаты. Кроме этого, например, устройство вентилируемых наружных стен способствует повышению уровня тепловой защиты наружных стен.

Немаловажная роль отводится одному из наиболее эффективных способов обеспечения экономии энергии – применению энергосберегающего стекла в каждом стеклопакете для новых и реконструируемых зданий.

В СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий (актуализированная редакция) приводится табл. К.1 «Сопротивления теплопередаче центральной части стеклопакета (оценочные)» и рекомендации: комбинировать стекла с низкоэмиссионным покрытием с заполнением межстекольного пространства инертными газами, так как в этом случае достигается максимальный эффект от каждого мероприятия. Применение теплопоглощающего и теплоотражающего остекления. При реконструкции зданий целесообразно установка дополнительного (тройного) остекления. Кроме этого между стеклами можно дополнительно установить солнцезащитные жалюзи, а на стеклах теплопоглощающие и теплоотражающие пленки (селективные или полимерные). Например, установка штор из пленки ПВХ в межрамном пространстве окон дает снижение трансмиссионных потерь через оконные проемы до 30 %. В свою очередь, устройство вентилируемых окон также способствует энергосбережению за счет увеличения сопротивления теплопередачи, которое прямо пропорционально зависит от удельного расхода воздуха, проходящего через вентилируемое окно. Снижение потерь тепла с инфильтрующимся воздухом путем уплотнения оконных и дверных проемов достигает 22 %.

Другим мероприятием является устройство застекленных лоджий, что сокращает расход проникающего в зимний период холодного наружного воздуха, и где формируется собственный микроклимат: при этом увеличивается температура в лоджии, что приводит к снижению теплопотерь через наружные стены и остекление.

Проведение модернизации систем отопления и вентиляции, внедрение средств автоматизации, частотного регулирования, установка радиаторных термостатов, переход от центральных тепловых пунктов (ЦТП) к индивидуальным (ИТП), оснащение всех систем теплоснабжения приборами учета дает возможность значительной экономии тепловой энергии, улучшения качества и надежности теплоснабжения. По опубликованным данным годовая экономия тепловой энергии составляет 10–25 %.

Не стоит забывать о другой составляющей энергосбережения в зданиях – об экономии электрической энергии. Это применение автоматических выключателей в системах освещения, установка инфракрасных датчиков движения и присутствия, замена традиционных ламп накаливания на энергосберегающие, использование естественного и местного освещения.

К решениям, направленным на энергосбережение относятся и рекомендации по проектным работам. Важно уже на этапе проектирования серьезно подходить к вопросам архитектурно-планировочных решений – к выбору оптимальной формы зданий; выбору оптимальной ориентации зданий по сторонам света с учетом господствующего направления ветра в зимний период; максимальному остеклению южных фасадов зданий и минимальному остеклению северных.

Библиографический список

1. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – М.: Минрегион России, 2012.

2. Малявина, Е.Г. Теплопотери здания: Справочное пособие / Е.Г. Малявина. – 2-е изд., испр. – М.: Авок-Пресс, 2011.

К содержанию

УДК 621.18 + 621.311.22(574)

УВЕЛИЧЕНИЕ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КОСТАНАЙСКОЙ ТЭЦ ПУТЕМ УСТАНОВКИ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН

К.В. Осинцев, В.С. Лыксов

Предложен вариант реконструкции ТЭЦ г. Костанай Республики Казахстан с расширением котлотурбинного цеха и установкой теплофикационных турбин. Рассмотрен вариант монтажа дополнительных котельных агрегатов, генерирующих перегретый пар на нужды новых турбоустановок.

Ключевые слова: теплофикационная турбина, паровой котел, природный газ, экономический эффект, срок окупаемости.

Введение

Согласно Стратегии-2050 Республики Казахстан экономика в своем развитии ориентирована на рост производства, увеличение потребления сырья и топлива [1]. Одними из основных направлений генерации электричества в стране в ближайшей перспективе становятся атомная и гидро-, тепловая и частично возобновляемая энергетика [2]. Строительство атомной и гидроэлектростанции связано с экологическими предпроектными согласованиями, рисками длительных инвестиций. Внедрение ветро- и гелиоустановок, закупаемых в странах Европейского Союза, осложняется изменчивостью биржевых курсов валют, а также постоянной оплатой постгарантийного сервисного обслуживания. Наиболее оптимальным с точки зрения сроков окупаемости и положительного социального эффекта для населения становятся реконструкция или полная модернизация топливоиспользующего и теплоэлектровырабатывающего оборудования котельных и тепловых электрических станций.

1. Существующее состояние энергетического комплекса

Энергетика Северо-Казахстанской и Костанайской областей по составу своих электрогенерирующих мощностей дефицитна, то же относится и к производству теплоты для потребителей социального сектора. Нередки

случаи, когда в открытых системах теплоснабжения потери теплоносителя достигают 40 % и более. Станции вынуждены работать на пониженном температурном графике, а их пылесжигающее котельное и горелочное оборудование переведено на природный газ и мазут и требует постоянных ремонтов. Турбоустановки, рассчитанные изначально на производство пара промышленным потребителям, работают неэффективно. Данные обстоятельства требуют немедленного решения текущих вопросов по надежности при эксплуатации и составления планов по реконструкции, модернизации и развитию предприятий энергетической отрасли.

2. Постановка задачи исследования

Рассмотрим наиболее яркий пример станции, требующей технических, экономических и экологических преобразований, Костанайскую ТЭЦ установленной тепловой мощностью 400 МВт. Первые очереди паровых газомазутных котлов и турбогенераторов введены в эксплуатацию в 50-х годах прошлого столетия, рис. 1, 2.

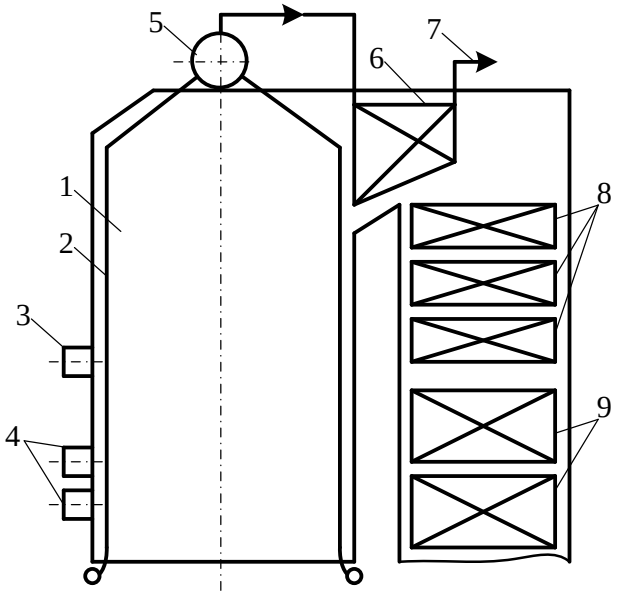


Рис. 1. Схема существующего котельного агрегата БМ-35: 1 – топка; 2 – экранные трубы; 3 – дополнительная горелка; 4 – основные горелки; 5 – барабан; 6 – пароперегреватель; 7 – пар на турбину; 8 – ступени экономайзера; 9 – ступени воздухоподогревателя

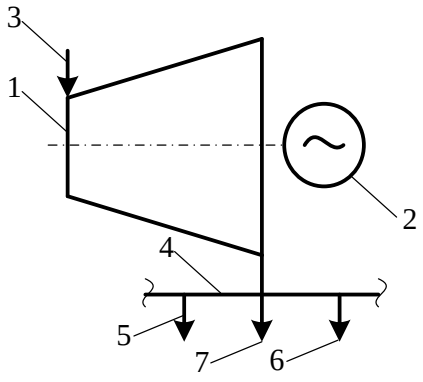


Рис. 2. Противодавленческая (редукционная) турбоустановка: 1 – турбина; 2 – электрогенератор; 3 – свежий пар; 4 – коллектор; 5, 6, 7 – редуцированный пар на подогрев сырой воды, деаэрацию, подогрев сетевой воды соответственно

Существующие котельные агрегаты БМ-35 (рис. 1) на сегодняшний день имеют низкий КПД и не соответствуют экологическим требованиям по выбросам NO_x и SO_x в атмосферу.

Установки генерации электричества представляют собой противодавленческие турбины, отдающие редуцированный пар на подогреватели сетевой воды, рис. 2.

В связи со стремительным строительством новых районов города в скором времени может возникнуть дефицит тепловой мощности на теплоисточниках города. Учитывая, что районы теплоснабжения не связаны друг с другом, можно сказать, что дефицит мощности вызовет замедление экономического развития города.

Необходимо расширение котлотурбинного цеха с установкой новых паровых газомазутных котлов большей мощности и теплофикационных турбоагрегатов, либо строительство новой ТЭЦ.

3. Вариант решения со строительством новой ТЭЦ

В соответствии с Постановлением Правительства Республики Казахстан от 3 ноября 2009 года № 1750 «О генеральном плане города Костаная Костанайской области» к 2020 году планируется строительство крупной ТЭЦ с установленной тепловой мощностью 430 МВт [3]. Расчетное топливо – дешевый бурый уголь Кушмурунского месторождения. Это позволит преодолеть дефицит электрической и тепловой мощности в городе.

Однако не стоит забывать об инвестиционной привлекательности проектов в сфере энергетики. Станция тепловой мощностью более 400 МВт потребует значительных разовых вложений денежных средств, хотя при этом срок окупаемости по сравнению с малыми генерирующими мощностями и котельными меньше пяти лет.

При условии строительства новой станции на территории старой с уже имеющими коммуникациями, газопроводами, тепловыми сетями сделает такой проект более привлекательным для инвесторов.

Строительство новой ТЭЦ на территории существующей станции нецелесообразно из-за малых площадей промышленной площадки. Единственным вариантом остается – расширение Костанайской ТЭЦ с увеличением производственных мощностей.

4. Вариант решения с расширением Костанайской ТЭЦ

Расширение Костанайской ТЭЦ позволит увеличить электрическую мощность с 12 МВт до 36 МВт и создать резерв в тепловой мощности источника. Одним из технических предложений может быть установка двух турбоагрегатов Т-12-35/1,2. Паропроизводительность котлов ТЭЦ при этом возрастет с 210 т/ч до 365 т/ч. Увеличение производства перегретого пара достигается монтажом котельных агрегатов БКЗ-75-39.

Новые парогенераторы по рис. 3 и теплофикационные турбины по рис. 4 решат вопрос дефицита электрической и тепловой энергии.

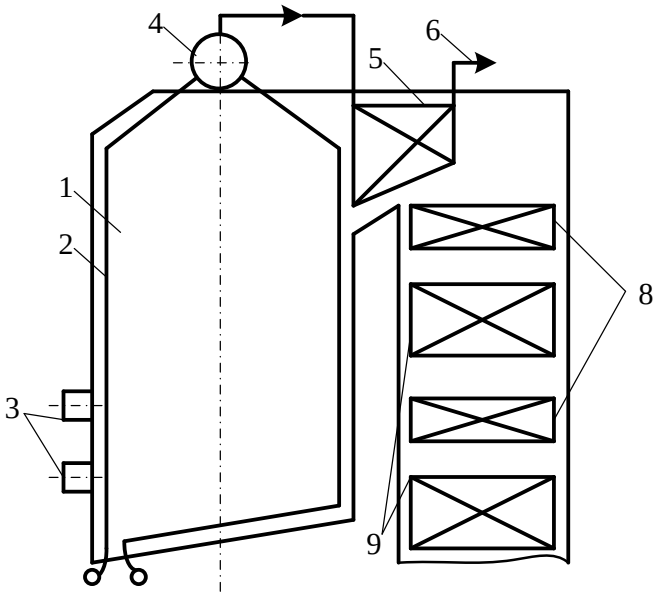


Рис. 3. Схема нового котельного агрегата БКЗ-75-39: 1 – топка; 2 – экранные трубы; 3 – горелки; 4 – барабан; 5 – пароперегреватель; 6 – пар на турбину; 7 – ступени экономайзера; 8 – ступени воздухоподогревателя

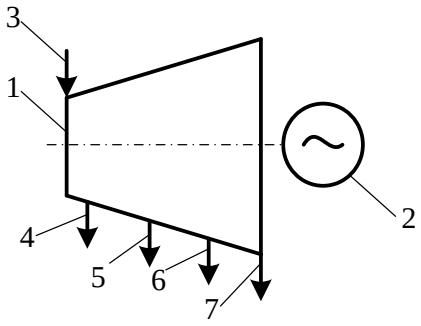


Рис. 4. Противодавленческая (редукционная) турбоустановка: 1 – турбина; 2 – электрогенератор; 3 – свежий пар; 4 – отбор на ПВД; 5 – регулируемый отбор на деаэрацию и сетевой подогреватель; 6 – отбор на ПНД; 7 – отработавший пар

Выводы

1. Единственным решением для развивающейся экономики Республики Казахстан и топливно-энергетического комплекса в частности на ближайшие годы будет повышение эффективности работы топливоиспользующего и генерирующего оборудования тепловых электрических станций с перспективой строительства мощных пылеугольных энергоблоков, работающих на местном угле.

2. Предложен вариант расширения Костанайской ТЭЦ за счет установки котлов БКЗ-75-39 и теплофикационных турбин, который незамедлительно решит проблему энергодефицита а регионе.

3. Проведение мероприятия по п.2 должно сопровождаться решением вопросов повышения надежности работы существующего оборудования Костанайской ТЭЦ, переходом к закрытой системе теплоснабжения города и промышленных потребителей, повышением температурного графика, заменой трубопроводов тепловых сетей и применением современных энергосберегающих технологий.

Библиографический список

1. Казахстанский путь – 2050. Послание Главы государства Нурсултана Назарбаева, Астана, утв. Президентом Республики Казахстан 17.01.2014.

2. Стратегический план развития Республики Казахстан, утв. Указом № 922 Президента Республики Казахстан 01.02.2010.

3. Постановление Правительства Республики Казахстан от 03.11.2009 № 1750 «О генеральном плане города Костаная Костанайской области».

К содержанию

УДК 621.181 + 621.311.22(574) + 662.92

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ СЖИГАНИЯ ЭКИБАЗСТУЗСКОГО УГЛЯ НА ТЭЦ-2 г. ПЕТРОПАВЛОВСК

А.Г. Реш

Проведена оценка эффективности работы котла по результатам режимно-наладочных работ с составлением режимной карты, проведение гарантийных испытаний с подтверждением гарантийных показателей и разработке предложений по оптимизации топочного процесса с позиций его экономичности, надежности и снижения выбросов NOx. Для достижения поставленной цели проведены режимно-наладочные испытания котла и пылесистем. По результатам работы составлена режимная карта и разработаны предложения по оптимизации топочного процесса с позиций его экономичности и снижения выбросов NOx.

Ключевые слова: топка, котел, горелка, твердое топливо, система сжигания.

Введение

Объектом исследований являются топочно-горелочное устройство вновь смонтированного котла БКЗ-270-9,8-540КТ ст. № 8 Петропавловской ТЭЦ-2 АО «Севказэнерго» и режимы сжигания в нем экибастузского угля марки КСН в соответствии с планами развития энергетики [1–3].

На ТЭЦ-2 АО «Севказэнерго» установлены двенадцать котлов. Котлы ст. № 1–5 типа ТП–46, котел № 6–7, – реконструированы на базе котла типа БКЗ-220-9,8-540 КТ с повышением паропроизводительности до 270 т/ч, вновь установленный котел № 8 типа БКЗ-270-9,8-540 КТ – на котором проводились испытания [4], и котлы № 9–12 типа БКЗ-220-9,8-540 КТ.

Характеристика оборудования

Котлоагрегат ст. № 8 (БКЗ-270-9,8-540КТ), однобарабанный с естественной циркуляцией, однокорпусный с П-образной компоновкой газоходов (рис. 1, 2), имеет следующие основные параметры:

– номинальная паропроизводительность 270 т/ч;

– давление пара в барабане 112,7 кгс/см^2;

– температура острого пара 540 °С;
– температура питательной воды 215 °С;
– температура горячего воздуха 360 °С.

Котел рассчитан на сжигание экибастузского угля марки КСН со следующими средними основными показателями качества: W_t^r= 5,4 %; A^d =39,5 %; Q_i^r = 4150 ккал/кг.

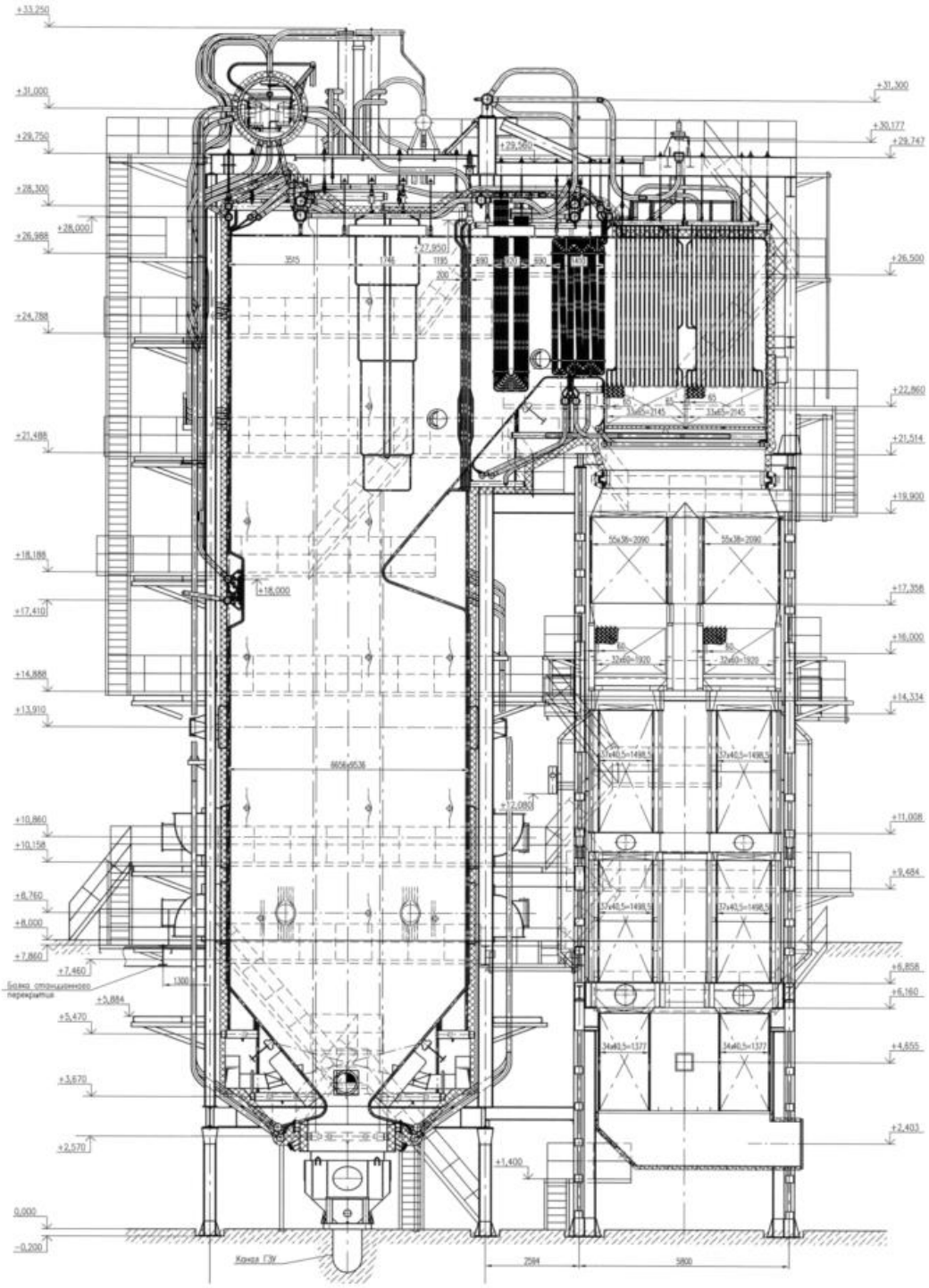


Рис. 1. Продольный разрез котла БКЗ-270 ст. № 8 Петропавловской ТЭЦ-2

Топочная камера котла с твердым шлакоудалением, призматическая, открытого типа, объемом 1150 м^3, сечением 6656×9536 мм, полностью экранирована вертикальными газоплотными панелями, состоит из труб диаметром 60×5 мм, из стали 20 с вваркой полосы 20×5 мм из стали 20.

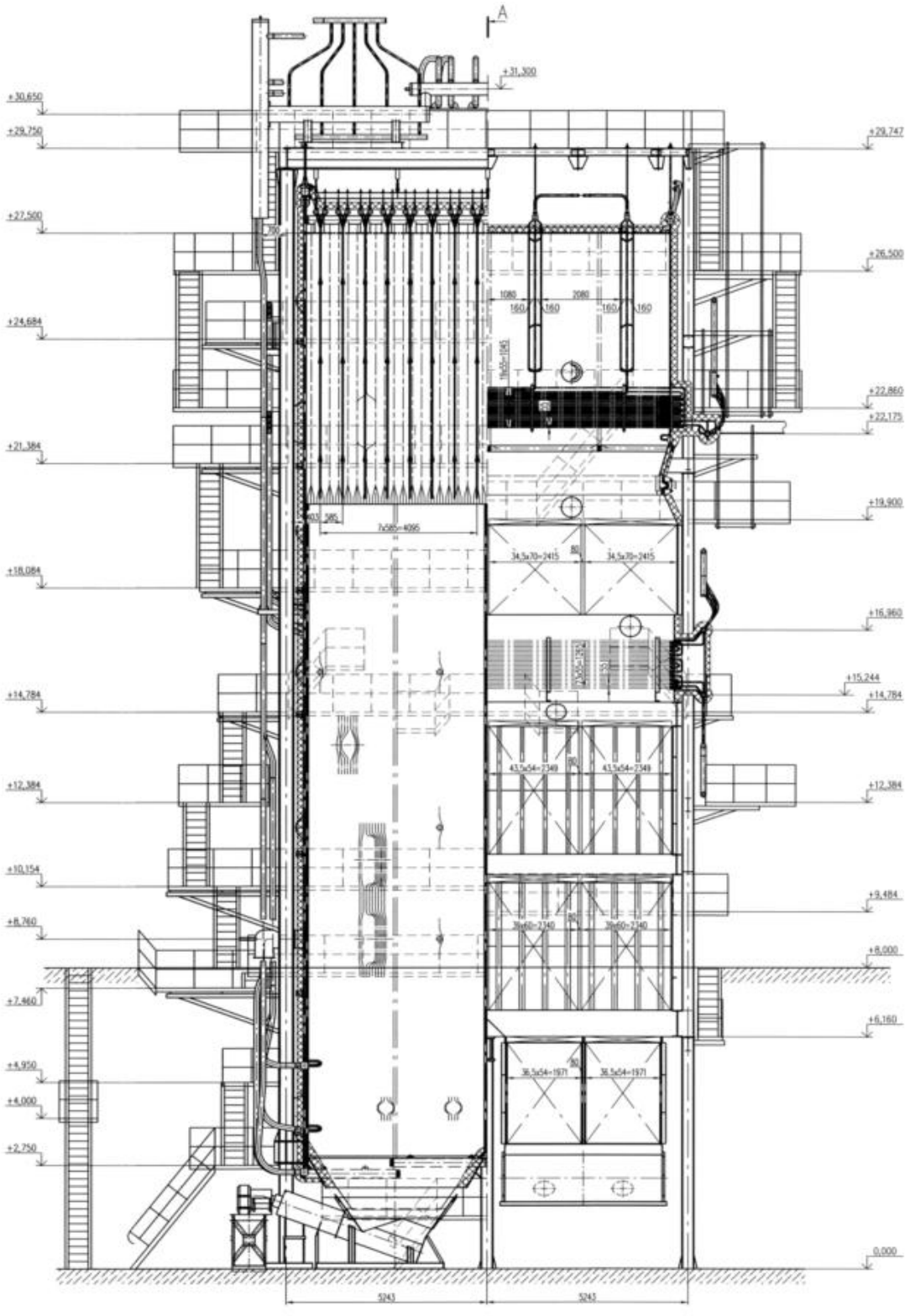


Рис. 2. Поперечный разрез котла БКЗ-270 ст. № 8 Петропавловской ТЭЦ-2

2. Результаты испытаний

Результаты режимно-наладочных испытаний подтверждают выдерживание всех расчетных параметров котла ст. № 8 с обеспечением КПД котла выше расчетного и концентрации NO_x в выбросах, не выше нормативного значения (470 мг/нм^3 при α=1,4) во всем эксплуатационном диапазоне нагрузок.

Фронтовой и задний экраны в нижней части образуют скаты холодной воронки с углом наклона к горизонтали 50°. В верхней части топки трубы заднего экрана образуют аэродинамический выступ. Боковые экраны имеют плоскую конструкцию. Топка оснащена 8 прямоточными горелками. На каждой боковой стене топки на уровне основных горелок нижнего яруса расположено по две мазутные горелки, в которые встроены направляющие трубы для установки форсунок и запальников. Пароперегреватель котла по характеру восприятия тепла радиационно-конвективного типа.

Радиационную часть составляют панели, экранирующие верхнюю часть фронтовой стены топки, потолок топки, горизонтальный газоход и верхнюю часть опускного газохода.

Полурадиационная часть представлена ширмовым пароперегревателем, расположенным на выходе из топки.

Особое внимание в ходе исследований уделялось измерениям концентрации оксидов азота уходящих газов. Показано, что содержание вредных веществ в дымовых газах соответствует предельно-допустимым концентрациям в приземном слое воздуха.

Выводы

1. Проведены испытания котла СТ № 8 Петропавловской ТЭЦ-2 с новой системой сжигания топлива

2. В ходе наладочных работ установлено, что эффективность сжигания экибастузского угля с модернизированным горелочным устройством выше, чем с исходным заводским.

3. Улучшены экологические показатели работы котла.

Библиографический список

1. Казахстанский путь – 2050. Послание Главы государства Нурсултана Назарбаева, Астана, утв. Президентом Республики Казахстан 17.01.2014.

2. Стратегический план развития Республики Казахстан, утв. Указом № 922 Президента Республики Казахстан 01.02.2010.

3. Постановление Правительства Республики Казахстан от 03.11.2009 № 1750 «О генеральном плане города Костаная Костанайской области».

4. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). – 3-е изд., доп., перераб. – Издательство: ЦКТИ-ВТИ,1998. –256 с.

К содержанию

УДК 621.1.016 + 621.036

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОДНОКРАТНОГО НАГРЕВА К ОЦЕНКЕ АККУМУЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Е.В. Торопов

В работе представлены результаты разработки методики оценки аккумуляционных свойств элементов различной формы, применяемых в ограждении и теплообменных устройствах промышленных агрегатов. Учтено влияние теплофизических свойств материала и теплового режима работы элементов агрегатов. В обобщенной форме представлены расчетные зависимости для определения основных показателей тепловой работы элементов в составе теплового агрегата. Определены условия наступления регулярного режима в зависимости от термической массивности элементов.

Ключевые слова: теплообмен, аккумуляция, регулярный режим.

Аккумуляционные процессы используются в различных теплообменниках переменного режима работы регенеративного типа, эти процессы также сопутствуют теплообменным агрегатам непрерывного действия при переменном режиме работы. Независимо от направленности влияния процесса аккумуляции на тепловую работу агрегатов необходимо при конструировании и эксплуатации этих агрегатов определять количество тепловой энергии, участвующей в тепловой работе. Для определения аккумуляционных свойств элементов, применяемых в работе тепловых агрегатов, обычно применяют коэффициент массивности [1, 4], учитывающий не только теплофизические свойства материала элемента, но и продолжительности периодов нагрева элемента и его охлаждения, но сам расчет даже в сокращенном варианте требует применения ЭВМ.

Для определения аккумуляционных свойств агрегатов непрерывного действия, но работающих при переменном режиме, рекомендуются приближенные решения [4, 5], основанные на результатах В.Ф. Ратникова и Д.В. Будрина, и упрощенные варианты [6]. Ниже излагается методика оценки аккумуляционных свойств элементов различной формы для элементов, участвующих в процессе теплообмена, основанная на показателях однократного нагрева элемента. Для получения адекватных оценок необходимо соблюдать тождественность теплофизических свойств и идентичность показателей теплового режима для рассматриваемого элемента и промышленного агрегата.

В работах [2, 5] отмечены три способа определения расхода теплоты в процессе нагрева тел различной формы и теплофизических свойств.

В общем случае при применении закона Фурье расход теплоты определяется интегрированием температурной функции t_n по поверхности элемента и по времени процесса нагрева τ. При известной температуре по объему элемента достаточно интегрирования по объему; при известной интенсивности подвода теплоты α ($Вт/м^2 \cdot К$) возможен учет температуры окружающей среды. Для одномерных задач температурное поле является функцией только одной координаты η и времени τ, тогда средняя по объему элемента температура $t_{об}^{ср}$ равна:

$$t_{об}^{ср}(\tau) = \frac{\gamma}{\eta^{\gamma}} \int_{\eta=0}^{\eta=\eta_0} \eta^{\gamma-1} t(\eta,\tau) d\eta. \qquad (1)$$

Температурная функция под знаком интеграла определяется дифференциальным уравнением теплопроводности Фурье:

$$\frac{\partial t(\eta,\tau)}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{\rho c}\left[\frac{\partial^2 t(\eta,\tau)}{\partial \eta^2} + \frac{\gamma-1}{\eta}\frac{\partial t(\eta,\tau)}{\partial \eta}\right]. \qquad (2)$$

В приведенных зависимостях фактор формы $\gamma = 1$ для пластины, $\gamma = 2$ для цилиндра и $\gamma = 3$ для шара; λ, ρ, c – теплопроводность, плотность и теплоемкость материала элемента в согласованной системе единиц. Для получения конкретных температурных зависимостей необходимо к уравнению (2) присоединить условия однозначности – геометрические, теплофизические, начальные и граничные, что позволит решить задачу методом разделения переменных. Решение в безразмерных числах подобия имеет вид:

$$\Theta = \sum_{i=1}^{\infty} D_i C_i \exp\left(-\mu_i^2 Fo\right). \qquad (3)$$

Здесь $\Theta=(t_0 - t_{\eta,\tau})/(t_0 - t_{нач})$ – безразмерная температура (температурный фактор) при нагреве элемента от начальной температуры $t_{нач}$ до температуры $t_{\eta,\tau}$ при температуре окружающей среды t_0; μ_i – корни характеристических уравнений, то есть собственные числа краевой задачи; $Fo = \lambda\tau/\rho c$ – число Фурье – безразмерное время процесса нагрева. Параметр D_i отражает влияние на динамику нагрева формы элемента и числа $Bi = \alpha\eta/\lambda$, а также связанных с Bi посредством характеристических уравнений собственных чисел μ_i. Параметр C_i отражает влияние формы элемента, числа Bi и безразмерной координаты рассматриваемой точки $H = \eta/\eta_0$; расчетные формулы для определения D_i и C_i сведены в таблицу 1. В зависимостях табл., кроме известных тригонометрических функций, также применены табличные функции Бесселя первого рода нулевого порядка J_0 и первого порядка J_1 соответствующих аргументов.

Таблица

Значение основных параметров для решения задачи
об аккумуляции теплоты элементами насадки трех форм

Параметры	Пластина, $\eta \equiv x$, $\mu_i = Bi \cdot ctg\mu_i$	Цилиндр, $\eta \equiv r$, $\mu_i = Bi \cdot J_0(\mu_i)/J_1(\mu_i)$	Шар, $\eta \equiv r$, $\mu_i = (1-Bi) \cdot tg\mu_i$
Величина D_i	$2sin\mu_i/(\mu_i + sin\mu_i cos\mu_i)$	$2J_1(\mu_i)/\mu_i[J_0^2(\mu_i)+J_1^2(\mu_i)]$	$2(sin\mu_i - \mu_i cos\mu_i)/(\mu_i - sin\mu_i cos\mu_i)$
Величина C_i	$cos(\mu_i X)$, где $X = x/x_0$	$J_0(\mu_i R)$, где $R = r/r_0$	$sin(\mu_i R)/\mu_i R$
Величина $C^{cp}{}_i$	$sin(\mu_i)/\mu_i$	$2J_1(\mu_i)/\mu_i$	$3Bi/\mu_i$
$\theta_{нач}^{пов}$ при $\eta=1$	$(\mu_1 + sin\mu_1 cos\mu_1)/2sin\mu_1 cos\mu_1$	$\mu_1[J_0^2(\mu_1)+J_1^2(\mu_1)]/[2J_1(\mu_1) \cdot J_0(\mu_1)]$	$\mu_1(\mu_1 - sin\mu_1 cos\mu_1)/2sin\mu_1(sin\mu_1 - \mu_1 cos\mu_1)$
$\theta_{нач}^{ось}$ при $\eta=0$	$(\mu_1 + sin\mu_1 cos\mu_1)/2sin\mu_1$	$\mu_1[J_0^2(\mu_1)+J_1^2(\mu_1)]/2J_1(\mu_1)$	$(\mu_1 - sin\mu_1 cos\mu_1)/2(sin\mu_1 - \mu_1 cos\mu_1)$
D_i и μ_i при $Bi \geq 100$	$\mu_i = (i - 0{,}5)\pi$; $D_i = 4(-1)^{i+1}/[\pi(2i-1)]$	$\mu_i = BiJ_0(\mu_i)/J_1(\mu_i)$; $D_i = 2/[\mu_i J_1(\mu_i)]$	$\mu_i = i\pi$; $D_i = 2(-1)^{i+1}$
Bi_p при m	$Ho \cdot tg(Ho)$	$HoJ_1(Ho)/J_0(Ho)$	$1 - Ho \cdot ctg(Ho)$

Сходимость ряда (3), а, следовательно, и число слагаемых при заданной точности расчета, определяется формой элемента, заданными условиями однозначности и числом Fo. Обычно на практике принимается, что при $Fo \geq Fo_p$ можно ограничиться только первым слагаемым ряда (3). Для этих условий

$$\Theta_1 = A_1 \exp\left(-\mu_1^2 Fo\right), \tag{4}$$

$$\Theta_{cp1} = A_1^{cp} \exp\left(-\mu_1^2 Fo\right), \tag{5}$$

где $A_1 = D_1 \cdot C_1$; $A_1^{cp} = D_1 \cdot C_1^{cp}$.

При этом относительное количество теплоты, аккумулированное элементом, определяется по формуле:

$$Q_{отн} = \left(1 - \Theta_{cp1}\right), \tag{6}$$

где $Q_{отн} = Q_{акк}/Q_{полн}$.

Если в зависимости (3) при $i = 1$ выделить начальный $\theta_{нач} = t_0 - t_{нач}$ и текущий $\theta_1 = t_0 - t_{\eta,\tau}$ температурные напоры, то при учете только первого слагаемого суммы можно определить:

$$\theta_1 = A_1 \cdot \theta_{нач} \exp\left(-\mu_1^2 Fo\right), \tag{7}$$

и логарифмированием выделить постоянную часть и часть, зависящую от времени:

$$\ln\theta_1 = -m\tau + \ln A_1\theta_{нач} = -m\tau + const, \tag{8}$$

то, продифференцировав (8) по времени, можно определить m – темп нагрева:

$$\frac{\partial \ln \theta_1}{\partial \tau} = -m = \frac{1}{\theta_1}\frac{\partial \theta_1}{\partial \tau}. \quad (9)$$

Темп нагрева, или темп изменения температуры, таким образом, является относительной скоростью снижения температурного напора от начального значения $\theta_{нач}$ к текущему значению θ_1, определяемому по зависимости (6). Причем температурный напор как разность температур между греющей средой и какой-либо областью нагреваемого элемента можно конкретизировать либо относительно поверхности элемента, либо относительно его оси. Следует отметить, что индекс «1» в зависимостях (4)–(8) соответствует первому слагаемому ряда (3), поэтому эти зависимости можно применить к любой области элемента. Область существования этих решений называют областью регулярного режима и обычно наступление этого режима определяют по значению числа $Fo \geq Fo_p$.

Критическое значение числа Фурье Fo_p обычно в научно-технической практике принимают постоянным для тел разных канонических форм, но в то же время отмечается, что на Fo_p оказывает влияние термическая массивность тел, то есть число Bi [2].

В работе [3] предложено определять связь между темпом нагрева в регулярном режиме m и коэффициентом температуропроводности a не по коэффициенту формы, а по соотношениям, связывающим Bi и Fo через число гомохронности $Ho=(m\eta/a)^{0,5}=(m\tau/Fo)^{0,5}$. Число Ho является не параметром, а аргументом рассматриваемой задачи и характеризует сопоставимость различных отрезков времени по температурным полям, полученным в результате нагрева тел различной формы. Это число, по мнению автора [3], определяет правила выбора сходственных моментов времени при адаптации температурных полей в регулярном режиме нагрева с темпом m и позволяет связать влияние чисел массивности Bi_p с критическим числом Fo_p, что отражено последней строкой табл. Однако зависимости табл. в этой части характеризуются применением трансцендентных уравнений, которые не решаются простой подстановкой исходных данных, а применение численных или графических методов приводит к появлению дополнительного ряда с медленно сходящейся суммой. Кроме того, введение по сути дела дополнительного числа подобия $(m\tau)^{0,5}$ значительно усложняет задачу определения связи чисел Био и Фурье.

В рамках методики однократного нагрева представляется рациональным разработать способ численного определения зависимости $Fo_p = f(Bi_p)$ для условий регулярного режима, исходя из заданной точности расчета. Определив заданную точность в 0,001 или 0,1 %, это условие можно записать в виде $0{,}001\theta_1 \geq \Sigma\theta_i$, где i = 2, 3…, или в развернутом виде:

$$A_1 \cos(\mu_1 X) \exp\left(-\mu_1^2 Fo_p\right) \geq 10^3 \cdot \sum_{i=2,3\ldots} A_i \cos(\mu_i X) \exp\left(-\mu_i^2 Fo_p\right). \qquad (10)$$

Упростить выражение (10) до уровня $Fo_p = f(Bi_p)$ не удается, поэтому рационально применить численный анализ, задав в (10) Bi_p = 0,2…50, при соответствующих справочных значениях μ. Такой анализ показал, что при малых значениях Bi_p при определении среднемассовой температуры безграничной пластины число Fo_p возрастает до значений Fo_p = 0,273 при $Bi_p \approx 4{,}0$, а затем плавно снижается до Fo_p = 0,210 при $Bi_p \geq 50$; этой зависимости отвечает следующее соотношение:

$$Fo_p = 0{,}309 Bi^{0{,}8495} \cdot exp\left(-0{,}3621 Bi_p\right). \qquad (11)$$

При определении границ регулярного режима по температуре поверхности, центра или средней по сечению пластины, а также по аналогичным температурам цилиндра бесконечной длины или шара, необходимо по разработанной методике определить соответствующие аппроксимационные зависимости.

Предлагается следующая методика определения количества теплоты, аккумулированной элементом любой формы, то есть теплоусвоения, и ее практического применения. Производится расчет определяющих чисел подобия Bi и Fo и Bi_p и Fo_p для реальных значений геометрических и теплофизических свойств элементов; по полученным числам подобия с помощью зависимости (6) для элементов различной формы определяется относительное количество аккумулированной теплоты $Q_{отн}$. Точность полученного решения определяется по критическим значениям чисел массивности и времени (11).

Так как полученное значение $Q_{отн} = Q_{акк}/Q_{полн}$ составляет долю от полного количества теплоты, которое было бы аккумулировано при нагреве элемента до температуры греющего теплоносителя, то есть от $t_{нач}$ до t_0, то для получения $Q_{акк}$ необходимо рассчитанное значение $Q_{отн}$ умножить на $Q_{полн} = MC_m(t_0 - t_{нач})$, где M – полная масса элемента, *кг*, C_m – массовая теплоемкость материала элемента, *кДж/кг·К*. Это также позволяет при известном энергетическом КПД процесса нагрева $\eta_{эн}$ определить требуемый для нагрева подвод энергии $Q_{тр} = Q_{акк}/\eta_{эн}$, *кДж,* а при известном времени процесса нагрева $\tau = \eta^2 Fo/a$, *сек,* и мощность подводимой энергии, $P_э = Q_{тр}/\tau$, *кВт*. Кроме того, эта методика позволяет достаточно доступными методами выбрать энергосберегающий вариант ограждения теплового агрегата при известных параметрах внешнего теплообмена и теплофизических свойствах материала элемента.

Выводы

Разработанная методика оценки аккумуляционных свойств элементов тепловых агрегатов позволяет производить выбор материалов ограждения и утилизационных устройств с достаточной достоверностью.

Библиографический список

1. Шкляр, Ф.Р. Доменные воздухонагреватели (конструкции, теория, режимы работы) / Ф.Р. Шкляр, В.М. Малкин, С.П. Каштанова, В.Л. Советкин. – М.: Металлургия, 1982. – 176 с.
2. Лыков, А.В. Тепломассообмен: Справочник / А.В.Лыков. – М: Энергия, 1978. – 480 с.
3. Кутателадзе, С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: Справочное пособие / С.С. Кутателадзе. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.
4. Телегин, А.С. Тепло – массоперенос: Учебник для вузов / А.С. Телегин, В.С. Швыдкий, Ю.Г. Ярошенко. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 455 с.
5. Швыдкий, В.С. Математические методы теплофизики / В.С. Швыдкий, М.Г. Ладыгичев, В.С. Шаврин. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 232 с.
6. Торопов, Е.В. Влияние теплофизических свойств огнеупорного материала на эффективность теплообмена в регенеративной насадке / Е.В. Торопов, Л.Е. Лымбина, Д.К. Волкинд // Тр. Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – С. 447–452.

К содержанию

УДК 536.24 + 669.162.23

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В НАСАДКАХ ДОМЕННЫХ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

В.Ю. Шашкин

Рассмотрены варианты интенсификации конвективного теплообмена в каналах насадок доменных воздухонагревателей.

Ключевые слова: регенератор, конвективный теплообмен, насадка, каналы.

Важнейшим показателем совершенства высокотемпературного регенеративного теплообменного аппарата, является энергетическая (теплогидродинамическая) эффективность профиля рабочей поверхности каналов насадки, по которым движется рабочая среда. Энергетическая эффективность формы поверхности каналов, в конечном счете, определяет общие размеры поверхности теплопередачи в аппарате при заданной тепловой нагрузке, температурных и гидромеханических условиях его работы.

Существующие конструкции, применяемых в регенеративных воздухонагревателях, насадок и типы каналообразующих элементов определяют особенности при выработке наиболее рациональной формы канала насадки и путей интенсификации теплообмена. Насадка, собранная из отдельных элементов, должна выдерживать термические напряжения, не допускать

сколов и износа, быть технологичной при транспортировке и монтаже, а также допускать простые операции при изготовлении элементов в огнеупорном производстве.

На сегодняшний день существует несколько вариантов выполнения каналообразующих элементов, накладывающих определенные ограничения на форму каналов насадки: насадки с кирпичными каналообразующими элементами, насадки блочного типа, насадки с насыпными элементами, комбинированные виды насадок.

Широкое применение в насадках воздухонагревателей нашли каналы с гладкими стенками как квадратного, так и круглого сечения. К достоинствам каналов этого вида можно отнести простоту изготовления, наличие хорошо разработанных методов расчета теплообмена и гидравлических сопротивлений, а также невысокие значения коэффициента гидравлического сопротивления, характерные для каналов с гладкими стенками. Но эти каналы обеспечивают невысокие коэффициенты теплоотдачи. Температура нагрева дутья повышается в основном за счет увеличения поверхности нагрева насадки, это обусловливает значительные геометрические размеры данных аппаратов, при этом возрастает стоимость их сооружения и ремонта.

Уменьшение геометрических размеров насадки имеющей каналы с гладкими стенками возможно за счет уменьшения диаметра каналов насадки и создания развитой поверхности теплообмена. Обычно развитие поверхности достигалось за счет создания каналов с частыми вертикальными канавками, установкой в каналах вертикальных ребер, усложнением форм насадочного огнеупора, применением профилированных каналов с сечением типа звездочка, других многогранных сечений. В данных каналах площадь боковой поверхности в 2–4 раза больше, чем площадь боковой поверхности круглых каналов с тем же живым сечением. Но столь значительное увеличение поверхности теплообмена не сопровождается аналогичным ростом коэффициента теплоотдачи [1, 2]. В подобных каналах течение теплоносителя наиболее быстро развивается в зоне не загроможденного сечения канала, в зоне максимального удаления от каналообразующих элементов, как правило, в центре канала. При достаточно острых углах между гранями каналообразующих элементов, в зоне, где велико влияние пристеночных слоев, наблюдается более медленное развитие течения, зона ламинарного течения сохраняется при полной турбулизации потока в ядре канала. Причем при дальнейшем росте числа Re зона турбулентного течения увеличивается по направлению от ядра канала к периферии, ламинарное течение сохраняется в зонах между близко лежащими элементами поверхности, где наблюдается сильное влияние пограничных слоев.

С целью дальнейшего увеличения относительной поверхности нагрева, предупреждения потерь этой поверхности из-за случайных местных перекрытий каналов насадки, повышения турбулизации, интенсификации теп-

лообмена разработаны насадки с горизонтальными каналами [3]. Горизонтальные каналы позволяют также сгладить неравномерность потоков теплоносителя по каналам насадки, возникающую в результате неравномерности потока на входе в насадку. В них на расчетном режиме работы возможна организация направленного движения теплоносителя. Одним из путей организации движения в горизонтальных каналах может стать движение под воздействием перепада давлений в различных каналах в сечениях, находящихся на одном уровне. Кроме более эффективного использования поверхности теплообмена появится возможность управления режимом движения теплоносителя в вертикальных каналах путем отсоса газа и его вдува, но при этом значительно увеличится гидравлическое сопротивление насадки.

Повышение температуры нагрева дутья при сокращении габаритов насадки и одинаковых режимах работы воздухонагревателей, наиболее рационально и перспективно за счет интенсификации конвективного теплообмена в ее каналах. Установка в каналах насадки дополнительных турбулизирующих элементов значительно повышает значения коэффициентов теплоотдачи конвекцией [1, 4]. Технико-экономическое сравнение насадок для доменных воздухонагревателей, проведенное в работе [5], показало, что применение турбулизирующих элементов в насадках позволяет значительно сократить необходимые поверхность нагрева, объем и высоту насадочной камеры, а также общие габариты и расход материалов на сооружение воздухонагревателей. Но вместе с этим, увеличивается также гидравлическое сопротивление насадок воздухонагревателей, причем его увеличение опережает увеличение теплоотдачи конвекцией. Это, в свою очередь, увеличивает энергозатраты на дутье.

Интенсификация теплообмена турбулизацией потока достигается установкой турбулизирующих выступов, использованием в качестве каналообразующих элементов кирпичей различной толщины, что, в свою очередь, приводит к созданию каналов с резко изменяющимся переменным сечением. Эти мероприятия увеличивают турбулентность потока и коэффициент конвективной теплоотдачи. В чем-то аналогичный эффект может быть получен при выполнении горизонтальных ребер различного профиля. Расположение ребер может быть как осесимметричным так и не осесимметричным. Применение сильно стесняющих поток турбулизирующих выступов также приводит к росту коэффициента теплоотдачи. Несмотря на то, что предложено несколько десятков вариантов различного выполнения насадочного огнеупора, все эти варианты характеризуются увеличенными гидравлическими потерями. Как показали исследования, проведенные в работе [4], эти насадки, являясь эффективными с точки зрения сокращения необходимой поверхности нагрева, в то же время имеют большие гидравлические сопротивления.

Варьированием формы, размеров, взаимного расположения турбулизирующих элементов, возможно несколько уменьшить гидравлическое сопротивление каналов. Приданием турбулизирующим выступам более удобной обтекаемой формы, можно добиться некоторого снижения сопротивления без заметного снижения коэффициента теплоотдачи [6].

В насадках с турбулизирующими элементами, изменяющими живое сечение насадок (ступеньки, выступы), увеличение числа турбулизирующих элементов является эффективным до известных пределов. В работе [1] установлено, что при сильном уменьшении значения шага турбулизирующих элементов, гидравлическое сопротивление насадок возрастает в значительно большей степени, чем коэффициенты теплоотдачи конвекцией. Однако, уменьшение шага до минимальных значений, имевших место в исследовании [1], является рациональным, так как не сопровождается значительным возрастанием гидравлического сопротивления насадок. И с точки зрения технико-экономического сравнения насадок для доменных воздухонагревателей, проведенного в работе [5], является эффективным.

Исследованию теплообменных и гидравлических характеристик канналов сложной формы, применяемых в насадках доменных воздухонагревателей, посвящено большое количество опубликованных работ, содержащие материалы об экспериментальном исследовании теплогидравлических характеристик каналов, при использовании различных эффектов воздействия на течение в каналах.

Регенеративные теплообменные аппараты с насыпной насадкой имеют минимальные габариты по сравнению с аппаратами, где применяются насадки других типов и большую удельную поверхность теплообмена [7]. Применение упрощенного метода монтажа насадки и достаточно технологичная форма ее составляющих, позволяет значительно сократить затраты на строительство этих аппаратов. В известных в настоящее время воздухонагревателях с насадкой насыпного типа широко применяются шаровые насадки, насадки с цилиндрическими элементами и насадки с использованием крошки. Расход огнеупора при использовании насадки насыпного типа значительно ниже, так как отношение объема насадки к площади поверхности теплообмена у насыпных насадок значительно выше, чем в блочных насадках. Но насадки этого типа имеют ряд существенных недостатков. Основные из них высокие значения гидравлического сопротивления, быстро возрастающие при эксплуатации аппарата, что приводит к необходимости значительно увеличивать мощность устройств подачи теплоносителя, либо значительно увеличивать площадь поперечного сечения аппарата. Необходимость использовать высококачественные и, соответственно, дорогие огнеупорные материал. Во время нагрева в регенераторах с шаровой насадкой возникают чрезмерные напряжения, обусловленные термическим расширением насадки, что может быть причиной разрушения как насадки, так

и ограждающих ее стен. Следует отметить, что форма и размер каналов образуемых элементами насыпной насадки, а также система их соединения носят случайный, вероятностный характер.

Для интенсификации теплоотдачи турбулизацией потока в насадках доменных воздухонагревателей можно применить каналы с нанесенными на теплообменную поверхность регулярно размещенными сфероидальными углублениями (лунками) [8].

Теплообменные поверхности с лунками привлекают внимание исследователей уже давно. Однако в настоящее время нет однозначной трактовки процессов, происходящих в выемках, нет точного описания физических механизмов интенсификации теплообмена на поверхностях, формированных лунками. Имеющиеся в настоящий момент экспериментальные работы показывают достаточно большое количество различных картин обтекания лунок.

Несмотря на ряд работ, применительно к насадкам данный способ интенсификации конвективного теплообмена серьезно не рассматривался. Поэтому представляет интерес рассмотреть перспективы применения каналов с лунками в насадках доменных воздухонагревателей.

Таким образом, вопрос о наиболее рациональной форме канала насадки и путях интенсификации конвективного теплообмена остается открытым.

Библиографический список

1. Тимофеев, В.Н. Исследование конвективной теплоотдачи и гидравлического сопротивления насадок новых типов для доменных воздухонагревателей / В.Н. Тимофеев, С.П. Каштанова // Теплообмен и аэродинамика в металлургических агрегатах (ВНИИМТ. Сб. № 13). – М.: Металлургия, 1967. – С. 5–49.

2. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1974. – 711 с.

3. Шкляр, Ф.Р. Доменные воздухонагреватели (конструкции, теория, режимы работы): коллективная монография / Ф.Р. Шкляр, С.П. Каштанова, В.М. Малкин, Я.П. Калугин. – М.: Металлургия, 1982. – 176 с.

4. Тимофеев, В.Н. Исследование коэффициентов теплоотдачи конвекцией и коэффициентов гидравлического сопротивления новых форм насадок доменных воздухонагревателей / В.Н. Тимофеев, С.П. Каштанова // Регенеративный теплообмен и теплоотдача в струйном потоке (ВНИИМТ. Сб. № 8). – Свердловск: Металургиздат, 1962. – С. 68–105.

5. Тимофеев, В.Н. Технико-экономическое сравнение насадок новых типов для доменных воздухонагревателей / В.Н. Тимофеев, С.П. Каштанова // Теплообмен и аэродинамика в металлургических агрегатах (ВНИИМТ. Сб. № 13). – М.: Металлургия, 1967. – С. 61–88.

6. Кулинченко, В.Р. Справочник по теплообменным расчетам / В.Р. Кулинченко. – Киев: Тэхника, 1990. – 164 с.

7. Колпаков, С.В. Высокотемпературные доменные воздухонагреватели с насыпной насадкой из корундовых шаров / С.В. Колпаков, Е.М. Шелков, М.В. Поликовский, Ю.А. Горшков, А.В. Марченко, Н.И. Овсянников, П.И. Цуканов. // Сталь. – 1992. – № 10. – С. 11–17.

8. Волкинд, Д.К. Сравнение эффективности каналов насадок регенераторов по результатам расчета в пакете ANSYS CFX / Д.К. Волкинд // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2012. – № 37. – С. 82–86.

К содержанию

УДК 536.24 + 669.162.23

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ НАСАДОК ДОМЕННЫХ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

В.Ю. Шашкин

Рассмотрены перспективные конструкции насадок доменных воздухонагревателей и пути развития конструкций насадок.

Ключевые слова: доменный воздухонагреватель, насадка, каналы.

В выборе формы кирпича и формы каналов, а также в выборе толщины стенки между ячейками, живого сечения и аккумулирующей массы насадки общего направления нет, поэтому по-прежнему применяются многочисленные конструкции насадок, различающиеся по этим параметрам.

Следует отметить значительный вклад коллектива авторов ряда работ ВНИИМТ (г. Свердловск) в изучение возможностей интенсификации конвективного теплообмена в каналах различной формы в применении к регенеративным воздухонагревателям [1, 2, 3, 4]. Ими проведен большой объем экспериментальных и теоретических исследований в этом направлении. Полученные результаты базировались на представлениях теории подобия и моделирования процессов конвективного теплообмена. Экспериментальная установка для получения коэффициентов теплоотдачи и гидравлического сопротивления каналов насадок при некоторых допущениях достаточно адекватно моделировала изучаемые процессы. Полученные во ВНИИМТ результаты широко использовались в промышленности при анализе эффективности работы воздухонагревателей и при реконструкции насадок аппаратов. Эти данные также применялись в проектной практике при поиске новых эффективных форм насадок.

Большое количество данных по определению характеристик экспериментальных насадок с каналами различной формы содержится в работах ВНИИМТ (г. Свердловск) [1, 2]. Авторы работ рассматривали каналы как с различными вариантами турбулизирующих элементов, так и при различном положении этих элементов в каналах. Исследовалось влияние отдельных видов турбулизаторов на теплообмен и гидравлическое сопротивление каналов. Рассматривались гладкие каналы квадратного сечения, каналы

со ступенчатым изменением проходного сечения, каналы, оснащенные горизонтальными каналами различной формы, щелевые каналы, каналы со сложной формой проходного сечения: шестиугольные, звездообразные, оснащенные продольными полусферическими ребрами, а также каналы, оснащенные поперечными ребрами конической и треугольной формы. Всего приводятся полученные зависимости по 16 каналам в работе [2] и по 24 каналам в работе [1]. Исследовано влияние отношения длины канала к его эквивалентному диаметру на теплообменные и гидравлические характеристики каналов. Исследования производились в широком диапазоне чисел Re, причем захватывались области развитого турбулентного, ламинарного течения, а также области переходных режимов течения. Авторами установлено, что применение горизонтальных проходов в насадке эффективно, они турбулизируют поток теплоносителя, и незначительно повышают гидравлическое сопротивление. Наилучшие показатели коэффициентов теплоотдачи конвекцией были получены для ступенчатых насадок и насадок с выступами. Однако гидравлическое сопротивление этих насадок, по сравнению с насадками со сплошными гладкими каналами увеличилось в гораздо большей мере, чем других.

Большое количество работ по определению перспективных форм каналов насадок посвящено исследованию конфузорно-диффузорных каналов рис. 1. Насадки с конфузорно-диффузорными каналами представляются очень перспективными, при относительно высоких показателях конвективной теплоотдачи, они обладают хорошим соотношением характеристик по теплоотдаче и гидравлическому сопротивлению. Чередующиеся конфузоры и диффузоры хорошо турбулизируют поток, не создавая при этом большого гидравлического сопротивления. При этом такие насадки технологичны в изготовлении и монтаже.

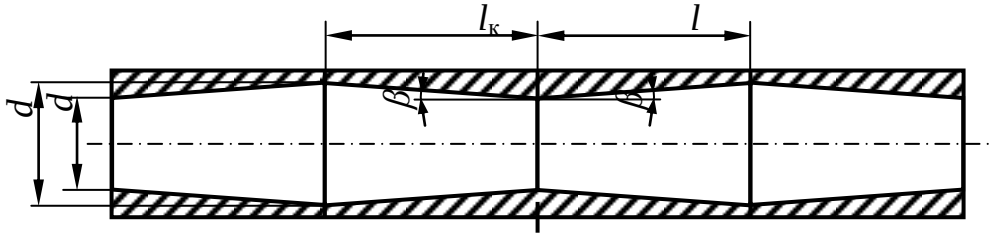


Рис. 1. Конфузорно-диффузорный канал

В работе [5] содержатся данные по экспериментальному определению теплогидравлическкх характеристик девяти конфузорно-диффузорных каналов, имеющих различные отношения длин конфузорных и диффузорных участков. Результаты работы позволяют отследить зависимость влияния геометрических параметров на теплотехнические и гидравлические характеристики.

В работе [6] рассмотрена насадка с каналами типа «елочка». Такой канал в сборе для одного направления потока представляет собой последовательный ряд диффузоров, а для противоположного – ряд конфузоров рис. 2. В каналах типа «елочка» дополнительная турбулизация достигается за счет наличия в канале ступенек, образующихся при последовательном совмещении усеченных конусов. Авторами [6] установлено, что теплоотдача конвекцией и гидравлическое сопротивление в турбулентной области течения для чисел Re>3500 не зависят от направления потока. Отмечается, что при течении в режиме развитой турбулентности наблюдается двукратное увеличение коэффициента теплоотдачи конвекцией при росте коэффициента трения в 3,5–4,0 раза по сравнению с гладкими каналами при тех же значениях Re. Наиболее интересны результаты эксперимента, полученные при течении теплоносителя вдоль конфузора в диапазоне Re от 600 до 2500, то есть в зоне ламинарного и переходного режимов течения. Авторами дается анализ возможного применения насадки с каналами типа «елочка», средним диаметром канала 30 мм, при условии ее использования в воздухонагревателях доменной печи объемом 1386 м^3. По мнению авторов работы [6], это позволяет снизить общую высоту насадки аппарата на 5–8 метров по сравнению с насадкой, где применены гладкие каналы.

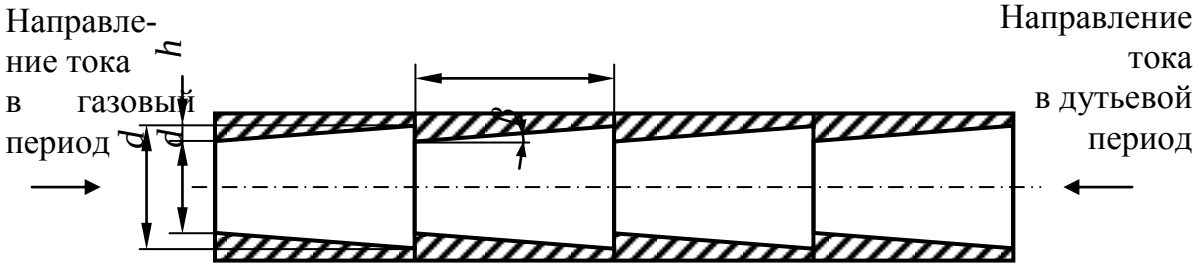


Рис. 2. Канал типа «елочка»

Наиболее рациональной оказалась комбинированная насадка, когда верхняя ее часть выполняется каналом типа «елочка» (с периодическими сужениями), а нижняя - цилиндрическим каналом [7]. В работе автор приводит данные расчетов для разных насадок одного из бесшахтных воздухонагревателей конструкции Калугина при сохранении внутреннего диаметра насадки (см. табл.). Из которых следует, что при сохранении параметров нагрева дутья, высота и масса комбинированной насадки, по сравнению со стандартной, уменьшаются существенно.

Ряд теоретико-экспериментальных работ провел коллектив авторов под руководством проф. Соломенцева С.Л. (г. Липецк). Этим коллективом предложено несколько конструкций эффективных насадок [8, 9, 10, 11, 12].

В статье [11] приведены данные лабораторных исследований насадки из кирпичей, образующих горизонтальные проходы в виде вертикальных щелей на узких боковых гранях. В этом случае вся поверхность широких и

узких вертикальных граней кирпичей в насадке открыта и участвует в теплообмене с теплоносителями, обеспечиваются турбулизация и интенсификация теплообмена, а также возможность перемещения газов в поперечном направлении. Последнее предупреждает потери поверхности нагрева насадки из-за случайных перекрытий отдельных ее каналов. В предложенной конструкции насадки по сравнению с насадкой из обычного кирпича, в зависимости от размеров поперечного сечения кирпичей действительная относительная поверхность нагрева, по мнению авторов, может быть увеличена в 1,6–1,8 раза практически без уменьшения опорной площади кирпича, определяющей механическую прочность насадки. Коэффициенты гидравлического сопротивления и конвективного теплоотдачи в области турбулентного режима течения соответственно в 1,7–1,9 и 2–2,3 раза больше по сравнению с насадкой из обычного кирпича, причем нижние приделы этих величин относятся к насадкам с наибольшим шагом между горизонтальными проходами. Согласно расчетам авторов работы, применение предложенной насадки вместо обычной при прочих равных условиях позволяет уменьшить требуемую высоту насадки воздухонагревателя на 36 % и соответственно уменьшить затраты на его сооружение.

Таблица

Характеристики бесшахтного воздухонагревателя
при использовании разных типов насадок [7]

Параметр	Тип насадки		
	ГОСТ 2090175 41 мм	Гладкий канал 30 мм	Комбинированный канал 30 мм
Поверхность напева насадки, $м^2/м^3$	32,7	48,0	48,7
Температура купола, °С	1550	1550	1550
Температура дутья, °С	1400	1400	1400
Гидравлическое сопротивление, Па	800	780	1180
Масса насадки, т	1890	1525	1200
Высота насадки, м	37,24	30,51	24,48

В статье [9] приведены данные лабораторных исследований насадки из щелевого кирпича, разработанной с целью дальнейшего увеличения относительной поверхности нагрева и повышения турбулизации и интенсификации теплообмена. А также насадка из кирпичей в форме параллепипедов, широкие боковые грани кирпичей выполнены в виде параллелограммов. Кроме того, с целью увеличения интенсивности теплообмена на широких боковых гранях последние предложено снабдить наклонными к горизонтальной оси под углом 45 градусов канавками. Такая форма кирпичей разработана с целью устранения недостатков возникающих при изготовлении элементов насадки из кирпичей, образующих горизонтальные проходы [11].

Результаты исследований [9] показали, что изготовление насадки из кирпичей с дополнительными горизонтальными проходами по сравнению с насадками из обычных кирпичей позволяет увеличить относительную действительную поверхность нагрева насадки в ~2,5 раза при уменьшении коэффициента заполнения насадки на ~15 %. Насадка из кирпичей в форме параллелепипедов имеет относительную действительную поверхность нагрева, равную относительной действительной поверхности нагрева насадки из кирпичей, образующих горизонтальные проходы в виде вертикальных щелей. В насадке из кирпичей в форме параллепипедов коэффициенты гидравлического сопротивления и конвективной теплоотдачи соответственно на ~10 и 20 % меньше по сравнению с насадками из кирпичей, образующих горизонтальные проходы в виде вертикальных щелей, однако выполнение канавок на широких боковых гранях кирпичей позволяет сблизить значения теплотехнических характеристик указанных насадок. При этом снижается стоимость изготовления, устраняются недостатки, возникающие при изготовлении кирпичей, образующих горизонтальные проходы.

В работе [8] исследовались разработанные насадки: щелевая из кирпичей с трапецеидальной формой широких боковых граней и с дистанционными выступами, блочная в виде ребристых кирпичей со срезами на ребрах и узких боковых гранях. Результаты лабораторных исследований [8] показали их высокую теплотехническую эффективность. Коэффициенты гидравлического сопротивления и конвективного теплообмена в исследованном диапазоне чисел Рейнольдса (турбулентный режим движения) в первой и второй насадке соответственно в 1,8–1,2; 1,4 и 2,6–2,0; 2,1 раза больше по сравнению с насадкой из обычного кирпича. Расчеты, проведенные авторами работы [8], показали, что применение рассмотренных насадок вместо обычной позволит уменьшить требуемую высоту насадки воздухонагревателя в 1,5 раза при прочих равных условиях.

Следует отметить, что размеры и форма горизонтальных проходов и элементов насадки в целом в рассмотренных работах принимались из условий раскрытия для теплообмена большей части поверхности граней кирпича, достаточной степени интенсивности омывания газами поверхности нагрева в зоне примыкания кирпичей друг к другу, минимума уменьшения поперечного сечения кирпича по сравнению с обычным, а также с учетом требований технологии и себестоимости изготовления кирпичей. Значения ширины щели, образующей горизонтальный проход принимались из условия обеспечения достаточной турбулентности потока и максимально возможной поверхности нагрева, а также по условиям достаточной механической прочности насадок. При этом не исследовалось распределения потоков теплоносителя по каналам насадки с горизонтальными проходами и при выборе размеров горизонтальных проходов не учитывалось влияние величин перетоков, образуемых горизонтальными проходами, на эффективность работы насадки.

Приведенный выше обзор теоретических и экспериментальных работ по изучению возможностей интенсификации конвективного теплообмена в каналах различной формы в применении к регенеративным воздухонагревателям не может считаться достаточно полным. Однако он позволяет сделать вывод о том, что изучаемый вопрос, а именно, влияние формы канала и интенсифицирующих элементов на теплоотдачу конвекцией и гидравлическое сопротивление реальных регенеративных насадок, имеет важное прикладное значение. С другой стороны, для решения этого вопроса необходимо уточнение теоретических представлений о воздействии формы каналообразующих элементов насадки, конструкции насадки регенеративного теплообменного аппарата в целом, на процессы, происходящие в ее каналах.

Библиографический список

1. Тимофеев, В.Н. Исследование конвективной теплоотдачи и гидравлического сопротивления насадок новых типов для доменных воздухонагревателей / В.Н. Тимофеев, С.П. Каштанова // Теплообмен и аэродинамика в металлургических агрегатах. (ВНИИМТ. Сб. № 13). – М.: Металлургия, 1967. – С. 5–49.

2. Тимофеев, В.Н. Исследование коэффициентов теплоотдачи конвекцией и коэффициентов гидравлического сопротивления новых форм насадок доменных воздухонагревателей / В.Н. Тимофеев, С.П. Каштанова // Регенеративный теплообмен и теплоотдача в струйном потоке (ВНИИМТ. Сб. № 8). – Свердловск: Металургиздат, 1962. – С. 68–105.

3. Тимофеев, В.Н. Технико-экономическое сравнение насадок новых типов для доменных воздухонагревателей / В.Н. Тимофеев, С.П. Каштанова // Теплообмен и аэродинамика в металлургических агрегатах (ВНИИМТ. Сб. № 13). – М.: Металлургия, 1967. – С. 61–88.

4. Шкляр, Ф.Р. Доменные воздухонагреватели (конструкции, теория, режимы работы): коллективная монография / Ф.Р. Шкляр С.П. Каштанова, В.М. Малкин, Я.П. Калугин. – М.: Металлургия, 1982. – 176 с.

5. Интенсификация работы регенеративных теплообменников / М.И. Агафонова, В.М. Малкин, Ф.Р. Шкляр и др. // Совершенствование тепловой работы и конструкций металлургических агрегатов. Темат. отрасл. Сб. – М.: Металлургия, 1982. – С. 84–85.

6. Канунникова, Л.М. Исследование эффективных насадок с каналами переменного сечения для доменных воздухонагревателей / Л.М. Канунникова, Я.П. Калугин // Теплотехническое обеспечение основных металлургических производств. Темат. сб. – М.: Металлургия, 1990.

7. Калугин, Я.П. Разработка теоретических основ и конструкций с внедрением в промышленность новых высокотемпературных регенеративных теплообменных аппаратов: автореф. дис. … д-ра техн. наук / Я.П. Калугин. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2009. – 34 с.

8. Соломенцев, С.Л. Исследование щелевой, блочной и аналога шаровой насадок / С.Л. Соломенцев, С.М. Басукинский // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1998. – № 3. – С. 60–62.

9. Соломенцев, С.Л. Исследование эффективных насадок типа каупера из кирпичей / С.Л. Соломенцев, С.М. Басукинский, П.И. Кирьянов // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1990. – № 9. – С. 82–84.

10. Соломенцев, С.Л. Усовершенствование насадки регенератора нагревательного колодца / С.Л. Соломенцев, Б.Л. Марков, В.К. Сигмунд, и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1985. – № 7. – С. 142–144.

11. Соломенцев, С.Л. Улучшеная насадка каупера / С.Л. Соломенцев, В.К. Сигмунд, и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1984. – № 7. – С. 132–135.

12. Соломенцев, С.Л. Моделирование аэродинамики в системе параллельных сплошных каналов и методика экспериментирования на таких моделях / С.Л. Соломенцев, Ф.Р. Шкляр, В.Д. Коршиков // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1984. – № 3. – С. 98–101.

К содержанию

УДК 628.1+ 621.224

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПОРА «ТУРБИНА-НАСОС»

В.В. Бакунин

В статье предложен способ водоснабжения, когда приводом к насосу служит гидротурбина, обоснована энергетическая эффективность такого преобразователя напора с высоким КПД и предложена методика расчета для различных типов турбин и насосов в зависимости от параметров потребителя.

Ключевые слова: водоснабжение, насос, турбина, преобразователь напора.

Вблизи рек и плотин имеется множество сельскохозяйственных поселений, которые находятся выше уровня водоемов. Для подачи воды потребителю требуется устройство, создающее напор выше напора плотины или напора, вызванного уклоном реки. В качестве источника энергии для насоса может служить гидромеханическая энергия самого потока воды, низконапорная энергия которого может быть преобразована в высоконапорную, например, такими устройствами как двигатель-насос [1], или гидравлический таран [2]. Первое устройство при определенных достоинствах имеет низкий коэффициент преобразования напора. Гидротаран дешев и относительно прост в изготовлении, у него высокий коэффициент преобразования напора, но имеет недостаток – уменьшение КПД при росте коэффициента преобразования напора. Эти недостатки могут быть преодолены использованием в качестве привода к насосу непосредственно гидравлической турбины.

Чаще всего гидротурбину использует как привод генератора для выработки электроэнергии, а насос приводят в действие электродвигателем [3] (рис. 1).

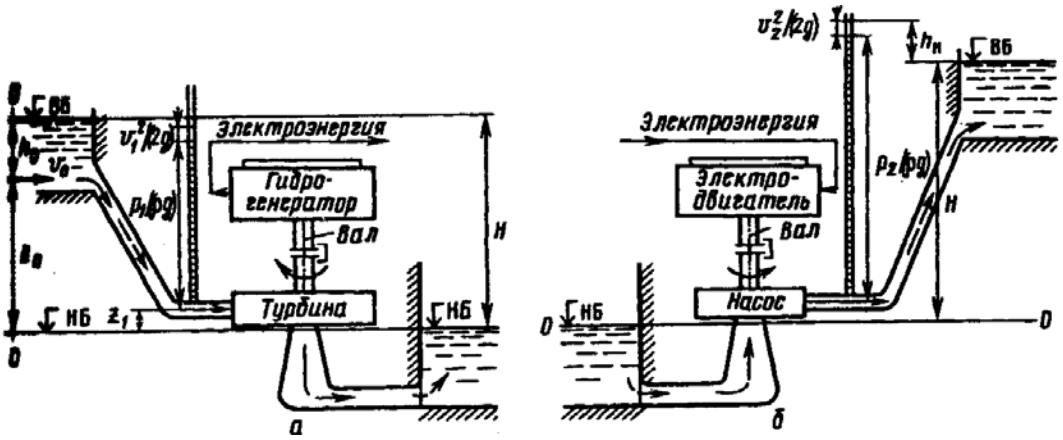


Рис. 1. Схема стандартного использования гидротурбины и насоса

Если целью является только водоснабжение, то имеет смысл отказаться от промежуточных звеньев между турбиной и насосом, т.е. от генератора и электродвигателя, тем самым убрав затраты на их покупку и повысив общий КПД использования потока воды:

$$\eta_{\text{т}} \cdot \eta_{\text{н}} > \eta_{\text{т}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{гнр}} \cdot \eta_{\text{э/дв}}. \qquad (1)$$

Данный эффект достигается только в том случае, если турбина и насос работают в режиме максимального КПД. Основным условием работы является равенство мощности на валу турбины и мощности на входном валу насоса:

$$\rho \cdot \text{g} \cdot \text{H} \cdot \text{Q} \cdot \eta_{\text{т}} = \rho \cdot \text{g} \cdot \text{h} \cdot \text{q} \cdot \frac{1}{\eta_{\text{н}}}, \qquad (2)$$

где H – м, напор плотины на входе в турбину, Q – м^3/с, расход через турбину, h – м, напор на выходе из насоса, q – м^3/с, подача насоса, ρ – кг/м^3, плотность жидкости, g – м/с^2, ускорение свободного падения.

Введем понятие коэффициента преобразования напора:

$$\text{K}_{\text{H}}^{\text{h}} = \frac{\text{h}}{\text{H}}. \qquad (3)$$

Тогда, используя (3) и (2), получаем, что коэффициент преобразования напоров определяется отношением расходов турбины и насоса и их КПД:

$$\text{K}_{\text{H}}^{\text{h}} = \frac{\text{h}}{\text{H}} = \frac{\text{Q}}{\text{q}} \cdot \eta_{\text{т}} \cdot \eta_{\text{н}}. \qquad (4)$$

К гидромашинам, преобразующим гидравлическую энергию потока в механическую энергию вращения вала относятся гидромоторы объемного типа и гидротурбины. Первые эффективно работают на больших давлениях и поэтому их невыгодно использовать на низконапорных плотинах. Насосы можно эффективно использовать как динамического типа, так и объемного. Таким образом, остается два варианта сочетания: гидротурбина – динамический насос, гидротурбина – объемный насос.

Рассмотрим первый вариант [4] (рис. 2). Максимальное значение коэффициента преобразования по (4) достигает при двух условиях:

– турбина и насос установлены соосно на одном валу, то есть не тратится энергия на передаточный механизм и, соответственно, частота вращения вала турбины и насоса одинаковы;

– турбина и насос при этой одинаковой частоте работают в режиме максимального КПД.

Чтобы добиться этих условий, обратимся к универсальной характеристике лопастных машин – коэффициенту быстроходности, об/мин [3]:

$$n_S = \frac{n}{H} \cdot \sqrt{\frac{1.36 \cdot N}{\sqrt{H}}}, \qquad (5)$$

где n – об/мин, частота вращения вала турбины (лопастного насоса), H – м, напор на входе в турбину (h – на выходе лопастного насоса), N – кВт, мощность на валу турбины (лопастного насоса).

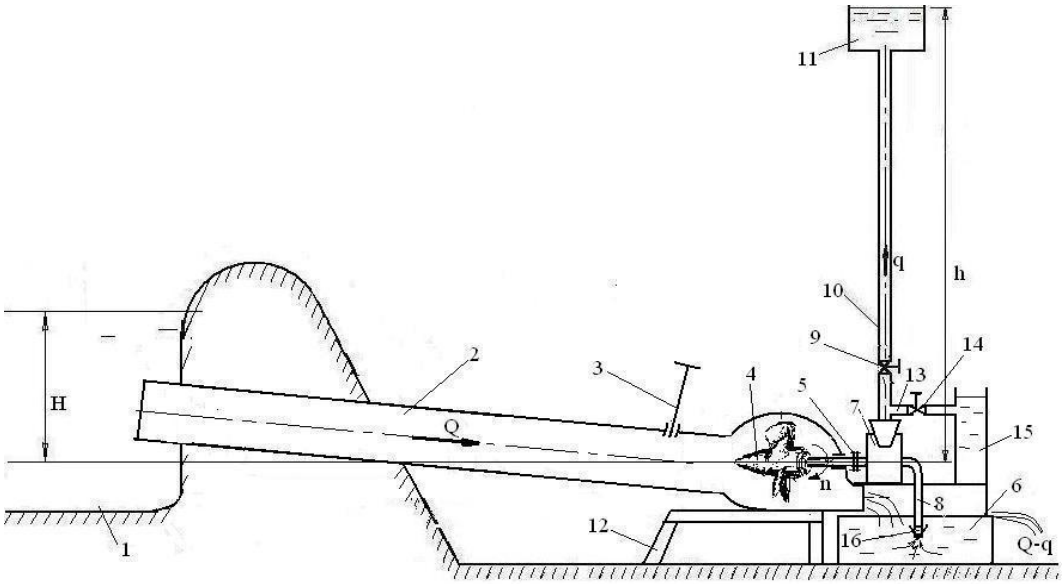


Рис. 2. Схема преобразователя напора «гидротурбина – лопастной насос»

С учетом того, что $N_т=N_н/\eta_Н$, а $n_т = n_н$, выразим из формулы (5) напор H турбины и напор h насоса. После этого подставим эти выражения в (4) и получим коэффициент преобразования напоров в зависимости от коэффициентов быстроходности лопастных машин:

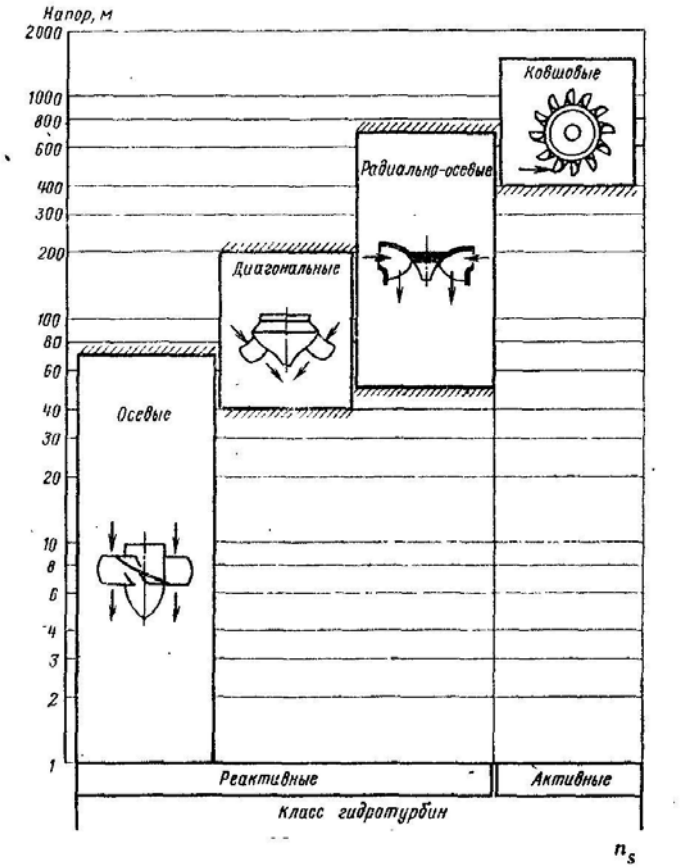
$$K_H^h = \frac{h}{H} = \left[\frac{(n_S)_т}{(n_S)_н}\right]^{\frac{4}{5}} \cdot (\eta_н)^{\frac{2}{5}}, \qquad (6)$$

или

$$\frac{(n_S)_т}{(n_S)_н} = \left(K_H^h\right)^{\frac{5}{4}} \cdot \sqrt{\eta_н} = \left[\frac{h}{H}\right]^{\frac{5}{4}} \cdot \sqrt{\eta_н}, \qquad (7)$$

где $(n_S)_т$ – коэффициент быстроходности турбины, $(n_S)_н$ – коэффициент быстроходности насоса.

Факт, что коэффициент преобразования напора больше 1 говорит о более высоком коэффициенте быстроходности турбины по отношению к насосу. И это же указывает на те конструктивные особенности рабочего колеса турбины и насоса, которые и способствуют преобразованию напора (рис. 3 и 4 из [3]). Коэффициент быстроходности обычно определяется для режима максимальной мощности. Чем выше коэффициент быстроходности, тем быстроходнее турбина (лопастной насос) и тем ниже область применения напоров. Исходя из этого, можно сформулировать правило подбора турбины и лопастного насоса: для преобразования напора из низшего в высший следует подбирать более быстроходную по отношению к насосу гидротурбину, при этом основные гидравлические параметры турбины и насоса определяются по (4) и (6). Таким образом, в преобразователе напора происходит перераспределение потенциальной и кинетической составляющих механической энергии потока жидкости.



Осевые поворотно-лопастные	1000—450
Диагональные поворотно-лопастные	500—250
Радиально-осевые	300—80
Ковшовые	50—10

Рис. 3. Зависимость формы рабочего колеса турбины от коэффициента быстроходности

n_s	60-80	80-120	120-240	240-350	400-800
D_2/D_1	3,0-2,4	2,4-1,8	1,8-1,3	1,3-1,1	1,0

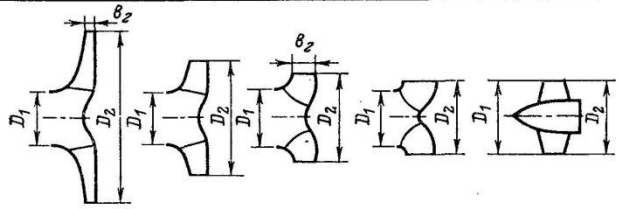


Рис. 4. Зависимость формы рабочего колеса насоса
от коэффициента быстроходности

Рассмотрим пример подбора турбины и лопастного насоса. Предположим, что мы имеем напор плотины H=3 м, необходимый напор насоса для подачи потребителю h=30 м, а располагаемый расход на турбину (минимальный сброс плотины) Q = 0,5 м^3/с. По (3) определяем, что коэффициент преобразования напора K_H^h=10. По диаграмме рисунка 3 находим, что наиболее эффективно для данного напора плотины, использовать поворотно-лопастную осевую гидротурбину. По методике, изложенной в [3], находим, что для данного напора и расхода лучше всего подходит турбина ПЛ-10, у которой диаметр рабочего колеса D, соответствующий максимальному КПД турбины, определяем по приведенным параметрам частоты вращения $n_I^{'}$ и расхода $Q_I^{'}$ модельной турбины, (рис. 5, [3]) по формулам из [3]:

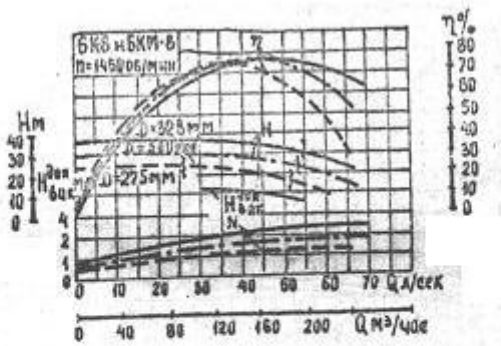
$$n_I^{'} = \frac{n \cdot D}{\sqrt{H}}, \tag{8}$$

$$Q_I^{'} = \frac{Q}{D^2\sqrt{H}}, \tag{9}$$

Поскольку характеристики насосов в основном даются на определенные частоты вращения, рассчитаем турбину на частоту вращения 1450 об/мин. По (8) определяем, что для этой частоты диаметр рабочего колеса турбины D=250 мм, а пропускаемый для этого колеса расход через турбину по (9) Q=0,454 м^3/с. КПД поворотно-лопастной турбины для этого режима работы $\eta_т$=0,92, значит мощность на валу турбины по (2) $N_т$=13347 Вт. По (5) $(n_s)_т$=1565 об/мин. Находим из (7), что коэффициент быстроходности насоса должен быть $(n_s)_н$=88 об/мин. Для такого коэффициента быстроходности эффективнее всего использовать центробежные насосы (рис.4). Наиболее подходящим является консольный насос 6К-8а (К 150-125-315 в современной классификации) (рис. 6) [5]. Данные турбины и насоса можно занести в таблицу.

Показатели	Тип турбины	
	ПЛК10	ПЛК16
Диапазон напоров, м	1—12	3—16
Приведенная частота вращения, об/мин:		
оптимальная n'_{Io}	170	155
средняя расчетная n'_{Ip}	210	175
Приведенный расход (максимальный расчетный) Q'_{Ip}, л/с	4200—3800	3000—2800
Коэффициент кавитации σ, соответствующий Q'_{Ip}	2,8—2,2	2,0—1,6
Относительный диаметр капсулы $\overline{D}_{капс}$	0,8—0,85	1,0—1,25

Рис. 5. Параметры модельной турбины



Характеристика насоса 6К-8 и 6КМ-8

Марка насоса	Подача Q, м³/ч	Подача Q, л/с	Полный напор H, м	Число оборотов n в минуту	Мощность N, кВт: на валу насоса	Мощность N, кВт: электродвигателя	КПД насоса η, %	Допустимая вакуумметрическая высота всасывания $H_{вак}^{доп}$, м	Диаметр рабочего колеса D, мм
6К-8 и 6КМ-8	110	30,6	36,5	1450	17,6	28	70	6,6	328
	140	38,8	35,9		18,4		75	6,3	
	170	47,2	32,5		20,6		76,5	5,9	
	190	52,8	31		23,0		75	5,4	
6К-8а и 6КМ-8а	110	30,6	30,5	1450	13,5	20	72	6,6	300
	140	38,8	28,6		14,7		73,6	6,3	
	170	47,2	25,8		15,7		76	5,9	
	180	50	25		16,5		74	5,8	
6К-8б и 6КМ-8б	110	30,6	24,4	1450	10,2	20	71,3	6,6	275
	140	38,8	22		11,0		74	6,3	
	180	50	18		13,5		65	5,9	

Рис. 6. Выбор центробежного насоса

Таблица

Параметры выбранных турбины и насосов для преобразователя напора

	Марка	Диаметр рабочего колеса мм	На-пор, м	Число об. в мин.	Мощ-ность на валу, КВт	Расход л/с	КПД %	Коэф. преоб. напора
турбина	ПЛК-10	250	3	1450	13,5	454	92	10
насос лопаст.	К150-125-315	300	30			31	72	

Подбор для соответствующей турбины насоса объемного типа проще. Из (4) определяем необходимый расход q насоса и, зная оптимальную частоту вращения колеса турбины n, находим необходимый рабочий объем насоса:

$$V_{р.к.} = \frac{q \cdot 60}{n} = \frac{60}{n \cdot K_H^h} \cdot Q \cdot \eta_т \cdot \eta_н, \qquad (10)$$

где n – число оборотов в минуту, q и Q – расходы насоса и турбины, л/с.

В нашем примере для частоты вращения 1450 об/мин необходимо, чтобы насос давал не больше 46 л/с ($\eta_н$=1) и соответственно рабочий объем насоса не более 1,9 л. Если учесть, что для объемных насосов КПД очень высокий, то общий КПД преобразователя напора потока жидкости может достигать 80–85 %.

Библиографический список

1. Пальвинский, В.В. Обоснование параметров и режимов функционирования гидравлического двигателя-насоса для сельскохозяйственного водоснабжения: автореф. дис. … канд. техн. наук / В.В. Пальвинский. – Изд-во Иркутской государственной сельскохозяйственной академии, 2013. – 18 с.

2. Бакунин, В.В. Оптимизация подбора и регулировки гидротарана на максимальную производительность / В.В. Бакунин // Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 5 (145). – С. 74–81.

3. Кривченко, Г.И. Гидравлические машины. Турбины и насосы / Г.И. Кривченко. – М.: Изд-во «Энергия», 1978. – 320 с.

4. Водоподъемник-преобразователь напора: пат. 148066 Рос. Федерация: МПК F04F7/02 (2006.01) / автор и заявитель Бакунин В.В.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Челябинская государственная агроинженерная академия» (RU).

5. Насосы. Каталог-справочник / Д.Н. Азарх и др. – М.; Л.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1960. – 551 с.

К содержанию

УДК 530.145

THERE IS NOW ROOM FOR DISSENTING OPINIONS

V.V. Sheshukov, A.A. Bakin, E.V. Litvinova

The given work states that the history of modern physical science knows both the periods of taking off and many ones of falling down. The work points out that ability for being on the lookout for the latest scientific ideas admit an erroneous character of the personal scientific thoughts, theories and results is a frequent occasion on this way. The only time can give away the right answer for this eternal question.

Keywords: evolution, ether, Aristotle, Descartes, Grimaldi, Hooke, Huygens, Newton, Young and Fresnel, Maxwell, Einstein, General Theory of Relativity.

According to a few works of the earliest Greek thinkers, “ether” meant “upper air” (“hypothetic all-permeating medium” in Latin). It was understood as a special celestial object in the cosmos, that is, as a space-filling substance [1]. Plato in his dialogue, *the Timaeus*, writes that God created the world from ether. While Lucretius Carus in his poem *On the Nature of Things* mentions that “Ether feeds the stars”. That is, that celestial bodies consist of condensed ether.

Aristotle describes ether in more detail. He believes that planets and other celestial bodies consist of ether, which is the fifth element of nature – the quintessence. Moreover, unlike the other elements, earth, air, fire and water, ether is constant and permanent. For Aristotle, the Sun is not made of fire, but is a huge cluster of ether. The sun radiates heat by influencing its ether as it revolves around the Earth. Ether also fills the region of the universe above the terrestrial sphere, staring from the Moon’s sphere. So, according to Aristotle, ether transfers light and heat from the Sun, and light from the stars [1].

Medieval scholastics adopted Aristotle’s understanding of ether, an understanding that remained unchanged until the seventeenth century.

In 1618 Rene Descartes put forward a hypothesis of luminiferous ether, which he further developed in his *Principles of Philosophy* (1644). According to his natural philosophy, Descartes regards ether as a fine matter, similar to liquid, which determines the patterns of light distribution. For Descartes, ether fills the entire matter-free space of the universe, but it does not impede the movement of physical objects through it. Descartes, like Aristotle, does not recognize empty space as such.

As with any celestial matter, Cartesian ether is in a constant state of motion; primarily a swirling motion. Centrifugal force and an emerging, mutual pressure of particles throw ball-like ether particles off the source. An observer perceives this motion as light distribution. Descartes believed the speed of light to be infi-

nite. He also developed his own theory of colour. According to his theory, the different speeds of rotation of ether particles generate the different colours.

In 1690 Huygens published his *Treatise on Light* in which he expanded considerably on Descarte's teaching on the subject. Huygens hypothesised that light travelled in waves in ether, and developed his mathematical formulae for wave optics.

The following unusual optical phenomena were discovered at the end of the seventeenth century, and accommodated within the luminiferous ether model:

– diffraction by Grimaldi (1665);

– interference by Hooke (1655);

– the double refraction of light by Bartholin (1669) – later studied by Huygens;

– the determination of the speed of light by Romer (1675).

As such findings began to accumulate, two dominant and contrasting models of the nature of light began to emerge.

The emission, or corpuscular, theory of light proposes that light is made up of small particles emitted by a source. This hypothesis was supported by the evidence that light travels in a straight line, which is the physical presupposition of geometrical optics. However, diffraction and interference did not fit with this theory.

The wave theory of light suggests that light travels in waves as a result of outbursts of ether. It is worth noting that in those times a wave of light was thought of as a single pulse, not the infinite periodic vibrations of today's scientific theories. For this reason it was very hard to explain light phenomena using the wave theory.

The Descartes-Huygens concept of luminiferous ether gradually came to be generally accepted in scientific circles. The seventeenth and eighteenth centuries disputes between supporters of the Cartesian and atomic theories, and those who contested the merits of the emission and wave theories did nothing to compromise the concept of luminiferous ether. Even Isaac Newton, who favoured the emission theory, conceded that ether was involved in light effects.

By virtue of Newton's scientific achievements and authority, the emission theory of light became the dominant theory in the eighteenth century. Ether was regarded as a bearer of light particles. Light refraction and diffraction were explained by the changes in the density of ether, that is, when light impinged on bodies (diffraction) or passed from one medium into another (refraction). In the course of the eighteenth century, the notion of ether as a constituent of the universe gradually receded into the background of scientific thinking. However, the theory of ether vortices lasted, and was unsuccessfully employed to explain both magnetism and gravitation.

At the beginning of the nineteenth century, the wave theory of light, which defined light in terms of waves in ether, produced a decisive victory over the

emission theory. As early as 1800, the emission theory was attacked by Thomas Young, an English scientist. He was the first to propose and coin the expression "a wave theory of interference" based on his own principle of superposition. On the basis of his experimental findings, Young provided accurate assessments of light wavelengths for various spectra of coloured light.

At about the same time, Augustin-Jean Fresnel performed a series of ingenious experiments, which demonstrated that purely wave effects could not be explained by the emission theory.

From the beginning, Young and Fresnel regarded light as elastic, longitudinal vibrations of rarefied but very resilient ether, similar to that of sound in the air. They held that any light source causes elastic vibrations of ether. The frequency of such vibrations is huge, and is not recorded anywhere else in nature. The vibrations propagate at tremendous speed and any physical object draws ether in, which penetrates it and concentrates inside it. The index of light refraction depends on the density of ether in a transparent object.

However, the polarization effect still called for an answer. In 1816 Fresnel had suggested that the light vibrations of ether were not longitudinal but transverse. This would easily explain the polarization. Earlier, however, transverse vibrations were recorded only in incompressible solids, while ether was considered as having something like the sorts of properties displayed by gases or liquids.

The advent of the nineteenth century saw a sharp growth of interest and trust in the concept of ether.

After it became clear that light vibrations are strictly transverse, it was necessary to establish the sort of properties ether would have to have to allow for transverse vibrations and exclude longitudinal ones. In 1821 Henri Navier developed general equations to describe the propagation of disturbances in an elastic medium. Navier's theory was expanded by Augustin-Louis Cauchy (1828), who stated that, generally speaking, longitudinal waves should also be present.

Fresnel hypothesised that ether was incompressible, but provided for transverse shearing. But such an assumption is hardly reconcilable with the complete permeability of ether to substance. George Gabriel Stokes addressed this problem by likening ether to resin. During quick deformations involving light emission it behaves like a solid, whereas during slow deformations involving planetary movement, for example, it is plastic.

Fresnel even suggested that ether consists of particles, the size of which is relatively similar to the length of a light wave.

After Maxwell presented his equations on classical electrodynamics, the theory of ether was reconsidered. Maxwell neither developed specific models of ether nor did he take into account any other properties of ether in his calculations, except for ether's supposed ability to maintain the displacement of a current, that is, electromagnetic vibrations in space.

In a scientific article of 1905, Einstein reviewed two principle postulates: the general principle of relativity and the invariance of the speed of light. The adoption of these postulates immediately involved the Lorentz's transformations (not only for electrodynamics), the contraction of length and the relativity of simultaneity. In the same article, Einstein pointed out that, because no physical attributes could be assigned to it, it was not necessary to posit ether. And that other dynamic properties were taken into account as part of the kinematics of the Special Theory of Relativity. The electromagnetic field has been viewed as an independent physical object [2], and not as an energy process in ether ever since.

The introduction of this notion caused a number of difficulties. Einstein had experienced some problems (as shown in the foregoing example) when his findings showed that he needed to add a certain amount of energy (hence mass) to the empty space of the universe.

Other reasons for denying the relevance of the concept of ether included its ambiguous attributes: the impalpable character of the supposed substance; its transverse elasticity; its extraordinary wave propagation velocity when compared with gas, liquid, et cetera. Also there was the difficulty of proving the quantum nature of the electromagnetic field, which is incompatible with the continuous ether hypothesis.

Later, after his creation of the General Theory of Relativity, Einstein revived his use of the idea of ether by stipulating his own meaning for the notion. According to his new meaning, "ether" refers to "physical space" as defined by the General Theory of Relativity. Unlike luminiferous ether, Einstein's physical space is not substantial. For example, it is impossible to assign self-motion and an identity to points in such a space. This notion of space, unlike that of Lorentz and Poincare, is in keeping with the General Theory of Relativity. However, most physicists have chosen not to revive the obsolete term.

Einstein, to his credit, admitted that his scientific idea was erroneous; an admission confirmed by the provisions already referred to as well as by practical experience [2]. Despite the time lost to scientific mistakes, it is pleasing that there is now room for dissenting opinions.

References

1. Karpova T.V. *Kontseptsii sovremennogo yestestvoznaniya. Konspekt lektsiy [Concepts of Modern Natural Science. A Summary of Lectures]*. Moscow: AST, 2010. 160 p. (in Russian)

2. Einstein A. *Sobraniye nauchnykh trudov v chetyrekh tomakh [A Collection of Scholarly Works in Four Volumes]*. Moscow: Nauka, 1965–1967 (in Russian).

К содержанию

УДК 628.953.3(470.5)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ В КОММЕРЧЕСКОЙ НЕДВИЖИМОСТИ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО УРАЛА

И.М. Кирпичникова, О.С. Волкова

Представлен анализ энергопотребления в системах освещения объектов коммерческой недвижимости. Рассмотрены тенденции развития конструктивных особенностей современных полых световодов. Приведены результаты технико-экономического сравнения систем традиционного освещения и систем, на основе полых световодов на примере торгово-развлекательных комплексов г. Челябинска.

Ключевые слова: энергосбережение, светодиодное освещение, полые световоды.

Челябинская область является крупным промышленным регионом страны. Несмотря на экономический кризис, индекс промышленного производства в январе–феврале 2015 года (в % к январю–февралю 2014 года) составил 105,2 % [1]. Города области и административный центр динамично развиваются: строятся новые жилые кварталы, развивается инфраструктура, растет большое количество коммерческой недвижимости: офисы, торгово-развлекательные комплексы и бизнес-центры. С каждым годом в Челябинске ведется активное строительство и открытие крупноформатных торговых центров, которые приближаются к европейскому уровню. За 2014 год открыто 180 торговых объектов с торговой площадью 32,2 тыс. кв. м [2]. Развитие архитектуры г. Челябинска направлено на создание административных зданий с многоуровневыми крытыми парковками, спортивно-досуговых комплексов, многоуровневых автостоянок, офисных зданий. Уже сегодня электропотребление объектами коммерческой недвижимости составляет 17 % от общего энергопотребления города, в которых около 30 % потребляемой электроэнергии приходится на освещение [3]. Поэтому энергосберегающие мероприятия в этой сфере являются о*дними из приоритетных направлений инновационного развития, на достижение которых направлен Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»* [4].

В Челябинске существуют десятки крупных ТРК площадью от 30 тыс. м^2, чаще всего освещение в этих комплексах выполнено люминесцентными лампами, замена которых на светодиодное освещение приведет к значительной экономии средств. В таблице 1 приведена экономическая выгода при внедрении светодиодного освещения в наиболее крупных объектах коммерческой недвижимости города, для приближенных расчетов

мощность осветительной установки рассчитана методом удельной мощности, годовое энергопотребление рассчитано для 12-часового рабочего дня. Экономия денежных средств составила 24 %.

Таблица 1

Экономия денежных средств при внедрении светодиодного освещения в торгово-развлекательных комплексах г. Челябинска

Название ТРК	Площадь, тыс. м^2	Мощность осветительной установки, кВт		Годовое электропотребление, млн кВт-ч		Годовые затраты на освещение, млн руб.		Экономическая выгода, млн руб.
		ЛЛ	LED	ЛЛ	LED	ЛЛ	LED	
Горки	55	760	570	3,3	2,5	8,28	6,27	3,4
Фокус	70	965	725	4,2	3,2	10,5	8,03	4,3
Куба	50	690	520	3,0	2,3	7,53	5,77	3,1
Гагарин Парк	50	690	520	3,0	2,3	7,53	5,77	3,1
Фиеста	46	620	475	2,7	2,0	6,78	5,02	2,9
Родник	135	1860	1400	8,1	6,1	20,33	15,3	8,6
Урал	41	565	425	2,5	1,8	6,27	4,52	2,8

Одним из интересных вариантов энергосбережения в системе освещения объектов коммерческой недвижимости является система солнечного света или так называемые, полые световоды, которые являются концентраторами дневного света и позволяют практически без потерь передавать его мощный поток во внутренние помещения. Полые световоды освещают помещения, создавая требуемую освещенность, не затрачивая при этом электроэнергии. Кроме того, они лучше рассеивает солнечный свет, освещая все помещение, а не только пространство под светильником. В этих световодах для передачи света используется многократное зеркальное отражение от поверхности внутренней стенки.

Системы солнечного освещения позволяют:

- полностью заменить источник искусственного освещения в течение всего светового дня, что значительно снижает затраты на общее энергопотребление здания;
- уменьшить теплопритоки от искусственного освещения и, соответственно, мощности и стоимость оборудования для кондиционирования и эксплуатационные расходы;
- включить в состав системы источник искусственного освещения (для темного времени суток);
- регулировать яркость передаваемого света или полностью его выключить;
- получить полный спектр освещения (для передачи полноты красок интерьера помещений, а также повышения работоспособности и снижения утомляемости, которую вызывают искусственные источники света);
- повысить степень комфортности в помещениях [5].

Отличие систем освещения световодами от существующих традиционных оконных систем (оконные проемы, световые фонари) – значительно больший световой поток при равных сечениях светового проема по сравнению с традиционными устройствами, а также возможность передачи света на расстояние до 12-ти метров с поворотами без потерь.

Анализ теплофизических свойств показывает, что светопередача в световоде выше, чем у двухкамерного стеклопакета, а коэффициент теплопотерь приближен к самому распространенному в наших широтах современному стеклопакету [6].

Первый световод был смонтирован в 1874 году ученым-электротехником Владимиром Чиколевым на Охтинском пороховом заводе, под С.-Петербургом, для передачи света во взрывоопасные помещения. Это изобретение стало отправной точкой для дальнейшего развития световодов, но как многие изобретения российских ученых, получило промышленное внедрение в США и странах Западной Европы.

В Россию системы солнечного освещения вернулись в 2005 году под марками известных брендов, таких как Solatube, Solarspot, Lightway и др. На сегодняшний день в мире существует несколько десятков производителей световодов (см. табл. 2).

Таблица 2

Крупнейшие производители полых световодов

Страна-производитель	Название фирмы	Контакты
США	Solatube	- Solatube. International, Inc. 2210 Oak Ridge Way | Vista, CA 92081-8341
	Sun –Tek	- Sun-Tek. Manufacturing,Inc. 10303 General Drive, Orlando, Florida 32824
	Sunlight	- U.S. Sunlight Corp™ 923 Tahoe Blvd., Suite 110, Incline Village, NV 89451
	Solar Industries, Inc.	- Solar Industries, Inc 6151 S. Tucson Blvd. Tucson, AZ 85706
Дания	Sun Tunnel	- VELUX A/SÅdalsvej 99 2970 Hørsholm Denmark
Великобритания	Sun Pipe	- Sun Pipe Company, Inc. 510 Carlson Ct. , Batavia,Illinois USA 60510/
Испания	Sun pipes deplosun	- ESPACIO SOLAR C/ dels Vergós, 11 08017 · Barcelona Spain
Италия	Solarspot	- SOLARSPOT International Srl, Via Milano 96/A 21034 Cocquio Trevisago (VA) Italia 21034 Italia
Чехия	Lightway	- Lightway s.r.o. Lightway s.r.o. Hostivická 13/22, 155 21 Praha 5 Sobín, Česká republika

Современные конструкции систем солнечного освещения обладают дополнительными аксессуарами, такими как регулятор дневного света, который перекрывает доступ света в помещение или уменьшает его количество, или комплект для темного времени суток, содержащий искусственный источник света, что позволяет уменьшить количество светильников. Чаще всего в них встроены энергосберегающие светодиодные лампы. Также разрабатываются новые технологии, позволяющие применять световоды в условиях уральского климата: небольшое количество солнечных дней в году, снежный покров, осадки и т.д.

Учитывая, что средняя продолжительность светового дня за год на Южном Урале составляет 14 ч [7] (см. рис. 1), то применение комбинированных систем освещения: «световод + светодиод», существенно снизят затраты на электроэнергию, при этом позволят чувствовать себя комфортно в темное время суток. На рис. 2 представлена продолжительность включения светодиодов в системе «световод + светодиод» в течение года для 12-часового рабочего дня с 10:00 до 22:00.

Сравнение традиционной системы освещения с люминесцентными лампами и энергосберегающей системы на основе полых световодов на примере коммерческой недвижимости г. Челябинска представлено в таблице 3. При расчете учитывалось, что освещение помещений светодиодами в составе полых световодов будет осуществляться 745 часов в год.

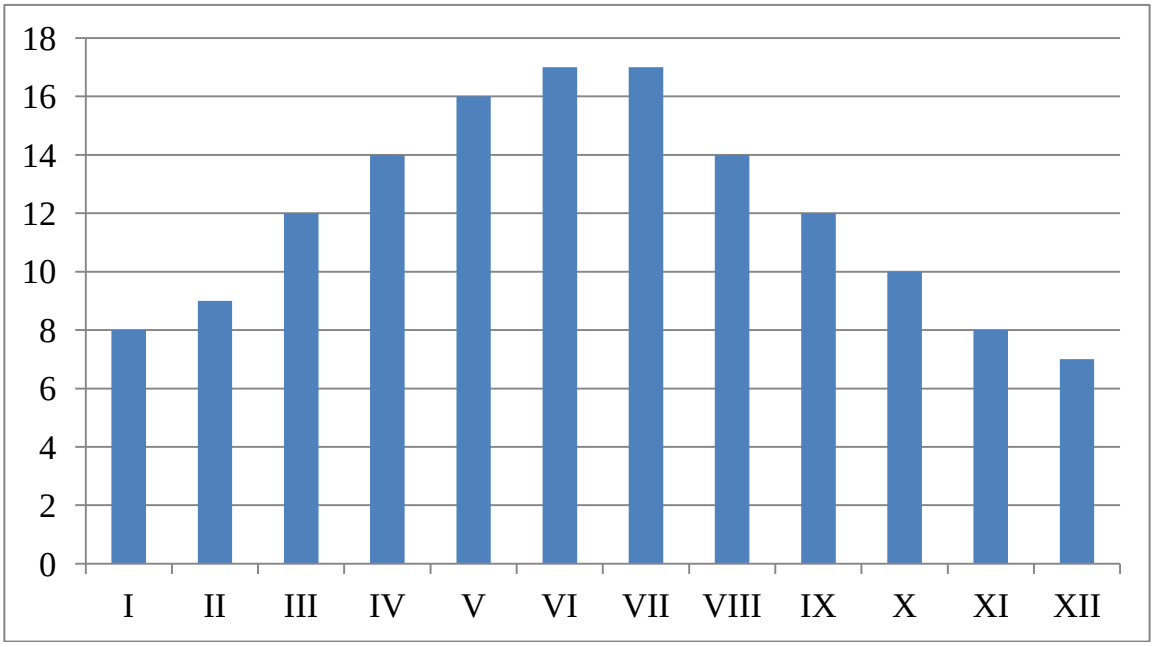


Рис. 1. Продолжительность светового дня в г.Челябинске в течение года, ч

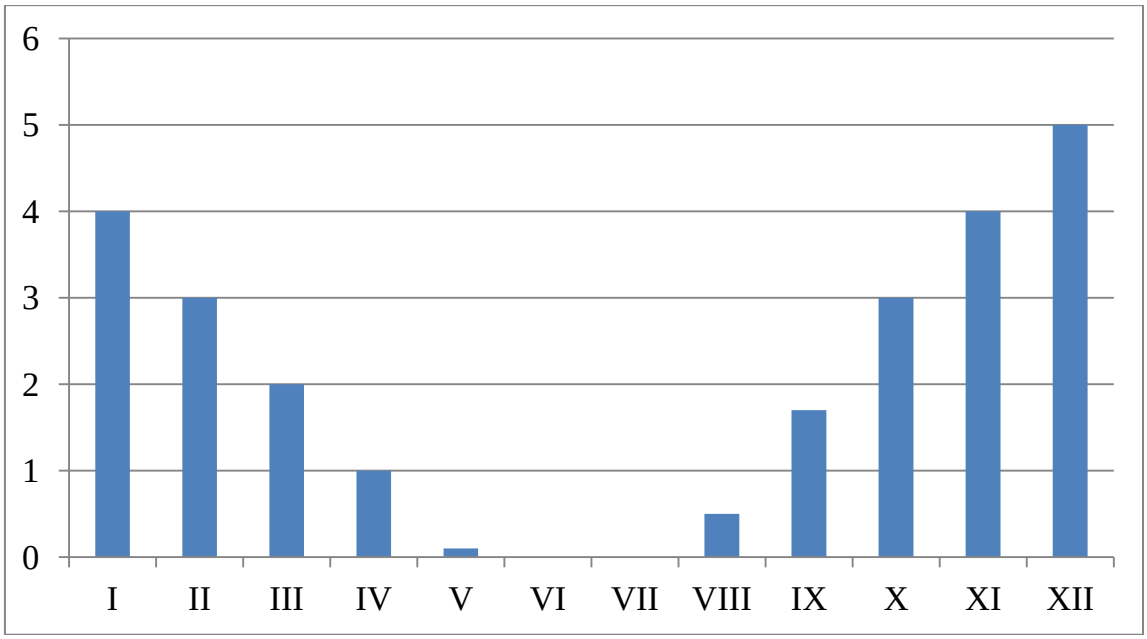


Рис. 2. Продолжительность работы светодиодных ламп
в составе солнечных световодов, ч

Таблица 3

Сравнение традиционной системы освещения
и системы солнечного света на основе полых световодов

Название ТРК	Годовое электропотребление, млн кВт-ч		Годовые затраты на освещение, млн руб.		Капитальные затраты на реконструкцию системы освещения, млн руб.	Срок окупаемости, лет
	ЛЛ	Световод + светодиод	ЛЛ	Световод+ светодиод		
Горки	3,3	0,4	8,28	1,06	28,08	3,9
Фокус	4,2	0,5	10,5	1,33	35,64	
Куба	3,0	0,3	7,53	0,92	25,56	
Гагарин Парк	3,0	0,3	7,53	0,92	25,56	
Фиеста	2,7	0,3	6,78	0,82	23,4	
Родник	8,1	1,0	20,33	2,56	68,88	
Урал	2,5	0,2	6,27	0,71	20,88	

Выводы. Внедрение высокоэффективных энергосберегающих систем освещения, таких как системы солнечного света на основе полых световодов с установкой в них светодиодных ламп, позволяет не только повысить инсоляцию помещений, но и сократить текущие затраты на электроосвещение, при чем капиталовложения на реконструкцию окупятся менее чем за четыре года.

Библиографический список

1. URL: http://pravmin74.ru/chelyabinskaya-oblast/ekonomicheskoe-razvitie.
2. Комплексный аналитический доклад «Итоги социально-экономического развития гороад Челябинска за 2014 год». – URL: http://cheladmin.ru/oficialnaya-informaciya/ekonomika/socialno- ekonomicheskoe-razvitie-goroda-chelyabinska.
3. Потребление электроэнергии в Российской Федерации. – URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/industrial.
4. Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // СПС «Гарант».
5. Саломатин, А.В. Научное обоснование новых технологий устройства солнечного освещения в зданиях / А.В. Саломатин, Ю.Н. Казаков // Энергосовет. – 2013. – № 6 (31). – URL: http://www.energosovet.ru/bul_stat.php?idd=440.
6. Сравнительные характеристики мансардных окон и систем освещения Solatube. – URL: http://www.energosovet.ru/Image/entech/Solar5.pdf.
7. URL: http://voshod-solnca.ru.html.

К содержанию

УДК 621.436

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ТОПЛИВА В КАНАЛАХ КОНУСА РАСПЫЛИТЕЛЯ ФОРСУНКИ ДИЗЕЛЯ МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО КОНФОРМНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ

В.С. Гун, В.С. Морозова, А.А. Бакин

В статье представлено применение метода расчета течения топлива, основанного на численном конформном отображения произвольной односвязной области на прямоугольник. Описана методика применения численного конформного отображения для преобразования области течения топливной смеси в расчетную область простого вида – прямоугольник. Изложены преимущества численного конформного отображения, для решения задач численного моделирования физических процессов широкого назначения. Представлены результаты расчетных исследований полей скоростей в идеальном (невязком) приближении течении топлива в каналах конуса распылителя при различных изменениях геометрических параметров проточной части, изменении положения иглы форсунки и положения распыливающих отверстий.

Ключевые слова: форсунка, конус распылителя, течение среды, конформное отображение, распыливающие отверстия, поля скоростей, метод конечных элементов.

Обеспечение высоких технико-экономических показателей дизелей с учетом ужесточающихся требований по мощности и экологическим параметрам невозможно без совершенствования системы топливоподачи, оказывающей определяющее влияние на процессы смесеобразования и сгорания. Удовлетворение комплекса требований к показателям дизелей только за счет увеличения давления впрыска топлива не представляется возможным. Повышение топливной экономичности, обеспечение гибкого алгоритма регулирования и повышение надежности топливной систем Common Rail требует совершенствование геометрии проточной части форсунки. На этапе проектирования необходимо определять параметры распылителя в зависимости от мощности дизеля и частоты вращения коленчатого вала с учетом алгоритма управления ходом иглы распылителя. Основное влияние на дисперсность распыливания, и дальнобойность струи топлива оказывают давление впрыскивания и эффективное проходное сечение, что позволяет обеспечить совершенствование процесса впрыскивания путем подбора геометрических параметров распылителей.

Проведенный анализ показывает, что дальнейшее увеличение уровня давления впрыскивания не дает существенного улучшения качества смесеобразования. Удовлетворение современных требований к показателям по-

дачи и распыливания топлива возможно лишь при использовании на этапе проектирования топливных форсунок Common Rail современного программного обеспечения для расчета течений в каналах сложной формы.

Разработка методов решения задач математической физики, включая моделирование течения вязкой жидкости в каналах сложной формы с использованием методов построения и адаптации расчетных сеток и численно-аналитических методов построения конформных отображений, включена в план фундаментальных исследований Академии наук на 2013–2025 г. [2].

Внедрение систем впрыска Common Rail, основанных на принципе подачи топлива к форсункам от общего аккумулятора высокого давления, позволило разделить процессы создания давления и впрыск топлива.

Отмечается [3], что, внутренняя геометрия и состояние гидравлических трактов форсунок во многом определяют пропускную способность и рабочие характеристики узлов впрыска топлива. Поскольку, особенно в системах Common Rail, приходится учитывать точное распределение во времени скорости подачи топливных смесей, сравнимое по длительности со временем формирования фронтов распыливания, актуальна задача расчета нестационарных по времени потоков в гидравлических трактах.

В работе [1] был изложена методика расчета течения топлива в канале ЭГФ путем перехода к расчетной области простого вида – прямоугольнику. Переход осуществляется путем применения численного конформного отображения.

Предложенная методики расчета обладает следующими преимуществами:

Геометрические параметры исходной области задаются однократно и в дальнейшем не меняются при вычислении величин, зависящих от времени (нестационарных).

В параметрической (прямоугольной) области могут быть использованы различные методы расчета физических величин (сеток, конечных объемов, быстрого преобразования Фурье и др).

Проявляются расчетные преимущества метода конечных разностей. Могут быть применены экономичные схемы координатного расщепления (переменных направлений, локально-одномерной и т.д.) с высокой степенью параллелизма вычислений.

Различные системы уравнений, описывающие течение среды (Навье – Стокса, теплопроводности и др.), могут решаться каждое на своей сетке с высоким порядком точности.

Граничные условия для этих уравнений при таком преобразовании переходят к простому виду условий на прямолинейных сторонах расчетной области.

Становится возможным вводить сетки с учетом резкого изменения решения в различных областях (пограничный слой на границе области течения, скачки уплотнения и т.д).

Упрощаются различные операции с полями расчетных величин (температур, давлений, скоростей) – отображение графическими системами, дифференцирование, интерполирование, интегрирование, вычисление градиентов, пересчет с сетки на сетку и т.д.

В связи с этим системы преобразования расчетного пространства из физического в параметрическое вызывают возрастающий интерес по мере, с одной стороны, роста сложности задач, с другой – повышения возможностей вычислительной техники.

В настоящей работе описано применение разработанного комплекса программ моделирования нестационарных процессов на основе численного конформного отображения к расчету течений в каналах конуса распылителя опытной форсунки, учитывающее зависимость течения топливной струи от геометрии канала и положения иглы.

Предложенная методика, кроме решения основной задачи – формирования «расчетной среды» для решения основных краевых задач, позволяет непосредственно, «на глаз» оценить качество профилирования канала форсунок. Эта возможность основана на гидродинамической интерпретации аналитических функций двух переменных, реализующих конформное отображение.

На рис. 1 показана физическая область течения гидравлических трактов распылителя.

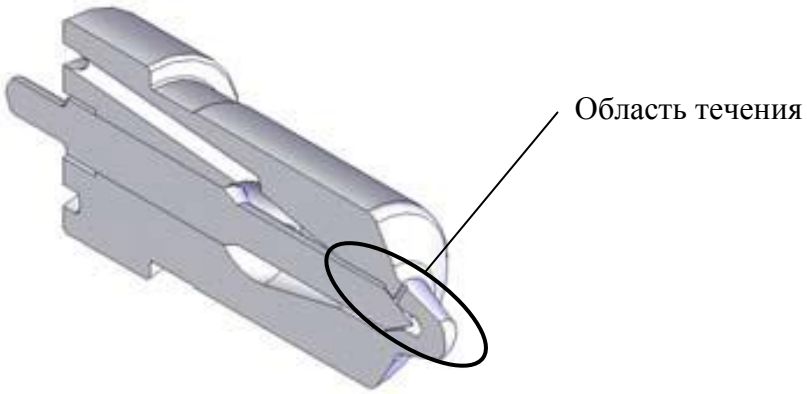


Рис. 1. Область течения. Канал игла-корпус распылителя

Примем в качестве приближения течения топлива в канале потенциальное (безвихревое) течение несжимаемой жидкости. Линии тока этого течения представляет собой траектории движущихся частиц. Следовательно, по их положению, а также по виду полей векторов скоростей на протяжении промежутка времени положения иглы распылителя можно оценить «качество» течения. Равномерное, без резких расширений и сужений распределение линий тока с малым изменением векторов по величине и направлению свидетельствует о малой изменчивости течения, следовательно – «плавности» протекания через канал форсунки. Неравномерное, с зо-

нами расширения и сужения – о затрудненном течении с высоким гидравлическим сопротивлением, застойными зонами, возможной кавитацией и фазовыми превращениями – вскипанием, появлением и схлопыванием газовых (кавитационных) полостей. Это позволяет производить быструю предварительную оценку работы проектируемого канала форсунки без проведения точных расчетов течения.

На рис. 2 показана расчетная сетка конечных элементов в канале распылителя форсунки для построения конформного отображения.

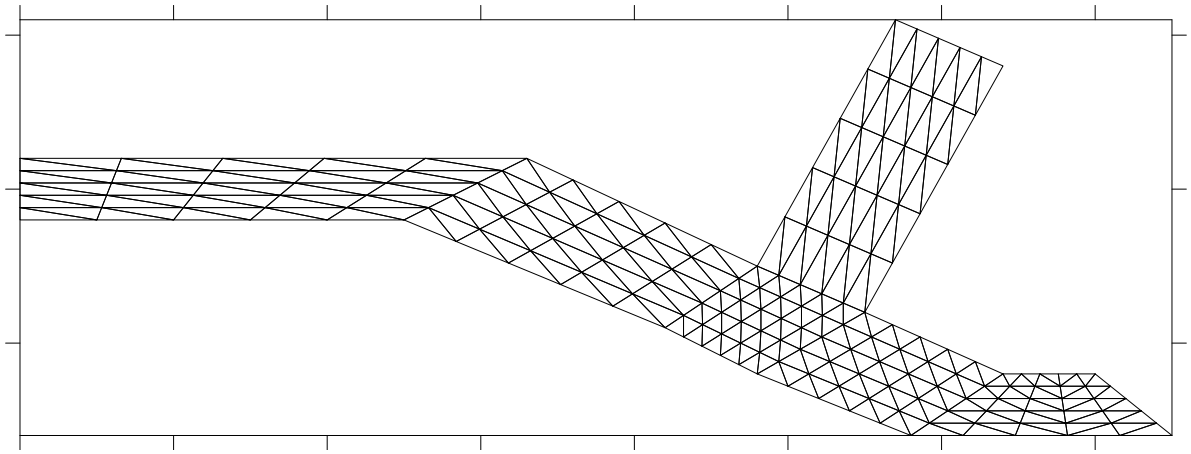


Рис. 2. Сеть конечных элементов в канале распылителя форсунки для построения конформного отображения

На рис. 3 показаны линии тока течения топлива в канале форсунки.

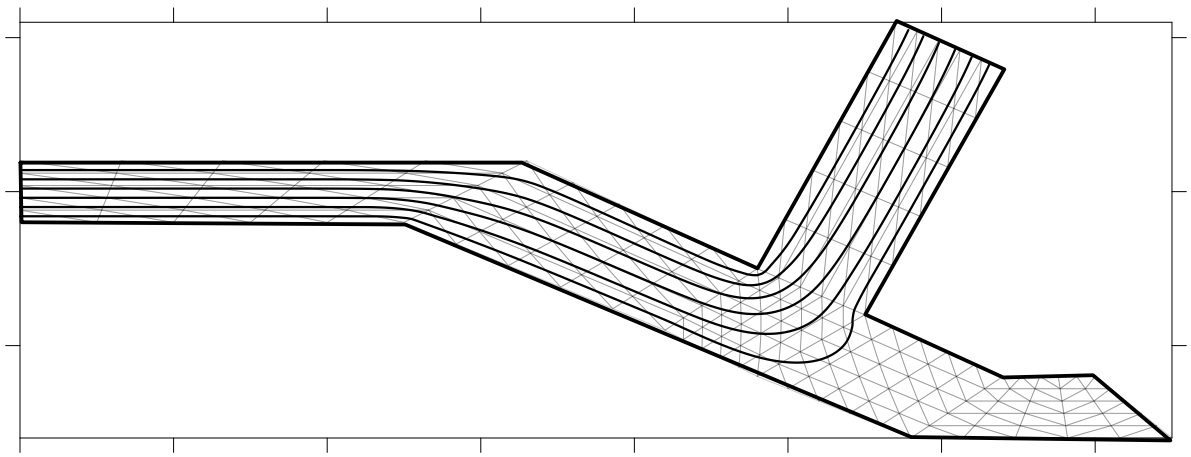


Рис. 3. Линии тока течения топливной смеси в канале форсунки

На рис. 4 показано поле скоростей течения топлива в канале форсунки.

На рис. 5 показано поле скоростей течения топлива в канале форсунки при увеличенной длине и уменьшенном диаметре распыливающего отверстия (верхнее положение иглы).

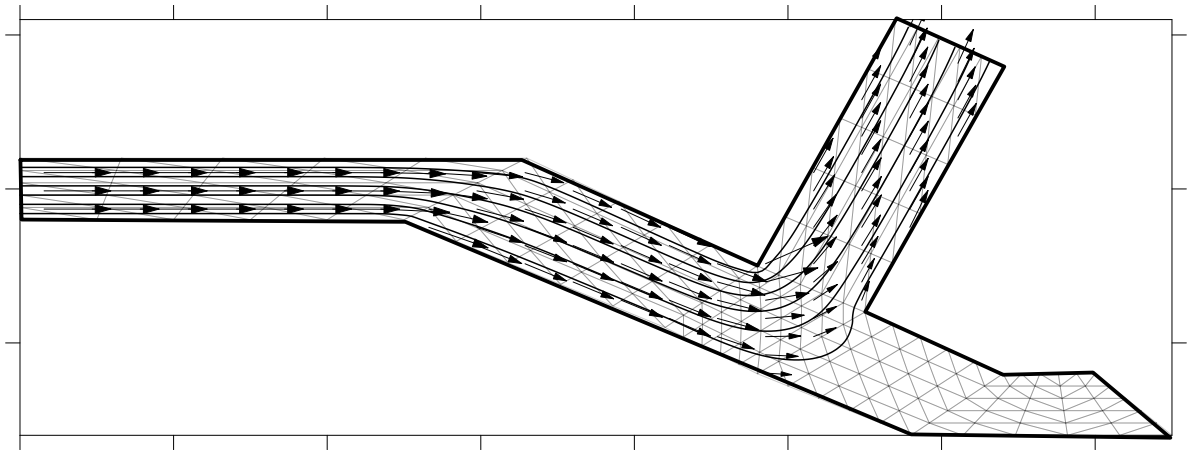


Рис. 4. Поле скоростей течения топливной смеси в канале форсунки при верхнем положении иглы

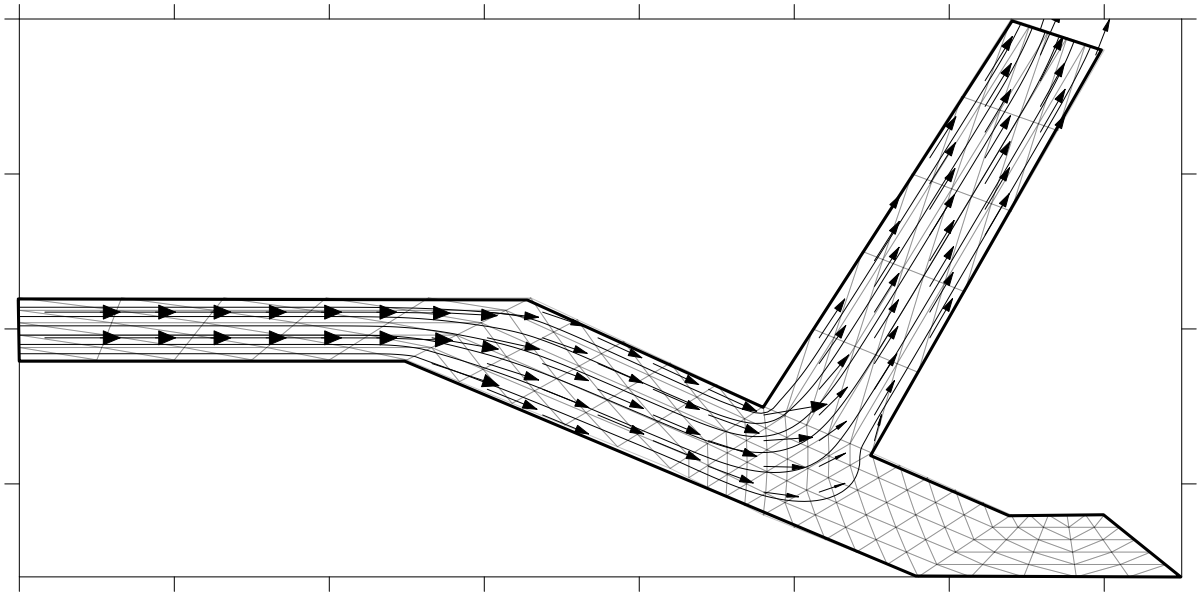


Рис. 5. Поле скоростей течения топлива в канале форсунки при увеличенной длине и уменьшенном диаметре распыливающего отверстия (верхнее положение иглы)

На рис. 6 показано поле скоростей течения топлива в канале форсунки при увеличенной длине и уменьшенном диаметре распыливающего отверстия (среднее положение иглы).

На рис. 7 показано поле скоростей течения топлива в канале форсунки при изменении угла наклона распыливающего отверстия (верхнее положение иглы).

На рис. 8 показано поле скоростей течения топлива в канале форсунки при изменении угла наклона распыливающего отверстия (среднее положение иглы).

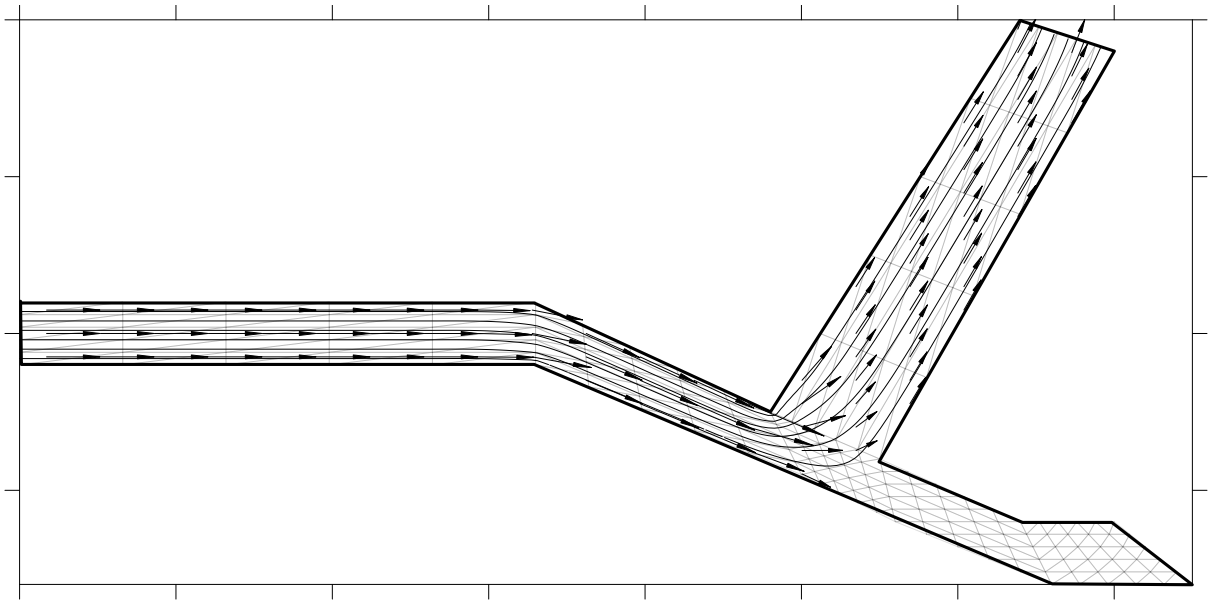


Рис. 6. Поле скоростей течения топлива в канале форсунки при увеличенной длине и уменьшенном диаметре распыливающего отверстия (среднее положение иглы)

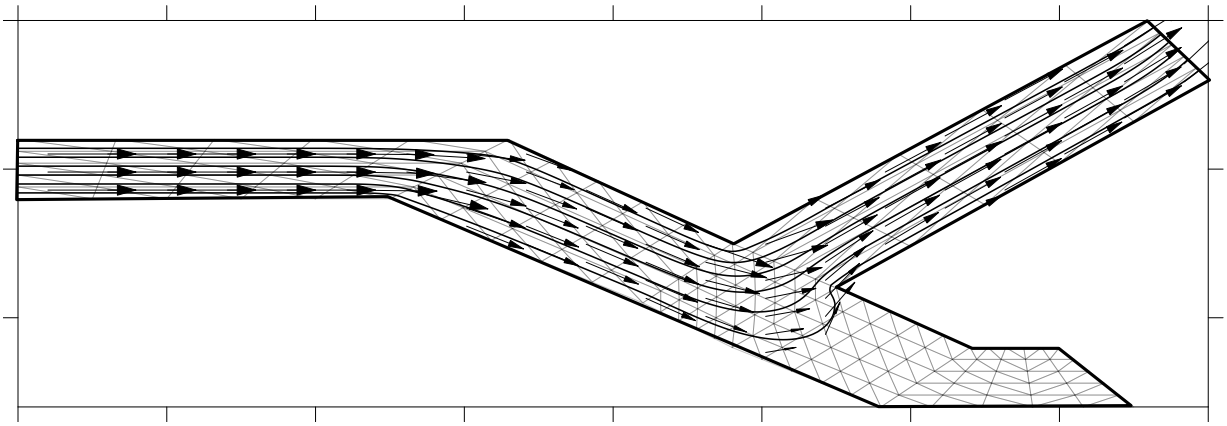


Рис. 7. Поле скоростей течения топлива в канале форсунки при изменении угла наклона распыливающего отверстия (верхнее положение иглы)

При анализе распределения скоростей обращает на себя внимание наличие застойных зон в канале (оконечная часть) а также наличие явно выраженных максимумов вблизи крайних угловых точек, где наблюдается срыв потоков с кромок канала распылителя.

Таким образом, используя данную методику построения конформного отображения канала распылителя, можно на стадии проектирования графически показать, как влияют острые кромки на отрыв потока топливной смеси, а следовательно, на эффективное проходное сечение, величину заряда. Скругление острых кромок канала распылителя, использование до-

полнительных фасок, плавный вход смеси в канал и непосредственно распыливающие отверстия – неполный перечень мероприятий, приводящий к повышению точности дозирования заряда.

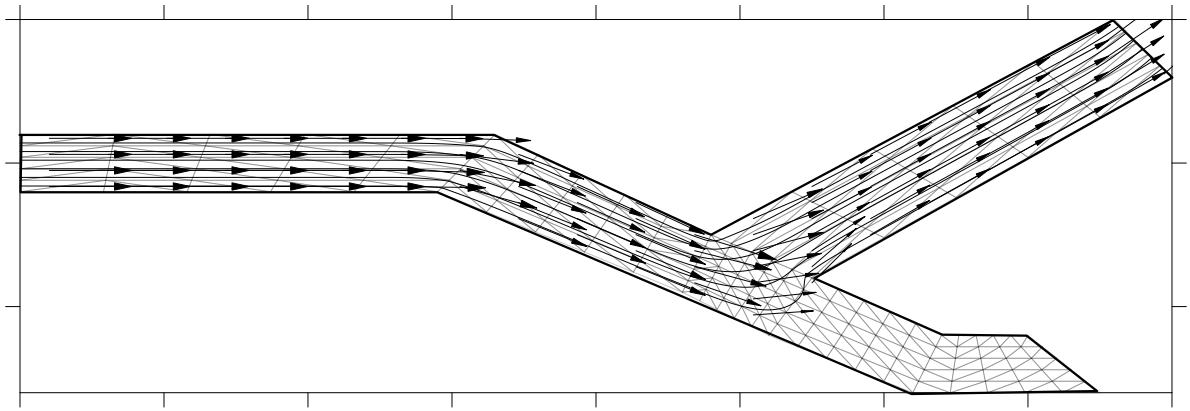


Рис. 8. Поле скоростей течения топлива в канале форсунки при изменении угла наклона распыливающего отверстия (среднее положение иглы)

На рис. 9 показано поле скоростей течения топлива в канале форсунки при изменении угла наклона распыливающего отверстия (1/3 от верхнего положения иглы).

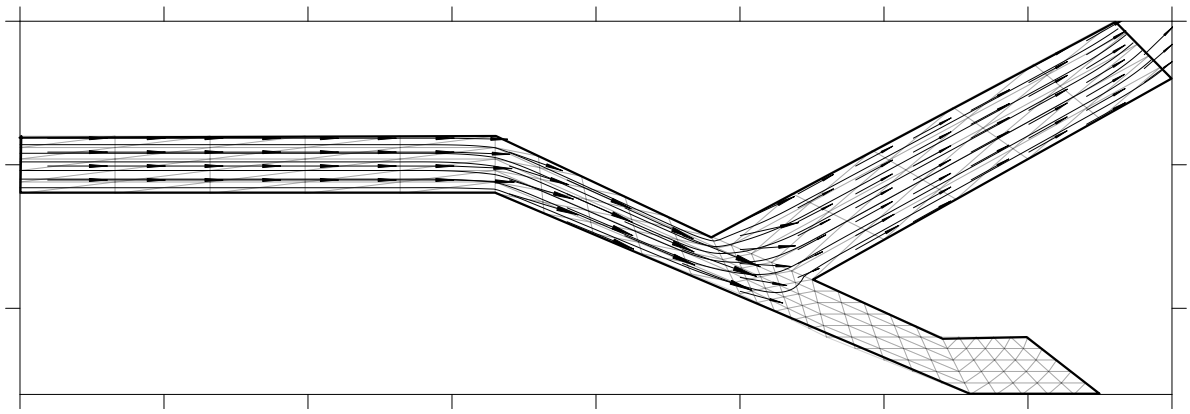


Рис. 9. Поле скоростей течения топлива в канале форсунки при изменении угла наклона распыливающего отверстия (1/3 от верхнего положения иглы)

Выводы

Расчет течения топлива в каналах распылителей позволяет определить оптимальные геометрические параметры области течения.

Исследовано влияние геометрии конуса распылителя и положения иглы форсунки на распределение скоростей течения топлива.

Предложенная методика позволяет обеспечивать требуемое качество распыливания за счет регулирования геометрических параметров проточной части распылителя как для сопловых так и для штифтовых форсунок.

Библиографический список

1. Морозова, В.С. Метод расчета течения вязкой среды в каналах распылительной форсунки дизеля / В.С. Морозова, В.С. Гун, В.Л. Поляцко // Вестник ЮУрГУ Сер. «Машиностроение». – 2013. – Вып. 13. – № 2. – С. 75–80.

2. План фундаментальных исследований Российской академии наук на период до 2025 года. – URL: http://https://www.ras.ru/scientificactivity /plan2025.aspx/.

3. Грехов, Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для вузов / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с.

4. Лазарев, В.Е. Повышение ресурса распылителей топлива в дизелях снижением нагруженности прецизионных сопряжений: дис. … д-ра техн. наук / В.Е. Лазарев. – Барнаул. АГТУ им. И.И. Ползунова. –336 с.

К содержанию

УДК.620.9 + 621.311.2

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

И.М. Кирпичникова, А.А. Малюгина

Проведен обзор состояния энергетической отрасли, показано, что возобновляемая энергетика стремительно развивается. Для обоснования целесообразности применения возобновляемых источников энергии для производства тепловой и электрической энергии проведен сравнительный анализ традиционных тепловых электростанций и установок на основе ВИЭ по показателям энергетического срока окупаемости.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, энергетическая эффективность, срок энергетической окупаемости электростанций.

Данные аналитических обзоров состояния энергетической отрасли в мире показывают, что возобновляемая энергетика стремительно развивается. Это видно из данных табл. роста установленной мощности электростанций на базе основных видов возобновляемых источников энергии (ВИЭ) за период 2004–2012 годы в ведущих странах мира (REN21, 2005–2013) [1].

Таблица

Индукторы состояния и темпов развития возобновляемой энергетики мира

Индикаторы (показатели)	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Инвестиции в новые проекты (ежегодно), млрд. USD	30	40	55	104	130	161	227	279	244
Мощность электростанций на базе ВИЭ (без ГЭС), ГВт	99	116	136	163	180	250	315	395	480
Производство электроэнергии на базе БИО ТЭС, ТВт·ч	н.д.*	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	313	335	350
Мощность фотоэлектрических станций – ФЭС, ГВт	2,0	3,5	5,1	7,6	16	23	40	71	100
Мощность солнечных термодинамических станций, ГВт	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	1,1	1,6	2,5
Мощность ВЭС, ГВт	48	59	74	94	121	159	198	238	283
Тепловая мощность солнечных водонагревательных установок, ГВт (тепл.)	77	88	105	125	145	180	195	223	255
Производство биоэтанола, млрд. л.	30,5	33	39	53	69	76	85	84,2	83,1
Производство биодизеля, млрд.л.	2,1	3,9	6	10	15	17	18,5	22,4	22,5
Количество стран, установивших государственную цель в использовании ВИЭ	45	52	н.д.	68	75	85	109	118	138
Штаты, провинции, страны, установившие надбавки к тарифам на электроэнергию	37	41	н.д.	51	75	88	94	99	99
Штаты, провинции, страны, установившие квоты на производство электроэнергии на базе ВИЭ	38	38	н.д.	50	55	56	72	74	76
Штаты, провинции, страны с квотами на добавки биотоплива в бензин	22	38	н.д.	53	55	65	71	72	76

Примечание: н.д.* – нет данных.

Объем инвестиций в проекты возобновляемой энергетики за рассматриваемый период увеличился с 30 млрд до 244 млрд долларов, т.е., среднегодовой рост инвестиций составил 30 %. При этом установленная мощность электростанций на основе ВИЭ увеличилась с 99 ГВт до 480 ГВт.

Странами–лидерами по введению новых мощностей на базе ВИЭ (без учета ГЭС), являются: Китай – 90 ГВт; США – 86 ГВт; Германия – 71 ГВт; Испания – 31 ГВт; Италия – 29 ГВт; Индия – 24 ГВт.

Учитывая эти тенденции, можно утверждать, что возобновляемая энергетика может стать эффективным средством выхода из сложившегося на сегодняшний день энергетического кризиса.

Для определения энергетической эффективности (ЭЭ) возобновляемой энергетики проведем ее сравнение по этому показателю с другими видами используемых источников энергии, в частности с тепловыми электростанциями.

Энергетическая эффективность определяется при оценке эффективности использования всех видов топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), потребляемых и вторичных. Показателем ЭЭ является абсолютная или удельная величина потребления или потерь энергетических ресурсов, необходимых для производства продукции любого назначения или выполнения технологического процесса.

Этот показатель зависит от вида тепловой электростанции. Они могут быть: конденсационные (КЭС); теплоэлектроцентрали (ТЭЦ); газотурбинные установки (ГТУ); парогазовые установки (ПГУ); атомные электростанции (АЭС).

На КЭС и АЭС для конечного потребления производится только электроэнергия, на ТЭЦ и ГТУ производится совместная выработка электроэнергии и теплоты, на ПГУ возможны оба варианта. КЭС, АЭС и ТЭЦ работают с использованием пароводяного цикла Ренкина, ГТУ используют газовый цикл, а ПГУ комбинацию парового и газового циклов.

При расчете энергетической эффективности все виды топливно-энергетических ресурсов обычно приводятся к одному количественному показателю. Таким показателем может быть:

– физический эквивалент энергии, заключенный в ресурсе и соответствующий первому закону термодинамики;

– относительная работоспособность (2 закон термодинамики);

– количество теоретически полезной энергии, которая может быть получена из ТЭР в рассматриваемых условиях.

Расчет ведется в соответствие с [2]. Для тепловых электростанций основным показателем энергетической эффективности является их КПД и удельный расход топлива. При этом необходимо иметь в виду, что этот КПД имеет два значения: КПД1 – это отношение выработанной энергии к затраченной, а КПД2 – отношение отпущенной энергии к затраченной. Разница между этими значениями показывает потери и потребление выработанной энергии на собственные нужды.

Известно, что КПД тепловой электростанции определяется:

$$\eta_{\text{ТЭС}} = \frac{P_Э}{\text{В} \cdot Q_{\text{Н}}^{\text{Р}}},$$

где Рэ – электрическая мощность, выработанная ТЭС; В – расход топлива на выработку электроэнергии; $Q_{\text{Н}}^{\text{Р}}$ – теплота сгорания рабочего топлива.

Тогда расход топлива на ТЭС для выработки электрической мощности Рэ определяется формулой:

$$\text{В} = \frac{P_Э}{\eta \cdot Q_{\text{Н}}^{\text{Р}}}.$$

Удельный расход топлива определяется отношением полного расхода топлива к выработанной энергии за рассматриваемый период.

Кроме того, при сравнении двух видов источников энергии большое значение имеет качество потребляемой или вырабатываемой энергии, т.е. ее способность совершать полезную техническую работу. Максимальная полезная работа, которую может совершить энергия при переводе ее до уровня параметров окружающей среды, называется эксергией. Ее примерные значения для рассматриваемых источников равны:

– Электроэнергия – 95 % и более;
– Теплота сжигаемого топлива – 20–40 %;
– Источники механической энергии:
  – ветровая – 30 %,
  – энергия малых рек и водотоков – 60 %,
  – волновая и приливная – 65 %;
  – тепловые солнечные коллекторы – 35 %;
  – фотоэлектрические преобразователи – 15 %.

Если рассматривать эти источники для их преобразования в тепловую энергию, то наибольшей эффективностью обладает электрическая энергия. Однако ее использование, например, для целей отопления, будет очень энергозатратным. Поэтому с точки зрения эксергии, лучше использовать возобновляемые источники энергии.

Другим параметром, характеризующим энергетическую эффективность возобновляемой энергетики, является период, в течение которого электроустановка или электростанция будет производить такое же количество энергии, какое было затрачено на ее создание, монтаж, эксплуатацию и другие расходы, связанные с работой электростанции.

Этой энергией, которая называется связанной, определяется срок энергетической окупаемости электростанции на возобновляемых источниках энергии [3]:

$$T_{ок} = \frac{Э_С}{Э_П}, лет,$$

где $Э_С$ – связанная электроэнергия, кВт·ч; $Э_П$ – среднее годовое значение производства электроэнергии электростанцией, кВт·ч/год.

Для различных объектов возобновляемой энергетики этот срок будет разный. Например, для фотоэнергетической – станции мощностью 62 МВт с максимальным КПД солнечных модулей 16 %, энергетическая окупаемость составляет около 6-ти лет. Это значение получено для условий Испании со среднегодовым приходом солнечной радиации 1900 кВт·ч/м^2 в год.

Для местности с приходом солнечной энергии 1700 кВт·ч/м^2 в год в зависимости от вида солнечного модуля (монокристаллический, поликристаллический или аморфный) срок энергетической окупаемости составляет соответственно от 2,2 до 0,75 лет. Основной составляющей связанной энергии в данном случае является технологический процесс производства полупроводникового кремния солнечной градации и самих солнечных элементов.

Практически такие же показатели имеют и ветроэлектростанции, т.е. обладают высокой энергетической эффективностью.

Если с этих позиций рассматривать тепловые и атомные электростанции, то энергетический срок их окупаемости теоретически равен бесконечности, т.к. для производства электрической или тепловой энергии они постоянно потребляют энергию в виде топлива. Преобразование этой энергии в другие виды идет с КПД, который всегда меньше единицы.

Это сравнение показывает, что использование при производстве энергии возобновляемых источников энергии, поможет человечеству решить проблемы энергетического кризиса.

Библиографический список

1. REN21. Renewable Energy Policy for the 21-st Century. Renewables. Global Status Report. 2005 ÷ 2013.

2. ГОСТ 51387-99. Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения. – М., 1999.

3. Безруких, П.П. Об индикаторах состояния энергетики и эффективности возобновляемой энергетики в условиях экономического кризиса / П.П. Безруких // Вопросы экономики. – 2014. – Т. 8.

К содержанию

УДК 620.91 + 621.311.24

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПИТАНИЯ АВТОНОМНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ОТ ГРУППЫ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВЫХ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

А.А. Козин

Произведен анализ капитальных вложений в электростанции различных типов. Приведены три возможных варианта роста тарифов на электроэнергию. Выполнен расчет экономии денежных средств потребителем при установке четырех вертикально-осевых ВЭУ в особой экономической зоне «Байкальская гавань», расположенной в Республике Бурятия, с учетом роста тарифов. Рассмотрен экономический эффект, достигаемый при работе ветроустановок при номинальной скорости ветра. Сделаны выводы об экономической эффективности ветроэнергетических установок.

Ключевые слова: экономика альтернативных источников энергии, экономическая эффективность ветроустановок, окупаемость возобновляемых источников энергии.

В настоящий момент многие авторы отмечают, что электростанции, работающие на нетрадиционных источниках энергии, часто проигрывают традиционным электростанциям по экономическим показателям [1].

Рассмотрим величину капитальных вложений в электростанции разного типа (табл. 1):

Таблица 1

Капитальные вложения в электростанции разного типа

Вид электростанции	Капительные вложения, долл./кВт	
	2005	2030 (прогноз)
Традиционная гидроэнергетика	1550–5500	1550–5500
Атомная электростанция	1500–1800	1500–2300*
ТЭС на угле	1000–1200	1000–1250
ТЭС на газе	450–600	400–500
Наземная ветроэнергетическая станция	900–1100	800–900
Морская ветроэнергетическая станция	1500–2500	1500–1900
* Оценка авторов работы [2] Источник: [2] со ссылкой на Международное энергетическое агентство		

В таблице 1 приведена оценка удельных капитальных вложений в электростанции разного типа. На сегодняшний день самым дешевым видом генерации является газовая. Из представленных в таблице видов электростанций в обозримой перспективе снижение удельной стоимости прогнозируется лишь для ветроэлектростанций и ТЭС на газе [3].

За последние десятилетия, действительно, произошло значительное улучшение экономических показателей электростанций, работающих на основе нетрадиционных источников энергии, и в некоторых случаях они уже могут конкурировать с традиционными электростанциями.

Для расчета экономического эффекта от использования возобновляемых источников энергии, необходимо также учитывать ежегодный рост тарифов на электроэнергию. В соответствии с прогнозом долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года (в ред. от марта 2013 года) [4] рост цен в период с 2011 г. по 2015 г. составит 160–165 %. При этом, существуют 3 варианта дальнейшего роста тарифов в период с 2016 г. по 2030 г.:

1) на 180 %;
2) на 158 %;
3) на 141 %.

Выполним расчет денежных средств, которые будут сэкономлены потребителем, в результате установки четырех ВЭУ в особой экономической зоне «Байкальская гавань», расположенной в Республике Бурятия.

На основании результатов проведенных испытаний ВЭУ, смонтированных в «Байкальской гавани» примем, что ежедневно группа ВЭУ вырабатывает 5,810 кВт*ч (поскольку средняя скорость ветра за период испытаний примерно равна среднегодовой скорости ветра).

При этом в 2012 года стоимость 1 кВт*ч для прочих потребителей в Бурятии составляла – 2,2655 руб./кВт*ч [5]

Предполагая, что рост тарифов будет равномерным, получаем следующие результаты, показанные в таблице 2.

На основании полученных тарифов на электроэнергию рассчитан экономический эффект от использования группы ветроэнергетических установок, приведенный в таблице 3.

Таким образом, в период с 2013 г. по 2030 г. экономический эффект от введения в эксплуатацию ветроэнергетических установок за счет экономии оплаты потребленной электроэнергии и роста тарифов составит от 471 128, 62 руб. до 584 567, 17 руб.

Стоимость одной вертикально-осевой ветроэнергетической установки ООО «ГРЦ-Вертикаль» мощностью 3 кВт с комплектом необходимого оборудования на текущий момент составляет около 500 000 рублей. При расчете размера первоначальных инвестиций, необходимо принимать во внимание, что реализация электроснабжения потребителей при помощи альтернативных источников энергии в особой экономической зоне «Байкальская гавань» предусмотрена инновационным проектом «Энергосбережение и альтернативные источники энергии», который включает в себя государственное субсидирование и льготы – что существенно снижает финансовую нагрузку на потребителей.

Таблица 2

Расчет тарифов с 2012 года по 20130 год в республике Бурятия

Год	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Рост тарифов	40 %	40 %	40 %	40 %															
Вариант 1	2,27	3,17	4,44	6,22	12,00 %	12,00 %	12,00 %	12,00 %	12,00 %	12,00 %	12,00 %	12,00 %	12,00 %	12,00 %	12,00 %	12,00 %	12,00 %	12,00 %	12,00 %
					6,96	**7,80**	**8,73**	**9,78**	**10,96**	**12,27**	**13,74**	**15,39**	**17,24**	**19,31**	**21,62**	**24,22**	**27,13**	**30,38**	**34,03**
Вариант 2					10,53 %	10,53 %	10,53 %	10,53 %	10,53 %	10,53 %	10,53 %	10,53 %	10,53 %	10,53 %	10,53 %	10,53 %	10,53 %	10,53 %	10,53 %
					6,87	**7,60**	**8,40**	**9,28**	**10,26**	**11,34**	**12,53**	**13,85**	**15,31**	**16,92**	**18,71**	**20,68**	**22,85**	**25,26**	**27,92**
Вариант 3					9,40 %	9,40 %	9,40 %	9,40 %	9,40 %	9,40 %	9,40 %	9,40 %	9,40 %	9,40 %	9,40 %	9,40 %	9,40 %	9,40 %	9,40 %
					6,80	**7,44**	**8,14**	**8,90**	**9,74**	**10,66**	**11,66**	**12,76**	**13,95**	**15,27**	**16,70**	**18,27**	**19,99**	**21,87**	**23,92**

Таблица 3

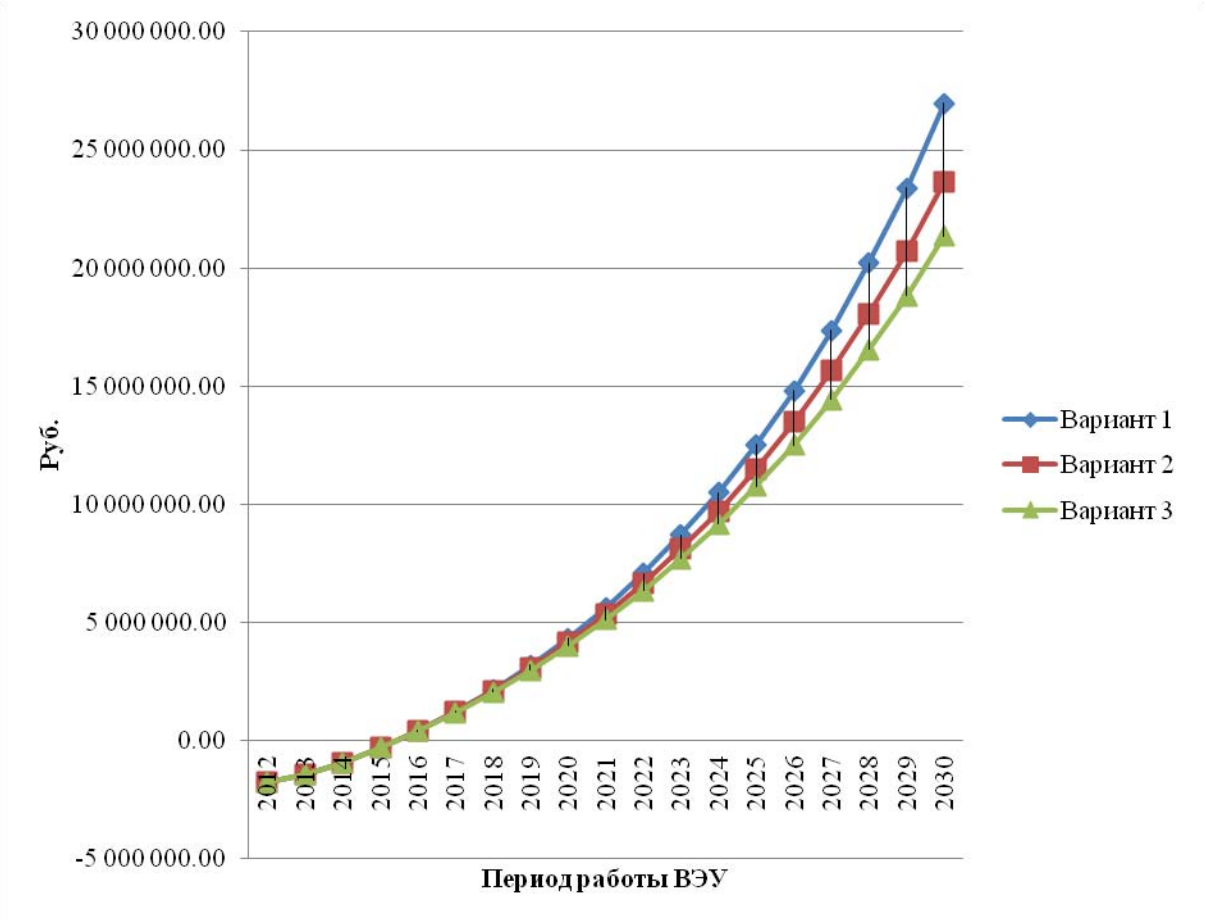
Расчет экономического эффекта

Год	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	**Итого**
Вар. 1	4804,33	6726,07	9416,49	13183,09	14765,06	16536,87	18521,29	20743,85	23233,11	26021,08	29143,61	32640,84	36557,74	40944,67	45858,03	51361,00	57524,32	64427,23	72158,50	**584567,17**
Вар. 2	4804,33	6726,07	9416,49	13183,09	14571,71	16106,59	17803,15	19678,42	21751,21	24042,34	26574,80	29374,01	32468,08	35888,05	39668,26	43846,65	48465,16	53570,16	59212,88	**517151,45**
Вар. 3	4804,33	6726,07	9416,49	13183,09	14422,30	15778,00	17261,13	18883,67	20658,74	22600,66	24725,12	27049,28	29591,91	32373,55	35416,67	38745,84	42387,94	46372,41	50731,42	**471128,62**

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что даже при столь малых среднегодовых скоростях ветра ветроэнергетические установки в «Байкальской гавани» будут окупаться, хотя и весьма продолжительный срок.

Предположим, что проект был реализован в ином регионе Российской Федерации со среднегодовой скоростью ветра равной скорости ветра, при которой вертикально-осевые ветроэнергетические установки мощностью 3 кВт работают в номинальном режиме – 10,5 м/с. В таком случае (а также, предполагая, что тарифы на электроэнергию в данном регионе будут равны тарифам в республике Бурятия) получаем следующий экономический эффект (табл. 4).

На основании полученных цифр построим графики окупаемости проекта (рис.) с учетом первоначальных инвестиций (принимаем равными 2 000 000 рублей для четырех вертикально-осевых ВЭУ):



Графики окупаемости проекта при работе ВЭУ на номинальной скорости ветра с учетом первоначальных инвестиций

Таблица 4

Моделирование экономического эффекта для работы ВЭУ при номинальной скорости ветра

Год	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	**Итого**
Вариант 1	238 149,36	333 409,10	466 772,75	653 481,84	731 899,67	819 727,62	918 094,94	1 028 266,33	1 151 658,29	1 289 857,29	1 444 640,16	1 617 996,98	1 812 156,62	2 029 615,41	2 273 169,26	2 545 949,58	2 851 463,52	3 193 639,15	3 576 875,84	**28 976 823,73**
Вариант 2	238 149,36	333 409,10	466 772,75	653 481,84	722 315,26	798 399,14	882 497,18	975 453,55	1 078 201,33	1 191 771,87	1 317 305,17	1 456 061,31	1 609 433,10	1 778 960,06	1 966 343,85	2 173 465,40	2 402 403,76	2 655 456,96	2 935 165,09	**25 635 046,09**
Вариант 3	238 149,36	333 409,10	466 772,75	653 481,84	714 909,14	782 110,60	855 628,99	936 058,12	1 024 047,58	1 120 308,05	1 225 617,01	1 340 825,01	1 466 862,56	1 604 747,64	1 755 593,92	1 920 619,75	2 101 158,00	2 298 666,86	2 514 741,54	**23 353 707,81**

Из рисунка видно, что при всех трех сценариях социально-экономического развития региона проект, введенный в эксплуатацию в 2012 году, начнет приносить прибыль уже в 2015 году.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что ветроэнергетические установки, установленные в условиях оптимального режима работы, не только не проигрывают традиционным электростанциям по экономическим показателям, но и могут быть более экономически эффективными.

Библиографический список

1. Гасникова, А.А. Роль традиционной и альтернативной энергетики в регионах Севера / А.А. Гасникова // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2013. – Вып. № 5(29).

2. Безруких П.П. Ветроэнергетика. Вымыслы и факты. Ответы на 100 вопросов / П.П. Безруких, П.П. Безруких (мл.). – М.: Институт устойчивого развития Общественной палаты Российской Федерации: Центр экологической политики России, 2011. – 74 с.

3. Перов, А. Низкоуглеродная энергетика [Электронный ресурс] / А. Перов // Независимая газета. – 2011. – 31 мая. – URL: http://www.ng.ru/energy/2011-05-31/14_trends.html.

4. Прогноз Министерства экономического развития Российской Федерации долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года (в ред. от марта 2013 года) – С. 138.

5. Постановление Правительства республики Бурятия от 05.10.2012 г. № 000 «О предварительной оценке социально-экономического развития Республики Бурятия за 2012 год, прогнозе социально-экономического развития Республики Бурятия на 2013 год и плановый период 2014 и 2015 годов».

К содержанию

УДК 631.22:697.2/.4:697.9 + 697.2/.4 + 697.9

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ОТОПИТЕЛЬНО-ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Г.А. Круглов, Е.С. Круглова

На условном примере рассмотрен вопрос утилизации тепла выбрасываемого вентиляционного воздуха животноводческого помещения с помощью теплового насоса и показана эффективность его использования. Все расчеты выполнены графическим способом с помощью *id*-диаграммы.

Ключевые слова: отопительно-вентиляционная система, животноводческое помещение, тепловой насос, эффективность системы, *id*-диаграмма.

В последние годы в связи с удорожанием энергоресурсов, как за рубежом, так и в нашей стране расширяются работы по использованию низкопотенциальных возобновляемых источников энергии. Одним из таких видов является выбрасываемый вентиляционный воздух. Использование в улавливании тепловой энергии от такого источника теплообменников по понятным причинам малоэффективно. Поэтому представляет интерес в таких случаях применение тепловых насосов. Оценим эффективность использования теплонасосной установки (ТНУ) в отопительно-вентиляционной системе животноводческого помещения на условном примере. Решение задачи осуществим с помощью *id*-диаграммы.

На рис. 1 приведена схема включения ТНУ в отопительно-вентиляционную систему животноводческого помещения. Свежий воздух через воздухозаборную шахту 8 проходит через конденсатор 2 ТНУ, где нагревается, и подается вентилятором 9 по воздуховоду 10 к воздухораспределителям 5, через которые раздается в животноводческое помещение. Воздушные потоки свежего воздуха 7 омывают помещение и собираются воздухосборным трубопроводом 6. Далее воздух по трубопроводу 11 подходит к отсасывающему вентилятору 12, который обеспечивает движение воздуха через испаритель 4 ТНУ, где отдает свою тепловую энергию и через воздуховыбросную шахту 13 выбрасывается в атмосферу.

Исходные данные:

– расход воздуха G = 1 кг/с;

– температура воздуха внутри помещения $t_{вн}$ = 16 °С;

– относительная влажность внутри помещения $\varphi_{вн}$ = 75 %;

– температура наружного воздуха $t_{н}$ = – 34 °С (для региона Челябинской области);

– влагосодержание наружного воздуха $d_н$ = 0,4 г/кг;

– температура выбрасываемого воздуха (после испарителя) $t_{выбр}$= – 4 °С.

Температура выбрана как наиболее приемлемая с целью получения максимального холодильного коэффициента ε = 2 и коэффициента преобразования $\varepsilon_o = \varepsilon + 1 = 2 + 1 = 3$. При таких температурных параметрах с помощью программы COOLTOOL несложно подобрать элементы ТНУ с указанными коэффициентами – холодильным и преобразования.

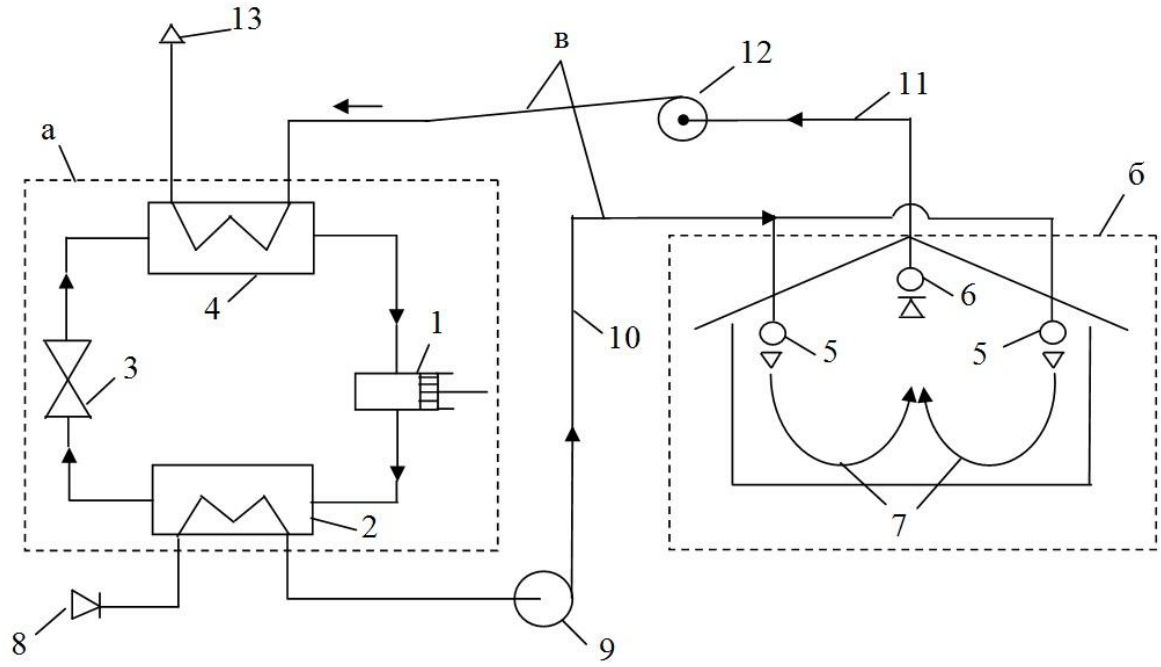


Рис. 1. Включение теплонасосной установки в отопительно-вентиляционную систему животноводческого помещения: а – схема теплонасосной установки: 1 – компрессор; 2 – конденсатор; 3 – дроссель; 4 – испаритель; б – животноводческое помещение в разрезе: 5 – воздухораздающие трубопроводы; 6 – воздухозаборный трубопровод; 7 – воздушные потоки в помещении; в – приточно-вытяжные системы воздуховодов: 8 – воздухозаборник свежего воздуха; 9 – вентилятор приточного воздуха; 10 – воздуховод приточного воздуха; 11 – воздуховод вытяжного воздуха; 12 – вентилятор вытяжного воздуха; 13 – воздуховыбросная шахта

Решение. По параметрам внутреннего воздуха ($t_{вн}$ = 16 °С и $\varphi_{вн}$ = 75 %) на *id*-диаграмме (рис. 2) находим точку А, характеризующую эти параметры микроклимата. По диаграмме внутренний воздух имеет влагосодержание $d_{вн}$ = 8,5 г/кг; энтальпия $i_{вн}$ = 37 кДж/кг, температура точки росы (точка В) $t_{т.р.}$ = 11,5 °С. Проходя через испаритель воздух охлаждается до $t_{т.р.}$ по d = const, а далее по кривой φ = 100 % до $t_{выбр}$= – 4 °С (точка С). Этот воздух имеет влагосодержание $d_{выбр}$ = 2,7 г/кг. То есть при охлаждении 1 кг воздуха конденсируется $\Delta d = d_{вн} - d_{выбр}$ = 8,5 – 2,7 = 5,8 г влаги. Энтальпия выбрасываемого воздуха $i_{выбр}$ = 3 кДж/кг.

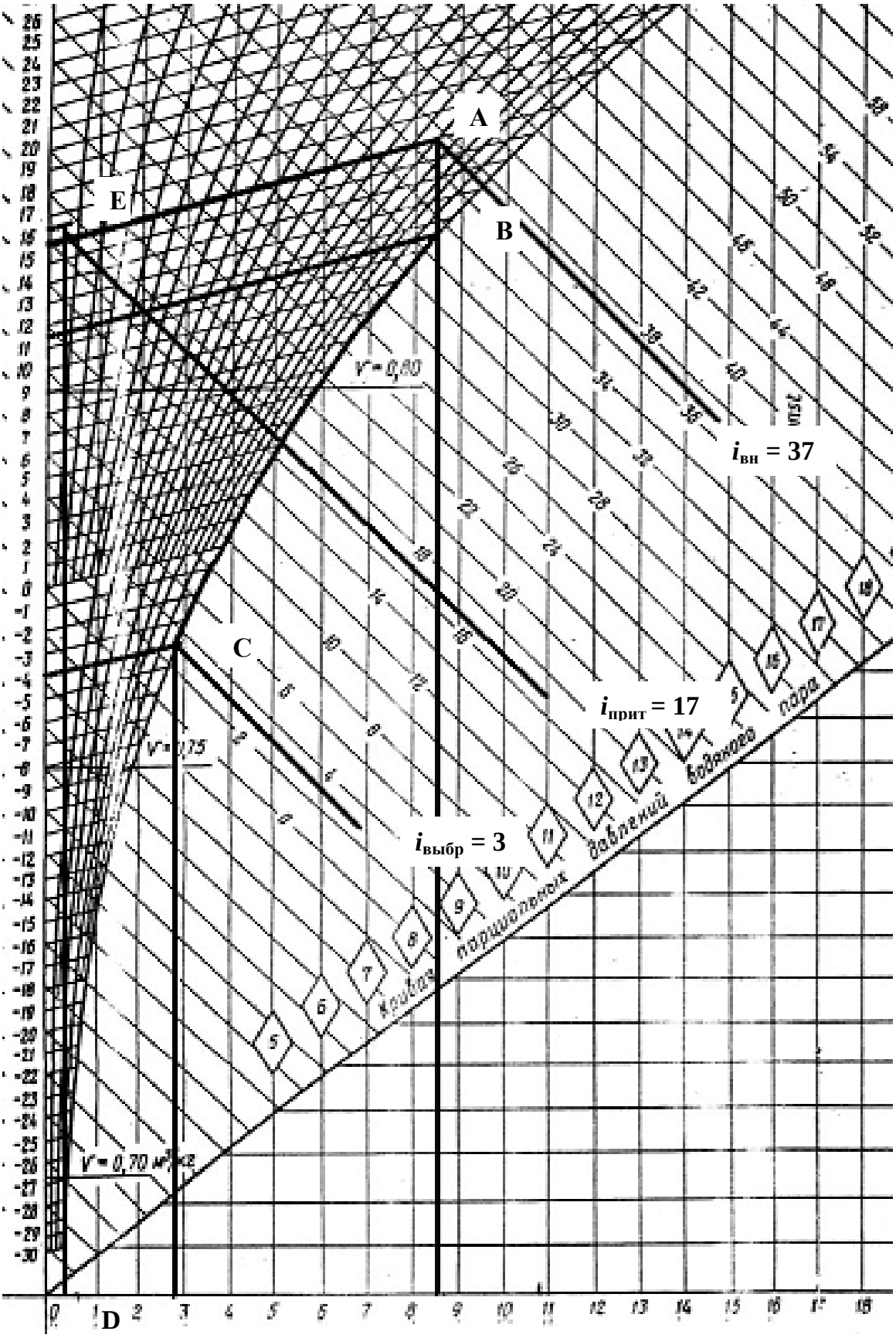


Рис. 2. Решение задачи по id-диаграмме

То есть при воздухообмене в 1 кг воздуха нами уловлено $Q_{исп} = \Delta i = i_{вн} - i_{выбр} = 37 - 3 = 34$ кДж энергии. Учитывая, что воздухообмен по условию осуществляется 1 кг/с, то уловленная энергия будет равна 34 кДж/с, то есть 34 кВт.

При достижении ТНУ холодильного коэффициента $\varepsilon = 2$ мощность привода компрессора будет равна $N_{привод} = 34 : 2 = 17$ кВт.

Если отопительный коэффициента $\varepsilon_o = \varepsilon + 1 = 3$, то тепло, выделенное в конденсаторе будет равно $Q_{конд} = Q_{исп} + N_{привод} = 34 + 17 = 51$ кДж. При воздухообмене G = 1 кг/с «мощность» конденсатора будет равна $Q_{конд}/1с$, то есть $N_{конд} = 51$ кДж/с = 51 кВт.

Температура наружного воздуха по условию $t_н = -34$ °С, влагосодержание $d_н = 0{,}4$ г/кг. Эти параметры дадут нам возможность найти точку D на *id*-диаграмме. Нагрев наружного приточного воздуха (в конденсаторе) происходит по d = const. Энтальпия наружного воздуха $i_н = c \cdot t_н = 1 \cdot (-34) = -34$ кДж/кг, где с – теплоемкость воздуха, с = 1 кДж/(кг·град). Если к этой энтальпии добавим 51 кДж/кг, то получим энтальпию приточного воздуха $i_{прит} = 51 - 34 = 17$ кДж/кг.

Точка пересечения $i = 17$ кДж/кг с линией нагрева наружного воздуха при d = 0,5 г/кг = const лежит на линии температуры приточного воздуха $t_{прит} = 16{,}5$ °С (точка Е).

Итак, затраченная мощность привода компрессора ТНУ $N_{привод} = 17$ кВт позволяет нам при воздухообмене 1 кг/с с указанными параметрами внутреннего и приточного воздуха обеспечивать объем тепла от выбрасываемого вентиляционного воздуха 34 кВт энергии и нагрев наружного воздуха до 16,5 °С с затратами тепловой энергии 51 кВт. Т.е. нагрев наружного воздуха может быть осуществлен без привлечения дополнительного источника тепла, а применение ТНУ уменьшает потребление энергии в 3 раза.

Учитывая, что в данной системе используются два вентилятора, на работу которых также расходуется энергия, то эффект будет несколько меньший. Вентиляционные сети в животноводческих помещениях, как правило, обладают незначительным сопротивлением, а расход в примере составляет 1 кг/с = 3600 кг/ч, то можно предположить, что на привод обоих вентиляторов будет использована мощность не более 5 кВт.

В сумме затраты энергии составят 17 + 5 = 22 кВт, а полученная тепловая энергия на нагрев наружного воздуха составила 51 кВт. Таким образом, затраты энергии на нагрев приточного воздуха при применении ТНУ в данных условиях уменьшаются в 51:22 = 2,32 раза.

Следует также отметить, что при более высокой наружной температуре, чем минус 34 °С, и температура приточного воздуха будет выше.

К содержанию

УДК 519.876.5 + 620.9

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛИТИЙ-ЖЕЛЕЗО-ФОСФАТНОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ ЯЧЕЙКИ И БАТАРЕИ НА ЕЕ ОСНОВЕ

А.С. Аникин, А.С. Мартьянов

В данной статье разработана имитационная энергетическая модель литий-железо-фосфатной аккумуляторной батареи. Методика моделирования и исследования энергетических процессов использует информационную систему поддержки автоматизированного проектирования и MATLAB.

Ключевые слова: MATLAB, Simulink, аккумуляторная ячейка, аккумуляторная батарея, имитационное моделирование, разрядная кривая.

Значительная доля в общем количестве вредного воздействия на окружающую среду приходится на выбросы загрязняющих веществ транспортными средствами. Именно это и является основной побуждающей причиной разработки новых экологически чистых видов транспорта [1]. На данный момент самым перспективным видом из них является электрический, который можно считать практически единственным решением проблемы загрязнения атмосферы. Поэтому в настоящее время многие автопроизводители тратят много сил на решение его конструктивных проблем. Следует отметить, что для большинства современных электромобилей кузов, шасси и многие другие механические узлы и агрегаты позаимствованы от серийных автомобилей с двигателем внутреннего сгорания.

К одному из важных элементов электромобиля, которым в настоящее время уделяется большое внимание разработчиков, относится зарядное устройство [2]. Оно преобразует переменный ток внешней сети в постоянный и регулирование постоянного тока и напряжения по определенным алгоритмам для заряда аккумуляторных батарей (АКБ), тяговой и вспомогательной. В связи с непрерывным совершенствованием аккумуляторных ячеек и разработкой новых электронных компонентов появляются и новые возможности по созданию силового электрооборудования с недостижимыми ранее характеристиками. Характерной чертой решения таких сложных научных и технических задач является широкое использование математического моделирования.

Существующая в пакете MatLab модель аккумуляторной ячейки имеет существенные недостатки для разработки устройств скоростной зарядки АКБ, т.к. не учитывает:

– влияние температуры на выходное напряжение;

– тепловыделение АКБ.

В научных источниках достаточно много работ по моделированию свинцово-кислотных аккумуляторных ячеек, отражающих тепловые процессы при зарядке и разрядке. Публикаций по получившим в настоящее время широкое распространение литий-ионным АКБ крайне мало, а по их современным литий-железо-фосфатным – практически отсутствуют. Однако для разработки алгоритмов быстрой зарядки литий-железо-фосфатных АКБ необходима ее имитационная модель, позволяющая контролировать напряжение на клеммах и температуру каждой ячейки в зависимости от протекающего тока.

При построении уравнений, связывающих параметры математической модели, была использована эквивалентная электрическая схема замещения (рис. 1) [3], представляющая собой определенным образом соединенные активные и реактивные элементы, каждый из которых имитирует определенный физико-химический параметр исследуемого аккумулятора или конструктивный элемент электрохимического аккумулятора.

Схема представляет собой последовательное соединение источника ЭДС E_m, четырех активных сопротивлений R_1, R_2, R_p, R_0. Для учета инерционности процесса разряда-заряда параллельно R_1 включена электрическая емкость C_1, моделирующая переходные процессы при включении и отключении нагрузки.

Номинальное напряжение ячейки составляет 3,2 В, а нижний и верхний пределы (в зависимости от процесса заряда или разряда) напряжения разомкнутой цепи аккумулятора – 2,8 и 3,8 В при температуре 25 °С [4]. При выходном напряжении устройства скоростной зарядки 600–800 В батарея должна состоять из как минимум 200 последовательно соединенных ячеек.

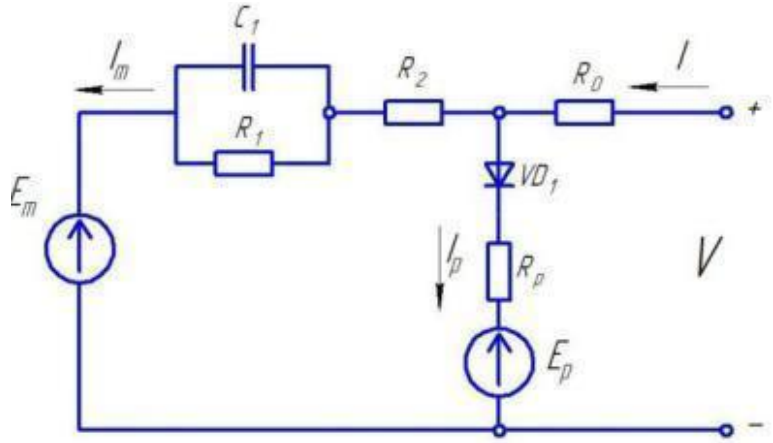


Рис. 1. Эквивалентная электрическая схема модели электрохимической ячейки аккумулятора

Ниже приведена система уравнений (1) батареи для представленной выше схемы замещения. Математическая модель будет использоваться для имитации параметров, включая основную ветвь, паразитарную ветвь, емкость и температуру электролита.

Эквивалентная схема зависит от тока батареи и нелинейных элементов схемы. Приведенная выше система уравнений батареи описывает компоненты внутри блока ячейки батареи, представленной на рис. 1. Система не моделирует внутреннюю химию свинцовых аккумуляторных батарей напрямую; эквивалентная схема эмпирически приближает поведение, наблюдаемое на клеммах батареи.

$$\begin{cases} E_m = E_{m0} - K_E(273+\theta)(1-SOC), \\ R_1 = -R_{10}ln(DOC), \\ C_1 = \frac{\tau_1}{R_1}, \\ R_2 = R_{20}\frac{e^{[A_{21}(1-SOC)]}}{1+e^{\left(A_{22}\frac{I_m}{I^*}\right)}}, \\ I_p = V_{pn}G_{p0}\mathrm{e}^{\left(\frac{\frac{V_{pn}}{(\tau_\rho s+1)}}{V_{\rho 0}}+A_p\left(1-\frac{\theta}{\theta_f}\right)\right)}, \\ Q_e(t) = Q_{e_init} + \int_0^t -I_m(\tau)dr, \\ C(I,\theta) = \frac{K_c C_{0*} K_t}{1+(K_c-1)\left(\frac{I}{I^*}\right)^\delta}, \\ SOC = 1 - \frac{Q_e}{C(0,\theta)}, \\ DOC = 1 - \frac{Q_e}{C(I_{avg},\theta)}, \\ I_{avg} = \frac{I_m}{(\tau_1 s+1)}, \\ \theta(t) = \theta_{init} + \int_0^t \frac{\left(P_s - \frac{(\theta-\theta_a)}{R_\theta}\right)}{C_\theta}d\tau, \\ P_S = \frac{V_{R_1}^2}{R_1} + I^2R_0 + I^2R_2, \\ R_0 = R_{00}[1+A_0(1-SOC)], \end{cases} \quad (1)$$

Эквивалентная схема замещения состоит из двух основных частей: из главной ветви (элементы R_1C_1, R_0), которая приблизительно описывает динамику батареи в большинстве условий, и паразитной ветви R_p, которая определяет поведения батареи в конце заряда. Далее приведено подробное описание каждой из ветвей схемы.

Математическая модель процессов в аккумуляторной ячейке реализована в среде MatLab приложении Simulink. Верификация модели осуществлялась по разрядной кривой ячеек SP-LFP90AHA фирмы «Sinopoly» [5]. Кривые сняты при токе разряда 90 А (1С) и температуре окружающей среды 20 ºС.

По рис. 2 можно отметить достаточно хорошую сходимость модели Максимальное отклонение составило 3 % при емкости 90 Ач, т.е. при полностью разряженной ячейке (такой режим не характерен для нормальной работы АКБ).

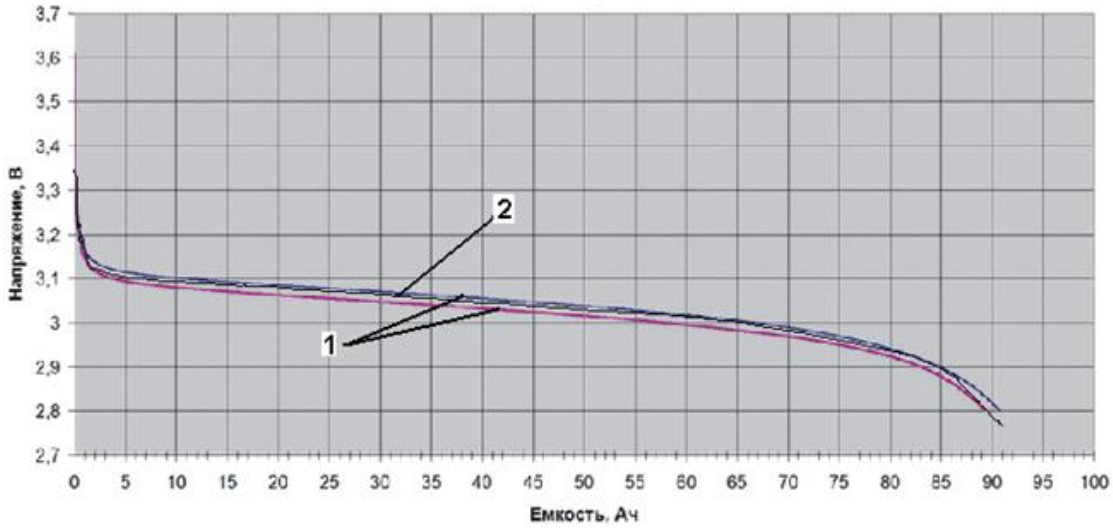


Рис. 2. Разрядные кривые 2-х ячеек SP-LFP90AHA, снятые опытным путем (1), и разрядная кривая модели данной ячейки (2)

Затем была составлена модель АКБ из 200 штук аккумуляторных ячеек SP-LFP90AHA. На данном этапе рассмотрен идеальный вариант, когда АКБ состоит из последовательно соединенных 25 блоков по 8 одинаковых ячеек с одинаковыми параметрами, которые внутри блока также соединены последовательно. АКБ разряжалась номинальным током 90 А (1С) при температуре окружающей среды 20 ºС, получившаяся при этом разрядная кривая всей батареи представлена ниже (рис. 3).

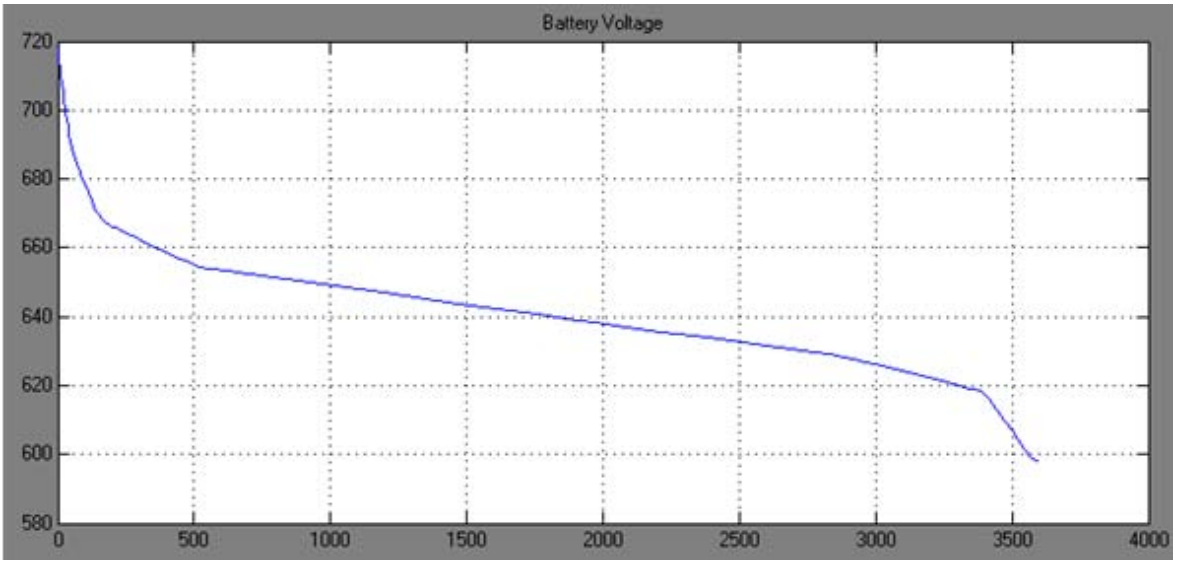


Рис. 3. Разрядная кривая АКБ током 90 А (1С)

На рис. 4 представлены осциллограммы напряжения и состояния заряда каждой из 200 ячеек совпадают, а температуры 1-ой и 8-ой ячеек каждого блока в конце разряда ниже на 0,3 °С, вследствие их теплообмена с окружающей средой.

В результате чего можно сделать вывод, что разработанные математические модели литий-железо-фосфатной ячейки и АКБ на ее основе позволяют контролировать напряжение на клеммах и температуру каждой ячейки в зависимости от протекающего тока. С их помощью можно проводить исследования и разработки как алгоритмов скоростной зарядки.

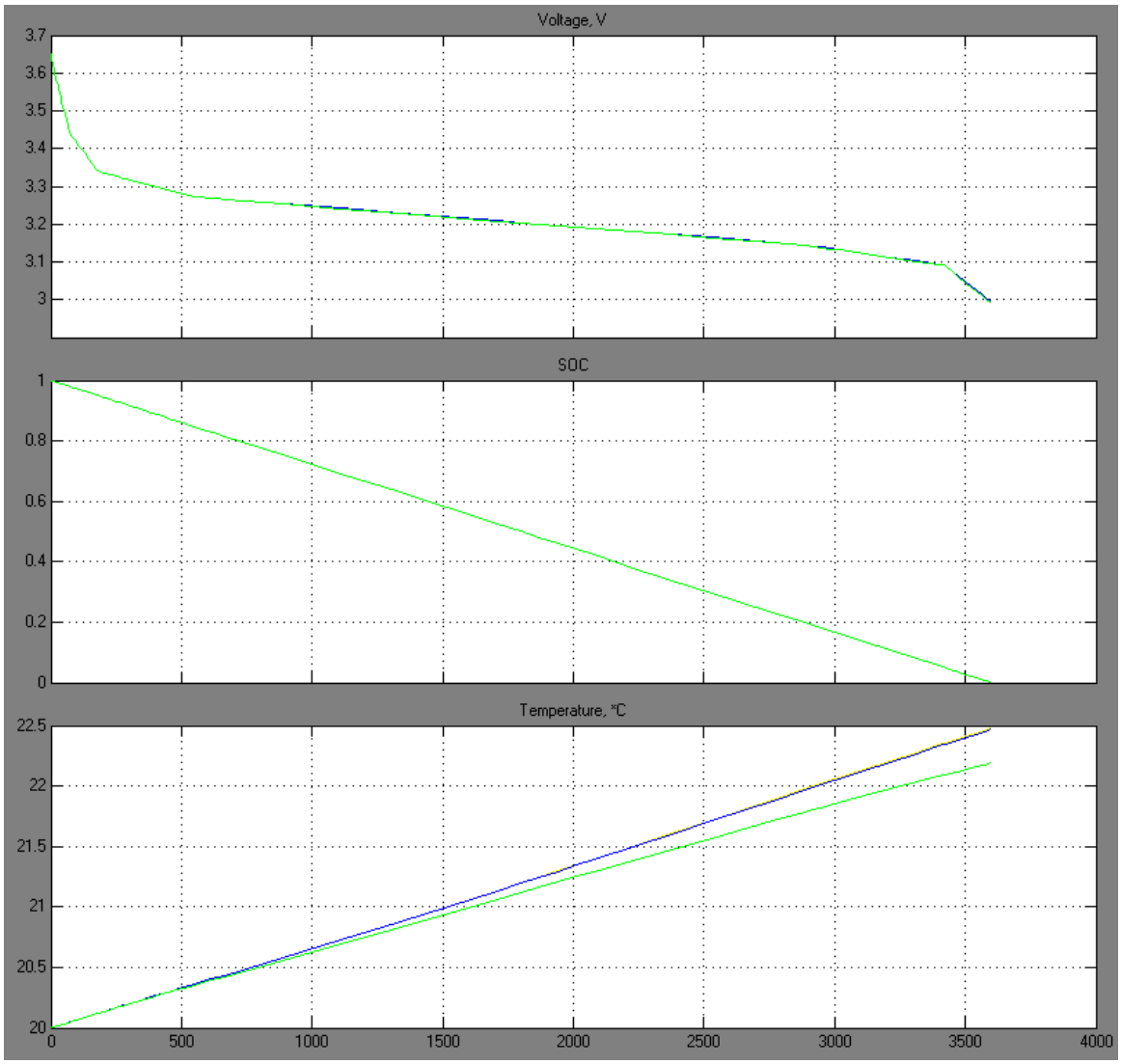


Рис. 4. Осциллограммы параметров аккумуляторных ячеек при разрядке АКБ током 90 А (1С)

Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках соглашения о предоставлении субсидии № 14.577.21.0154 от 28 ноября 2014 года (Уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57714X0154).

Библиографический список

1. Автомобили с электро- и гибридным приводом. Risiken minimieren und Herausforderungen meistern. Mechatronik. – Sonderh. Antriebstechnik, 2013. – С. 18–20.

2. Niederhausern, Anita [Накопительная электростанция на четырех колесах]. Speicherkraftwerk auf vier Radern / Niederhausern Anita // Erneuerbare Energ, 2009. – № 1. – Pp. 21–22.

3. Rahmoun A., Biechl H. Modelling of Li-ion batteries using equivalent circuit diagrams // PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY. – 2012. – Т. 88. – № 7 B. – Pp. 152–156.

4. He H., Xiong R., Fan J. Evaluation of lithium-ion battery equivalent circuit models for state of charge estimation by an experimental approach // Energies. – 2011. – Т. 4. – №. 4. – Pp. 582–598.

5. Product specification Product specification for SP-LFP60AHA [Руководство по эксплуатации].

К содержанию

УДК 519.876.5 + 621.314

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНОГО КЛЮЧА ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

А.С. Мартьянов

При разработке и исследовании различных высокоэффективных энергосберегающих решений часто встречается задача моделирования процессов, происходящих в импульсных транзисторных преобразователях электрической энергии. Важным элементом, влияющим на общую эффективность такого устройства, является силовой транзистор, работающий в ключевом режиме, причем такие параметры, как коммутационные потери, являются предметом исследования для эффективности всего устройства в целом. Статья описывает исследования влияния величины тока затвора и напряжения коммутации силового транзистора на эффективность работы ключа.

Ключевые слова: MATLAB, Simulink, импульсный преобразователь, имитационное моделирование, системы управления.

В задачах исследования алгоритмов заряда, разряда и переноса заряда аккумуляторных батарей часто бывает необходимо исследовать модель электронного преобразователя и процессов, происходящих в нем, т.к. режимы работы преобразователя будут влиять на эффективность работы зарядного устройства и КПД всей системы заряда аккумуляторных батарей [1].

Для анализа работы электронного преобразователя [2] было принято:

– КПД преобразователя будет складываться из КПД каждого узла, в котором происходит преобразование электрической энергии;

– основной частью преобразователя является электронный ключ, выполненный на биполярном транзисторе с изолированным затвором (БТИЗ либо IGBT);

– эффективность работы ключа определяется потерями, происходящими в этом ключе;

– потери в ключе складываются из потерь на коммутацию и потерь на проводимость.

Для исследования работы транзисторного ключа в среде MATLAB/Simulink [3] была разработана компьютерная модель тестовой установки, рис. 1.

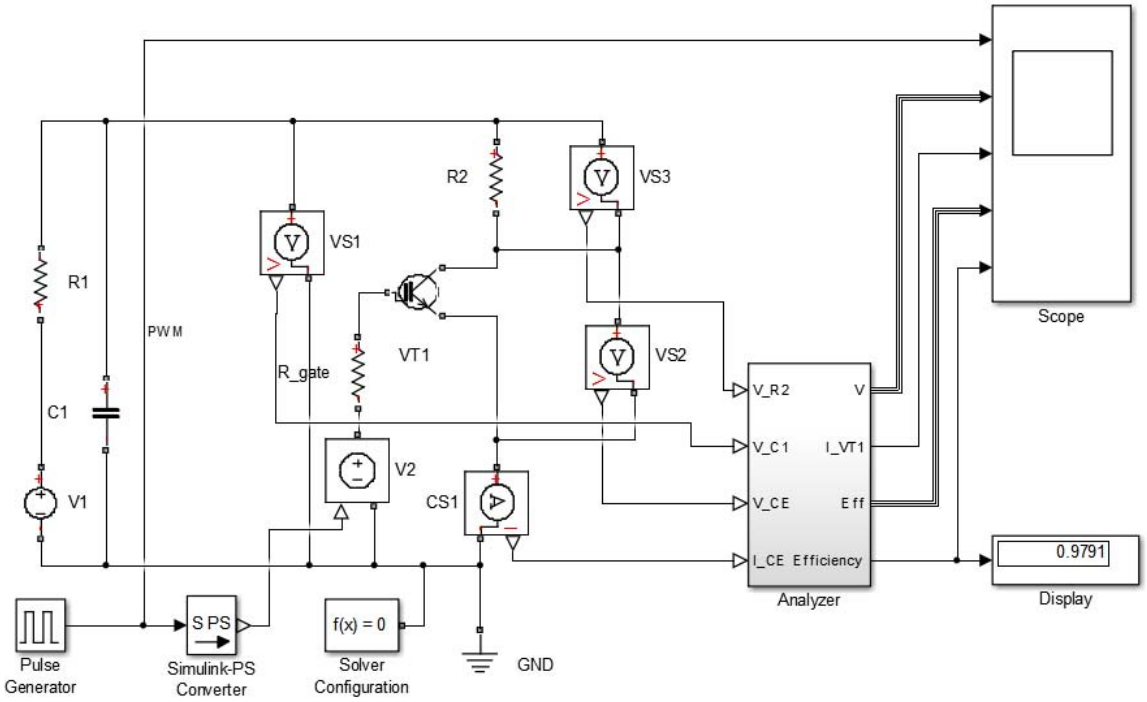


Рис. 1. Блок-схема модели в MATLAB/Simulink

Модель состоит из следующих элементов:

V1 – источник постоянного напряжения;

V2 – источник импульсов для управления транзистором;

VS1… VS3 – датчики напряжений в соответствующих местах схемы

CS1 – датчик тока;

C1 – фильтрующий конденсатор на входе преобразователя;

VT1 – исследуемый транзистор;

R1 – внутреннее сопротивление источника электрической энергии;

R_gate – резистор, ограничивающий ток затвора;

R2 – сопротивление нагрузки;

Pulse Generator – генератор импульсов для источника V2;

Analyzer – блок согласования измеряемых сигналов и расчета мощностей;

Scope – осциллограф для просмотра сигналов;

Display – цифровой индикатор измеряемой величины;

Блока-схема модуля Analyzer представлена на рисунке 2.

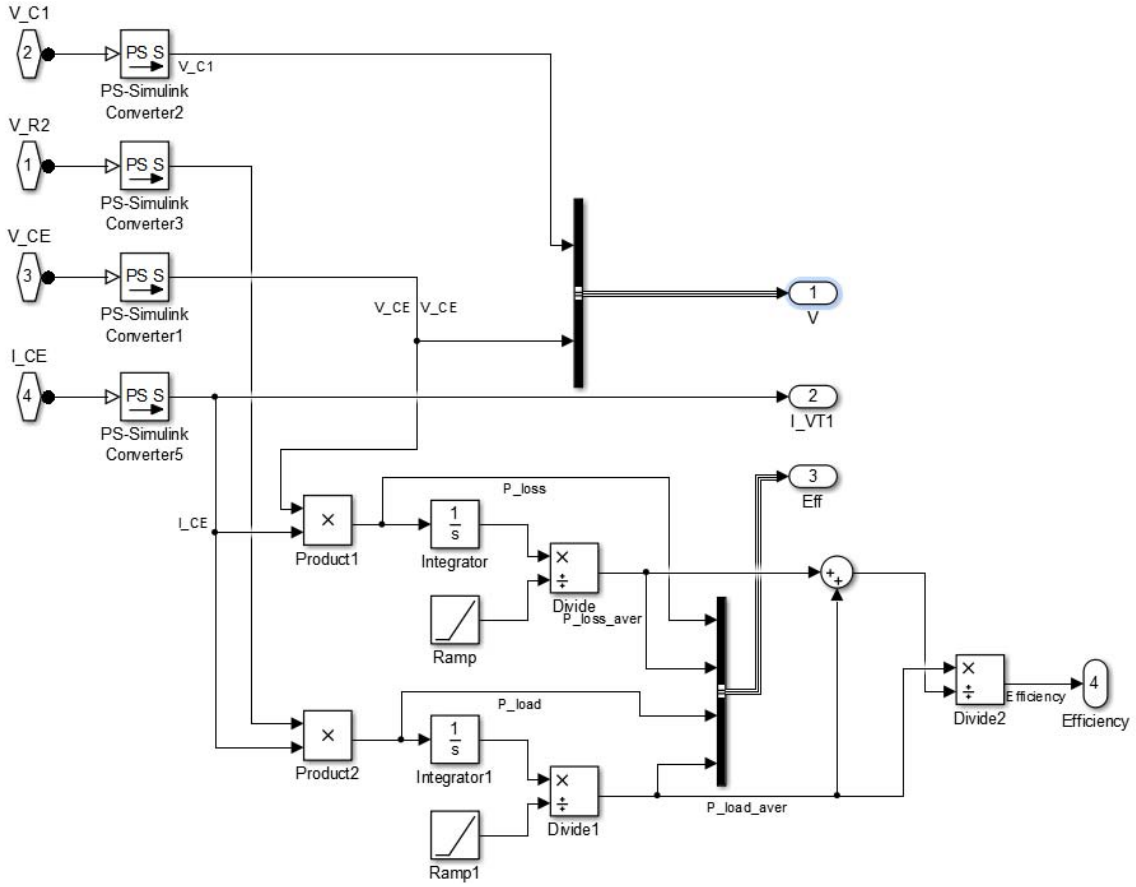


Рис. 2. Блока-схема модуля Analyzer

Блок содержит преобразователи физических сигналов в математические величины и элементы расчета измеряемых мощностей.

Мгновенные значения мощностей получаются перемножением соответствующих токов и напряжений, а интегральные параметры определяются отношением интеграла измеряемой величины к длительности измерения.

Параметры численного эксперимента:

V1 = 600 В;

R1 = 0,1 Ом;

C1 = 470 мкФ;

R_gate = 22 Ом;

R2 = 100 Ом;

Частота преобразователя – 20 кГц;
Коэффициент заполнения – 50 %;
Результаты численного эксперимента представлены на рисунках 3–7.
Среднее значение КПД преобразователя за указанный период времени составил 0,9348 при полезной мощности 36 кВт.

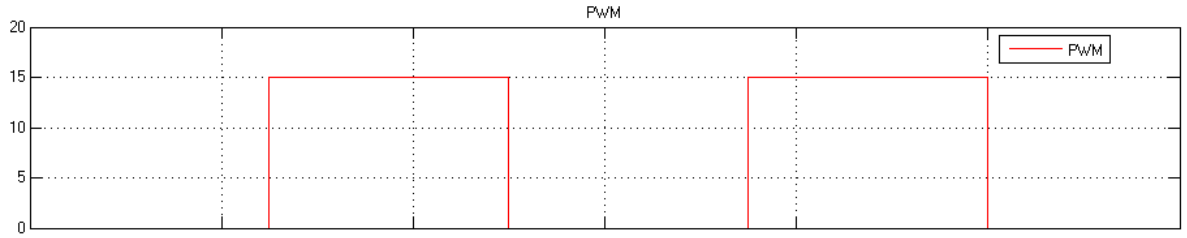


Рис. 3. Управляющая последовательность импульсов

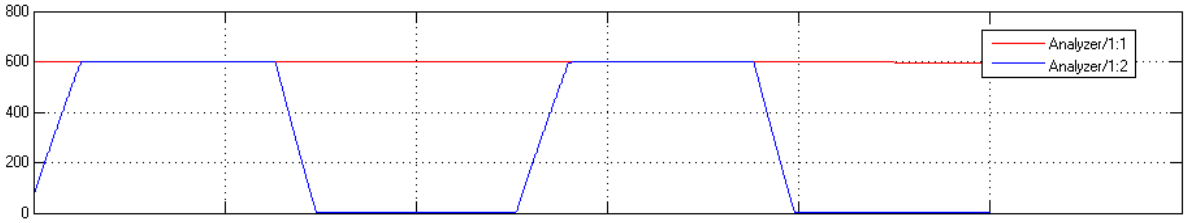


Рис. 4. Напряжение на входе преобразователя (1)
и напряжение коллектор-эмиттер транзистора VT1 (2)

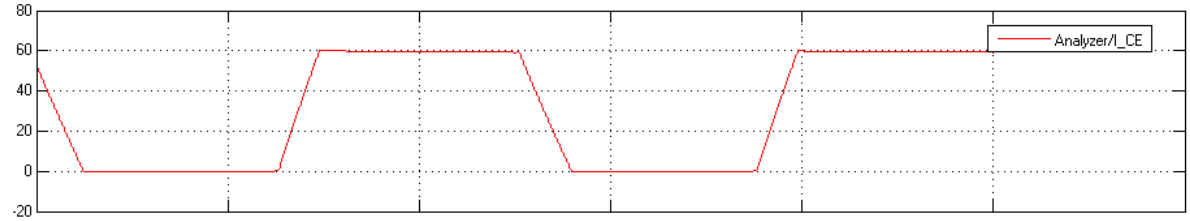


Рис. 5. Ток коллектора транзистора VT1

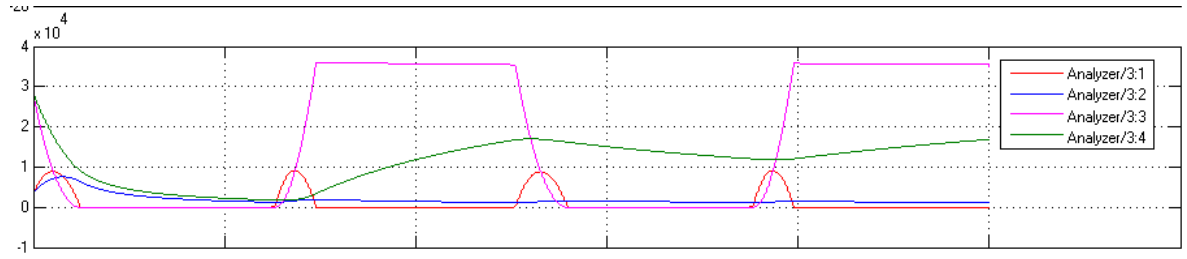


Рис. 6. Мгновенная (1) и средняя (2) мощность потерь
в транзисторе VT1, а также мгновенная (3) и средняя (4)
полезные мощности, измеренные на резисторе R2

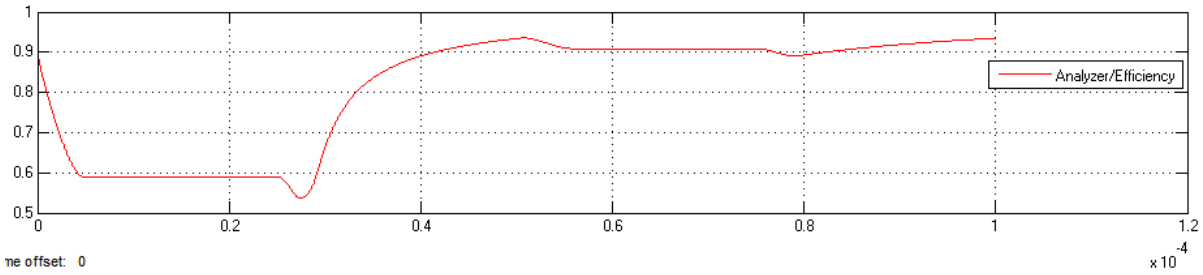


Рис. 7. График КПД преобразователя на протяжении двух периодов коммутации

Анализируя графики видно, что при указанных параметрах силовой транзистор не успевает переключать ток нагрузки, что ведет к увеличению доли коммутационных потерь. Одним из способов уменьшения коммутационных потерь является увеличение тока заряда затвора ключевого транзистора. Уменьшив сопротивление R_gate до 10 Ом, можно существенно сократить время заряда затвора. Результаты численного эксперимента при значении R_gate = 10 Ом представлены на рисунках 8–10:

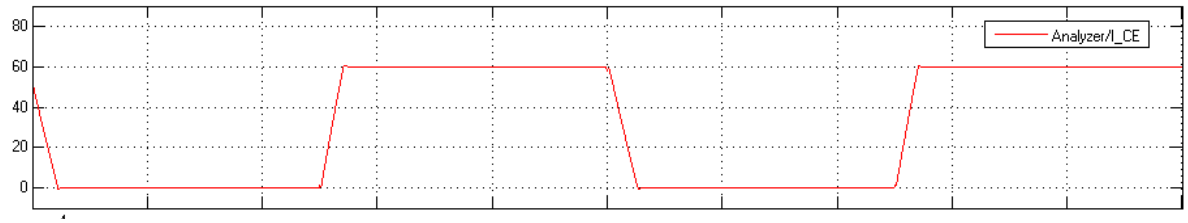


Рис. 8. Ток коллектора транзистора VT1 при R_gate = 10 Ом

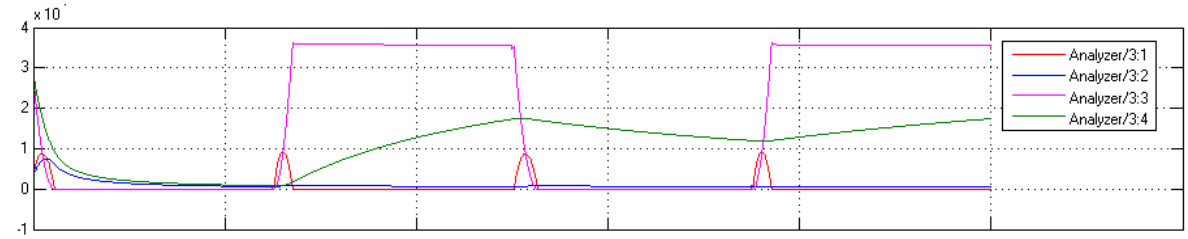


Рис. 9. Мгновенная (1) и средняя (2) мощность потерь в транзисторе VT1, а также мгновенная (3) и средняя (4) полезные мощности, измеренные на резисторе R2 при R_gate = 10 Ом

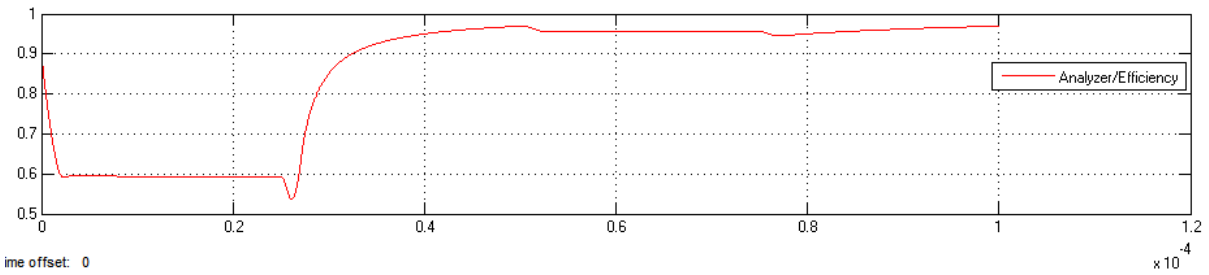


Рис. 10. График КПД преобразователя на протяжении двух периодов коммутации при R_gate = 10 Ом

Среднее значение КПД преобразователя за указанный период времени составил 0,9696 при полезной мощности 36 кВт.

Дальнейшее уменьшение сопротивления R_gate до 5 Ом, позволяет еще больше сократить время заряда затвора. Результаты численного эксперимента при значении R_gate = 5 Ом представлены на рисунках 11–13.

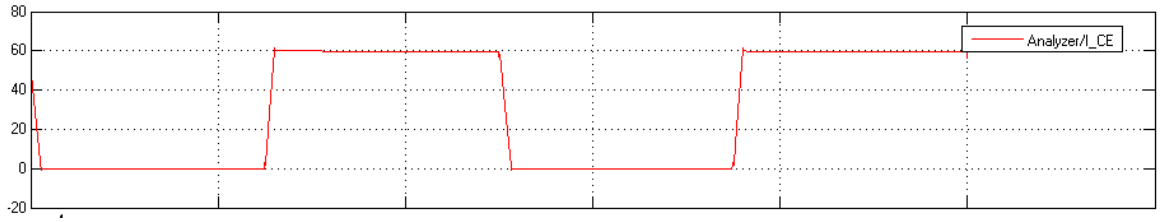


Рис. 11. Ток коллектора транзистора VT1 при R_gate = 5 Ом

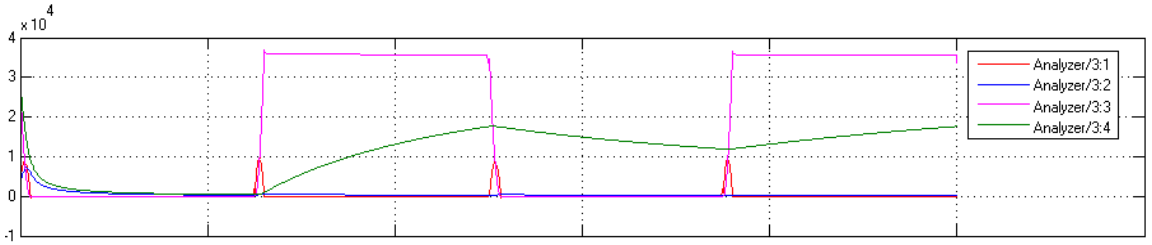


Рис. 12. Мгновенная (1) и средняя (2) мощность потерь в транзисторе VT1, а также мгновенная (3) и средняя (4) полезные мощности, измеренные на резисторе R2 при R_gate = 5 Ом

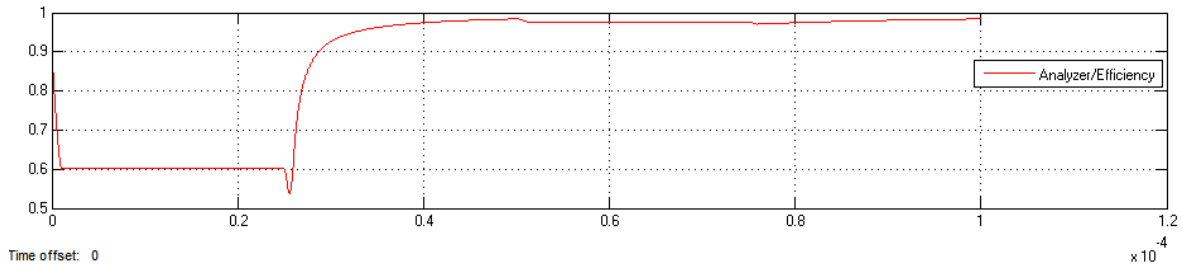


Рис. 13. График КПД преобразователя на протяжении двух периодов коммутации при R_gate = 5 Ом

Среднее значение КПД преобразователя за указанный период времени составил 0,9842 при полезной мощности 36 кВт.

Дальнейшее снижение сопротивления в цепи затвора ключевого транзистора приводит к превышению тока заряда более 3 А, что создает сложности в практической реализации драйвера ключа.

Следующим этапом исследования является изучение влияния напряжения питающей сети на КПД преобразователя.

Изменим напряжение питания источника V1 до 400 В, уменьшив сопротивление R2 до 4,4 Ом для обеспечения той же полезной мощности на выходе преобразователя. Результаты численного эксперимента представлены на рисунках 14–17.

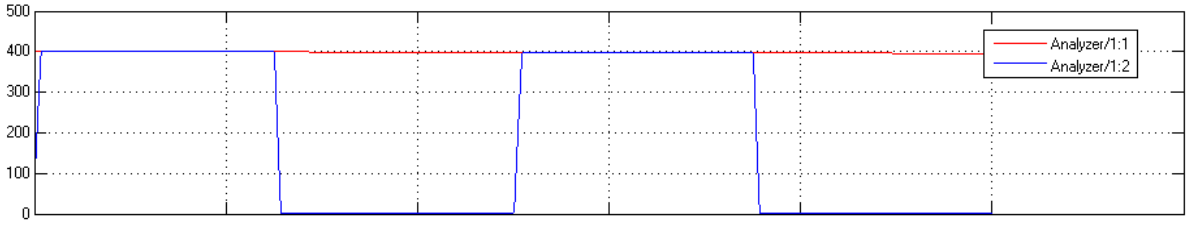


Рис. 14. Напряжение на входе преобразователя

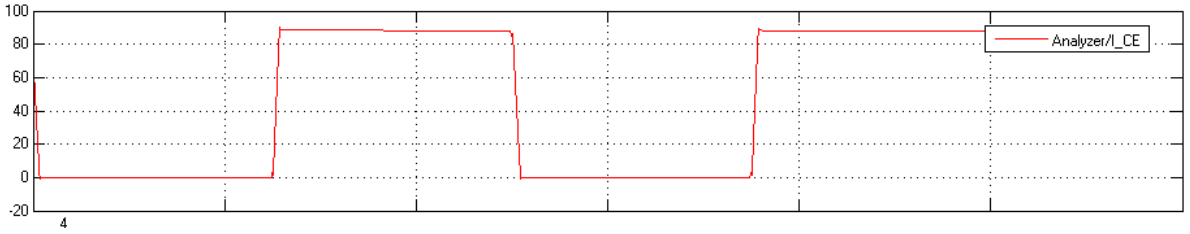


Рис. 15. Ток коллектора транзистора VT1

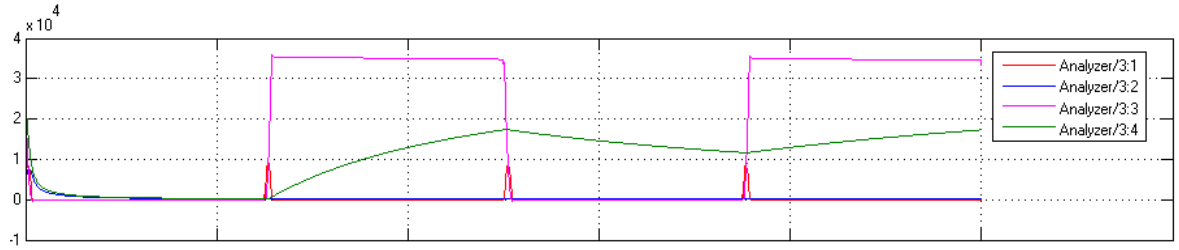


Рис. 16. Мгновенная (1) и средняя (2) мощность потерь в транзисторе VT1,
а также мгновенная (3) и средняя (4) полезные мощности,
измеренные на резисторе R2

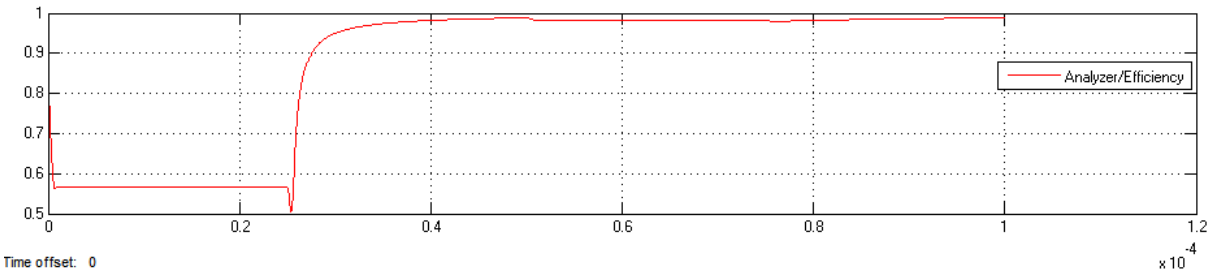


Рис. 17. График КПД преобразователя
на протяжении двух периодов коммутации

Результат моделирования показал, что среднее значение КПД преобразователя за указанный период времени составил 0,9884 при полезной мощности 36 кВт.

Результаты проведенных экспериментов демонстрируют, что изменение напряжения питания электрического преобразователя зарядного устройства приводит к изменению потерь в силовом транзисторе (уменьшаются коммутационные потери, но увеличиваются потери на проводимость) [4]. Это свидетельствует о том, в различных режимах работы преобразова-

теля КПД системы будет различным, и это надо учитывать при расчете элементов электрической схемы зарядного устройства [5].

Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках комплексного проекта «Создание производства модельного ряда микротурбинных энергоустановок нового поколения» по договору № 02.G25.31.0078 от 23.05.2013 г. между Министерством образования и науки Российской Федерации и Открытым акционерным обществом «Специальное конструкторское бюро «Турбина» в кооперации с головным исполнителем НИОКТР – Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет).

Библиографический список

1. Мартьянов, А.С. Регулирование мощности в ветроэнергетической установке / А.С. Мартьянов // Научный поиск: материалы третьей научной конференции аспирантов и докторантов. Технические науки. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – Т. 2. – С. 206–209.

2. Мартьянов, А.С. Контроллер заряда ветроэнергетической установки / А.С. Мартьянов, Е.В. Соломин // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2010. – № 1(81). – С. 106–109.

3. Дьяконов, В.П. VisSim + Mathcad + MATLAB. Визуальное математическое моделирование / В.П. Дьяконов. – М.:СОЛОН-Пресс, 2004. – 384 с.

4. Мартьянов, А.С. Разработка математической модели ветроэнергетической установки мощностью 3 кВт производства ООО «ГРЦ-Вертикаль в пакете Matlab / А.С. Мартьянов, Н.В. Пронин, Е.В. Соломин // Альтернативная энергетика и экология. – М.: НИИЭС, 2011 – № 5. – С. 41–44.

5. Мартьянов, А.С. Моделирование генератора ветроэнергетической установки / А.С. Мартьянов, И.М. Кирпичникова, Е.В. Соломин // Электротехника. – 2013. – Вып. 10. – С. 46–49.

К содержанию

УДК 519.876.5 + 621.311.61

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

А.С. Мартьянов

Все больше и больше внимания уделяется вопросам эффективного хранения и использования электрической энергии. Одним из важных направлений в развитии энергосберегающих технологий является задача эффективной зарядки аккумуляторных батарей. Для исследования различных способов и режимов зарядки в среде Matlab/Simulink была разработана универсальная модель системы зарядки аккумуляторных батарей, включающая контроллер заряда, созданный на основе блока S-Function. Такой блок позволяет облегчить исследование различных алгоритмов заряда аккумуляторных батарей с использованием управляющих программ, написанных на языке высокого уровня, что обеспечивает удобный инструментарий как в исследовательских работах, так и при решении прикладных задач.

Ключевые слова: MATLAB, Simulink, S-Function, имитационное моделирование, системы управления.

На сегодняшний день существует множество различных способов и режимов зарядки аккумуляторных батарей (АКБ), при этом выделяют три основных способа: зарядка постоянным током, постоянным напряжением и комбинированный, когда в процессе зарядки изменяется и ток, и напряжение [1].

При режиме постоянного тока на всем протяжении заряда поддерживается заданная величина. Преимуществом такого способа зарядки является относительно малая продолжительность заряда, однако в данном случае происходит ускоренное «старение» АКБ из-за высоких токовых нагрузок на последней стадии зарядки и, следовательно, снижается срок службы АКБ. Если же процесс зарядки производить при постоянном напряжении, то на последней стадии процесс существенно замедляется и растет время зарядки АКБ. И, наконец, третий – комбинированный режим, сочетающий два выше указанных в одном. Сначала идет заряд при стабилизации тока, а заканчивается при стабилизации напряжения. Это самый оптимальный, но самый сложный в плане реализации схемы способ[2].

Все зарядные устройства должны обеспечивать наиболее оптимальный режим заряда от начала до конца процесса зарядки. Таким образом, ЗУ обеспечивают и автоматически изменяют величины напряжения и тока в зависимости от стадии самого процесса зарядки. Можно утверждать, что большинство всех современных зарядных устройств работает по комбинированному методу, что позволяет заряжать аккумуляторы с различной скоростью [3].

Однако следует заметить, что при увеличении зарядного тока повышается не только скорость заряда, но и скорость старения АКБ. Поскольку все аккумуляторы это химические гальванические источники тока, то скорость их заряда ограничена скоростью протекания химических реакций, которая напрямую связана физическим перемещением в электролите ионов и катионов и обеспечивается естественной конвекцией, диффузией и кулоновскими силами. При превышении скорости заряда увеличиваются побочные и вредные реакции, которые разрушают электролит, нарушают структуру катода и анода, изменяя их эффективную площадь, что приводит к уменьшению емкости или полному уничтожению аккумулятора. Отсюда можно сделать вывод, что при низких температурах заряжать батарею надо как можно медленнее. Данное противоречие может быть разрешено решением задачи создания оптимального алгоритма зарядки.

Для исследования различных алгоритмов заряда аккумуляторных была разработана компьютерная модель системы заряда аккумуляторной батареи в среде Matlab/Simulink [4], основанной на модели ячейки АКБ [5].

Блок-схема системы заряда одной ячейки аккумуляторной батареи представлена на рис. 1.

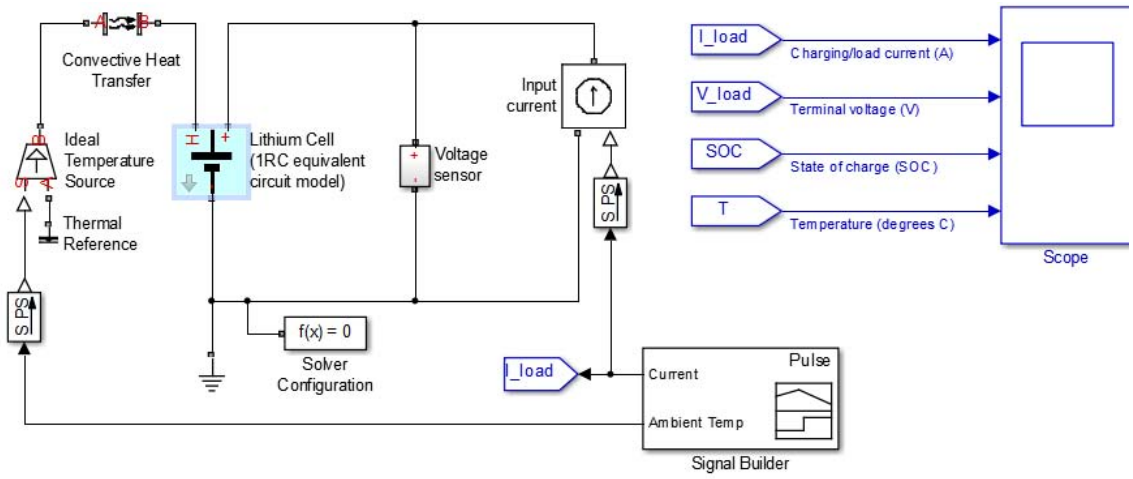


Рис. 1. Блок-схема модели заряда ячейки батареи

Краткое описание схемы: модель АКБ подключена к управляемому источнику тока и температуры окружающей среды. В электрическую цепь включены датчики тока и заряда напряжения клеммах АКБ, а также датчик состояния заряда (SOC) и температуры АКБ.

Для проверки работоспособности модель подвергалась тестовым воздействиям зарядного тока и температуры окружающей среды, показанным на рис. 2.

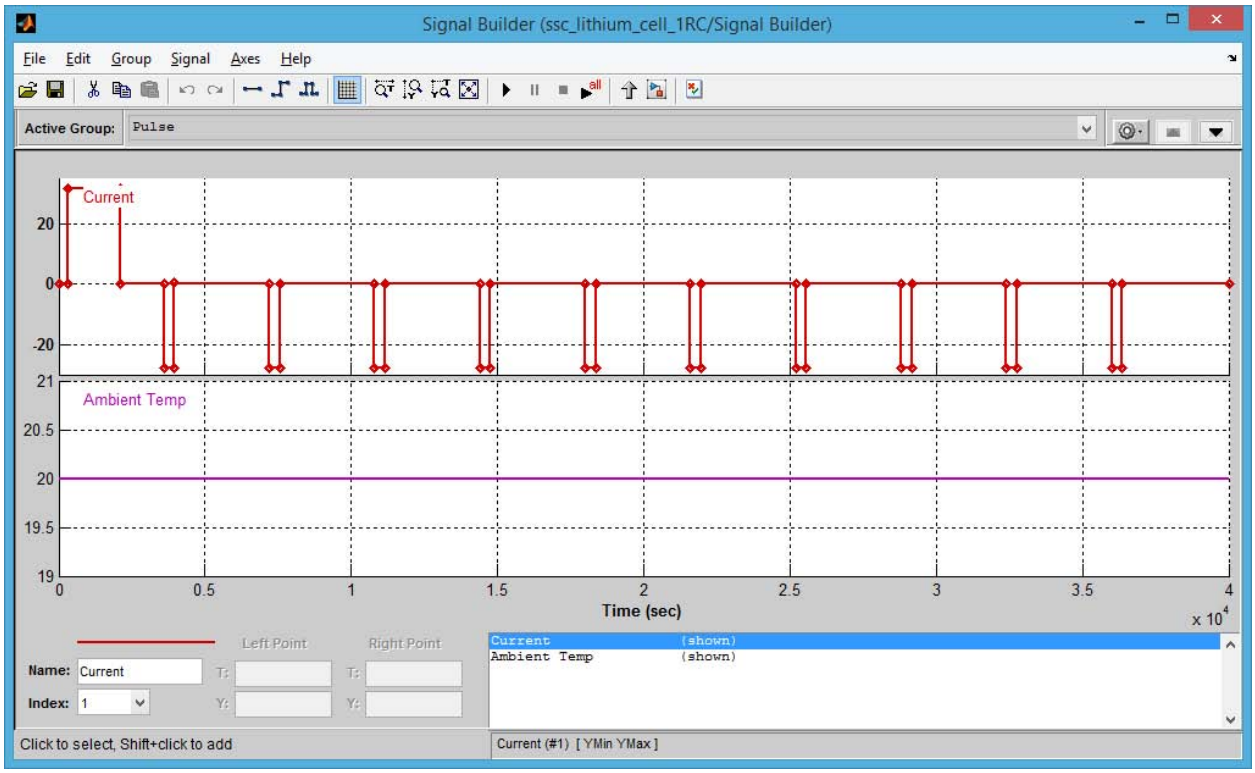


Рис. 2. Диаграмма зарядного тока АКБ блока Signal Builder

Результаты моделирования тестового воздействия представлены на рис. 3.

Из графиков видно, что модель правильно отражает основные процессы заряда/разряда, происходящие в АКБ:

– при возникновении зарядного тока напряжение на выводах АКБ постепенно нарастает, степень заряда (SOC) увеличивается, температура ее повышается;

– при достижении степени заряда SOC=1 ток заряда прекращается, напряжение на выводах АКБ чуть снижается, стабилизируясь на определенном уровне, температура начинает снижаться;

– при возникновении разрядного тока напряжение на выводах АКБ снижается, степень заряда (SOC) снижается, температура АКБ повышается;

– при отключении разрядного тока температура АКБ стремится к температуре окружающей среды.

Для исследования смешанных режимов зарядки АКБ была разработана компьютерная модель системы зарядки АКБ, содержащая две ячейки с независимой зарядкой. Компьютерная модель в среде Matlab/Simulink показана на рис. 4.

Источником тока для этих ячеек выступила модель зарядного устройства, построенная на основе блока S-Function[6]. Этот блок связан с программой, написанной на языке высокого уровня и описывающей работу этого блока. В программе обычно задаются такие параметры, как число входов и выходов этого устройства, параметры инициализации блока, а

также взаимосвязь между входами и выходами. Описание работы этого блока может быть выполнено на языке С, что позволяет потом с легкостью перенести эту программу на целевое устройство. Для исследования процессов заряда, разряда и переноса заряда модель зарядного устройства была разработана для работы с двумя ячейками, блок-схема модели представлена на рис. 5

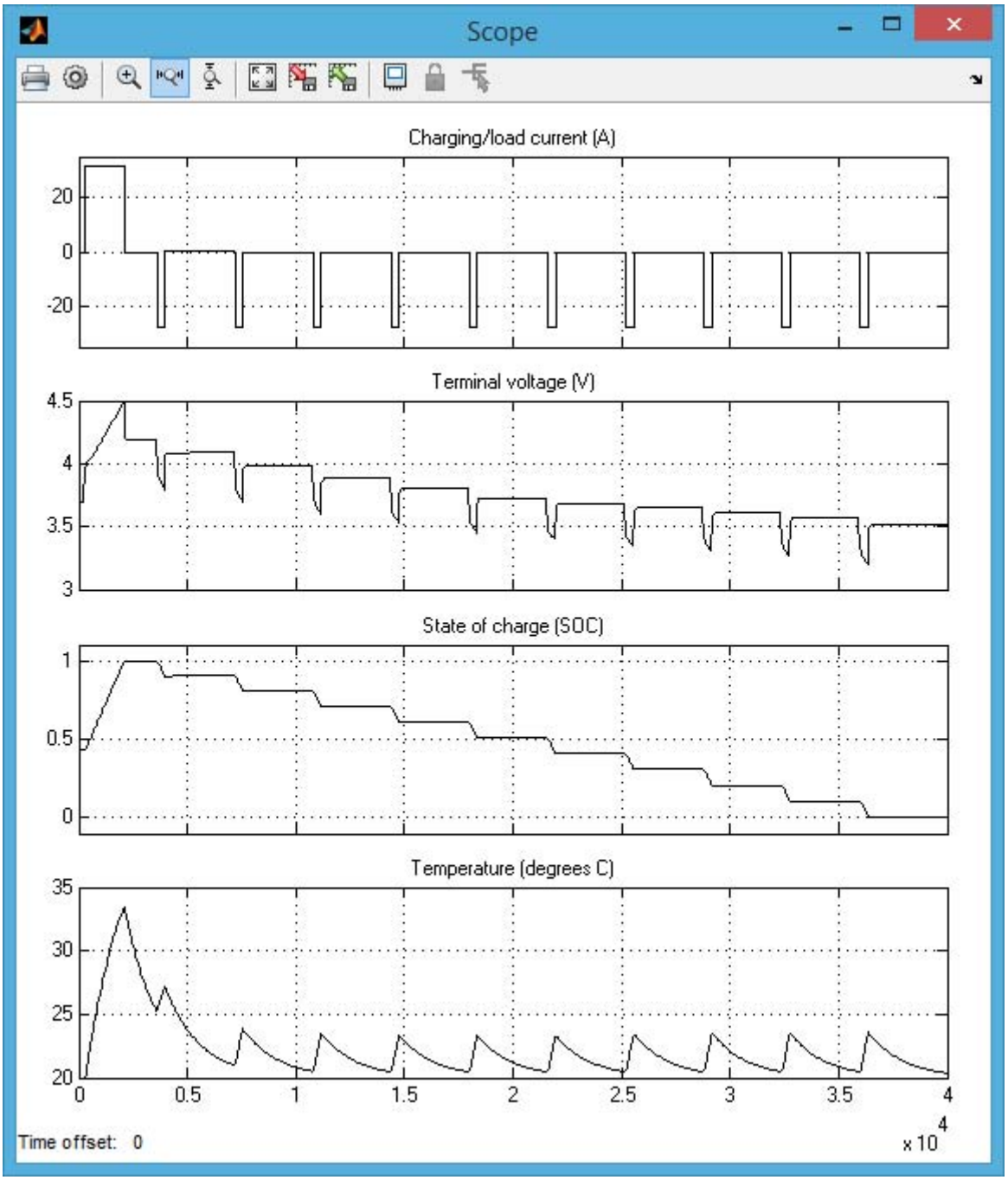


Рис. 3. Результат моделирования тестового воздействия зарядного тока АКБ

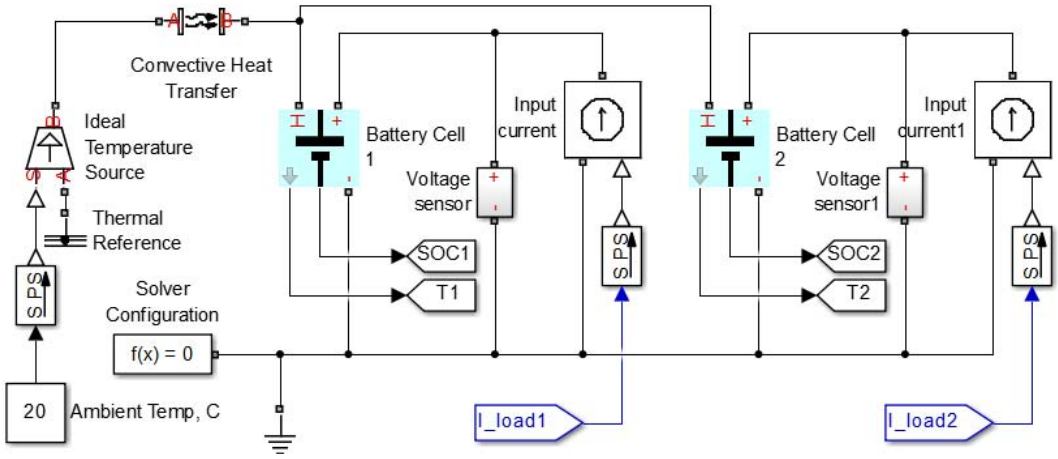


Рис. 4. Компьютерная модель в среде Matlab/Simulink

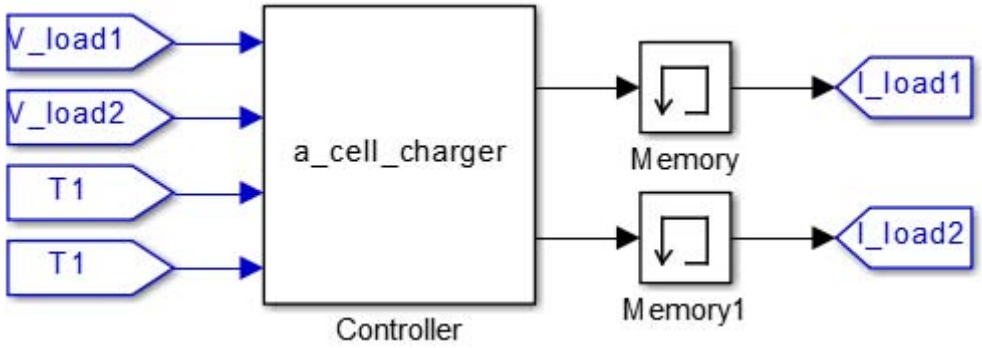


Рис. 5. Блок-схема модели для работы с двумя ячейками
в среде Matlab/Simulink

Входными информационными сигналами являются сигналы с датчиков напряжения каждой ячейки и сигналы с датчиков температуры каждой ячейки, а выходными – команды на установку заданного значения тока заряда для каждой ячейки. В качестве измерительного и регистрирующего оборудования была использована модель многоканального осциллографа.

В качестве примера приведен результат заряда двух ячеек с различными начальными условиями. Результат моделирования приведен на рис. 6.

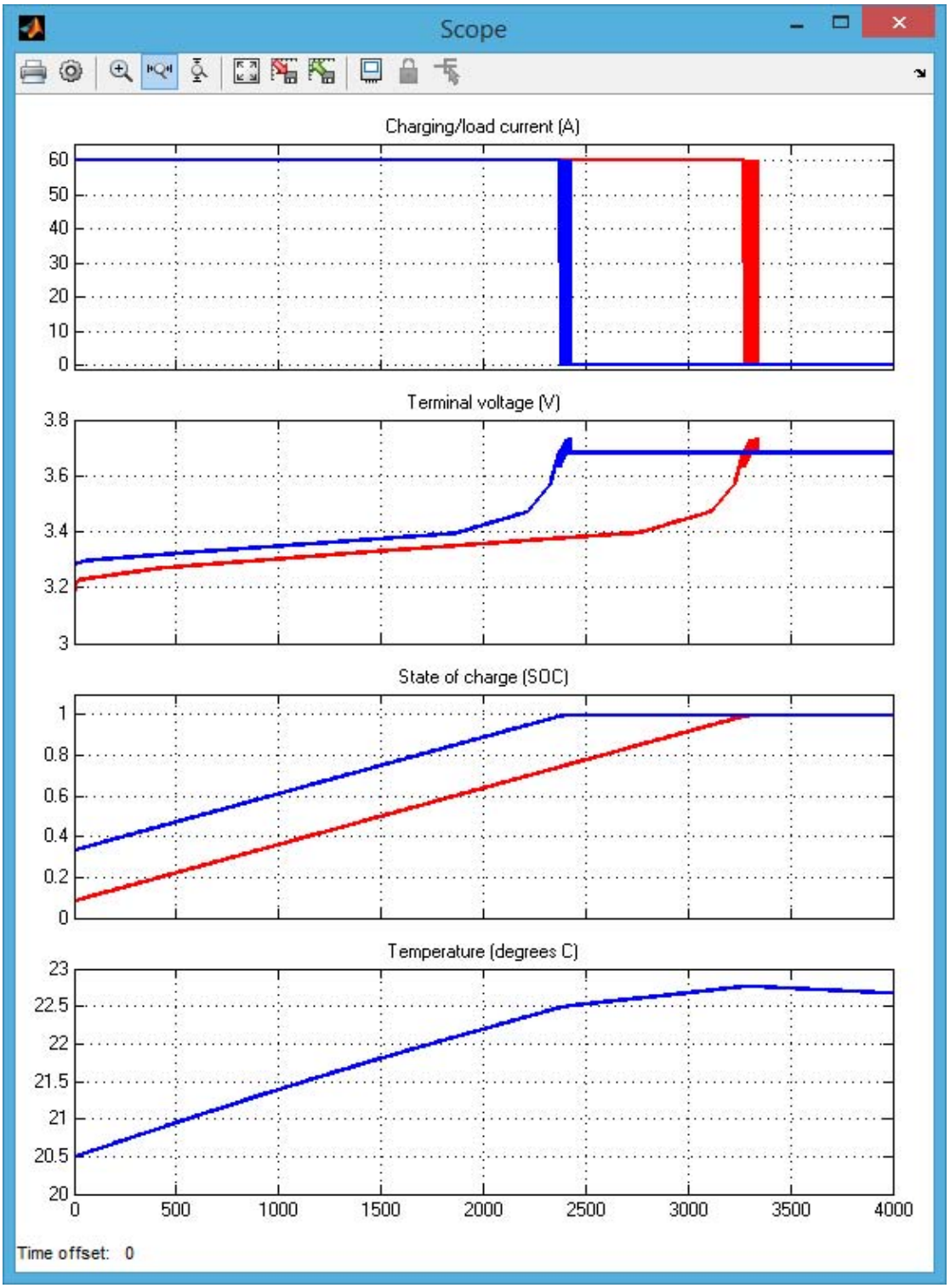


Рис. 6. Результат заряда двух ячеек с различными начальными условиями

Из результатов видно, что зарядное устройство обеспечивает независимое управление процессом заряда различных ячеек аккумуляторной батареи, что позволяет исследовать различные алгоритмы заряда не только единичных электрохимических элементов, но и сложных многоканальных систем зарядки АКБ.

В заключении можно отметить, что разработанные компьютерные модели могут быть использованы не только для того, чтобы облегчить исследование различных алгоритмов заряда аккумуляторных батарей с использованием управляющих программ, написанных на языке высокого уровня, но и обеспечивают удобный инструментарий при решении прикладных задач.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках комплексного проекта «Создание производства модельного ряда микротурбинных энергоустановок нового поколения» по договору № 02.G25.31.0078 от 23.05.2013 г. между Министерством образования и науки Российской Федерации и Открытым акционерным обществом «Специальное конструкторское бюро «Турбина» в кооперации с головным исполнителем НИОКТР – Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет).

Библиографический список

1. Мартьянов, А.С. Контроллер заряда ветроэнергетической установки / А.С. Мартьянов, Е.В. Соломин // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2010. – № 1(81). – С. 106–109.

2. Мартьянов, А.С. Разработка математической модели ветроэнергетической установки мощностью 3 кВт производства ООО «ГРЦ-Вертикаль в пакете Matlab / А.С. Мартьянов, Н.В. Пронин, Е.В. Соломин // Альтернативная энергетика и экология. – 2011. – № 5. – С. 41–44.

3. Контроллер заряда ветроэнергетической установки / А.С. Мартьянов, Е.В. Соломин // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – № 1(81). – С. 106–109.

4. Дьяконов, В.П. VisSim + Mathcad + MATLAB. Визуальное математическое моделирование / В.П. Дьяконов. – М.:СОЛОН-Пресс, 2004. – 384 с.

5. T. Huria, M. Ceraolo, J. Gazzarri, R. Jackey, "High Fidelity Electrical Model with Thermal Dependence for Characterization and Simulation of High Power Lithium Battery Cells", 2012 IEEE Electric Vehicle Conference, Greenville (SC), March 04-08, 2012.

6. Мартьянов, А.С. Моделирование генератора ветроэнергетической установки / А.С. Мартьянов, И.М. Кирпичникова, Е.В. Соломин // Электротехника. – 2013. – Вып. 10. – С. 46–49.

К содержанию

УДК 620.9 + .338.45:620.9

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЕКТОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Н.С. Низамутдинова, О.С. Пташкина-Гирина, Р.Ж. Низамутдинов

В статье рассмотрены теоретические аспекты экономической оценки проектов возобновляемой энергетики (ПВЭ). Обоснована необходимость разработки единого комплексного подхода к оценке эффективности ПВЭ для различных групп объектов, применяющих технологии возобновляемой энергетики. Приведено сравнительное экономическое обоснование двух вариантов реконструкции малой гидроэлектростанции.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, экономическая оценка, инвестиционный проект, себестоимость, первоначальные инвестиции, чистый дисконтированный доход, малая гидроэнергетика.

В современных условиях, когда практически в каждом регионе РФ отечественные ученые начинают адаптировать зарубежные технологии возобновляемой энергетики, создают новые технические решения, позволяющие применять возобновляемую энергию для электро- и теплоснабжения различных объектов, процент внедрения подобных инноваций достаточно мал. Это связано с несколькими факторами. Во-первых, первоначальные вложения в такие проекты высоки. Это отпугивает инвесторов на начальном этапе, несмотря на незначительные текущие затраты.

Во-вторых, недостаточно проработаны вопросы адаптивности технологий к местным условиям конкретного региона. Так, например, в Челябинской области нехватка информации в этом вопросе привела к строительству нескольких нежизнеспособных проектов, тем самым дискредитируя возможность применения проектов возобновляемой энергетики (ПВЭ).

В-третьих, недостаточная заинтересованность российских властей в применении ПВЭ, что связано с современными условиями достаточности энергоресурсов. Однако, сейчас, когда Европа находится в постоянном ожидании энергетического кризиса из-за нестабильности отношений с Россией, несомненно, большие средства и лучшие умы европейских ученых пущены на разработку «прорывных» энергетических технологий, в том числе технологий применения источников возобновляемой энергетики. Что может привести к непреодолимому отставанию подобных отечественных технологий.

В-четвертых, недостаточно проработаны вопросы экономической оценки проектов возобновляемой энергетики. Периодически появляются по-

пытки разработать методики технико-экономического обоснования таких проектов, причем такие попытки предпринимаются, как учеными-инженерами, учеными-экономистами, так и в соавторстве. Но в целом, пока не создан комплексный подход к экономической оценке проектов возобновляемой энергетики.

В зависимости от объекта, на котором будет применяться технология с использованием возобновляемых источников энергии, все проекты ВЭ можно разделить на три большие группы:

Проекты для индивидуальных потребителей электрической и тепловой энергии.

Проекты для предприятий-потребителей электрической и тепловой энергии.

Проекты для предприятий-производителей электрической и тепловой энергии.

В зависимости от принадлежности исследуемого объекта к одной из этих групп будут различны экономические показатели эффективности ПВЭ.

В первом и во втором случае основным критерием выбора будут показатели первоначальных инвестиций и себестоимости 1 КВт*ч производимой энергии [1]. Только состав затрат будет различаться у объектов первой и второй группы. Это связано, в первую очередь, с необходимым количеством и качеством вырабатываемой энергии. Кроме того, для предприятия актуальны будут затраты на оплату труда обслуживающего персонала, налоги и т.д., тогда как для индивидуального потребителя эти показатели не будут приниматься к расчету.

В третьем случае, предприятию, получившему статус квалифицированного генерирующего объекта, функционирующего на основе использования возобновляемых источников энергии [2], важно получение наибольшего дохода, высокой эффективности деятельности.

Экономическое обоснование внедрения любого проекта, в том числе, в области электроэнергетики, состоит в оценке эффективности инвестиционных проектов согласно Методическим указаниям по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция), утвержденных Госстроем, Министерством экономики РФ, Министерством финансов и Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищно-коммунальной политике [3].

Согласно этому документу при выполнении экономической оценки проектов используются следующие показатели:

– чистый дисконтированный доход (ЧДД), определяемый по формуле:

$$ЧДД = \sum_{m} \phi_m \alpha_m, \quad (1)$$

где $\phi_т$ – накопленный эффект (сальдо денежного потока) за расчетный период; $\alpha_т$ – коэффициент дисконтирования, рассчитываемый по формуле:

$$\alpha_m = \frac{1}{(1+E)^{t_m - t^0}}, \quad (2)$$

где Е – норма дисконта, t_m, t^0 – моменты окончания нулевого и *t*-го шагов;

– индекс доходности (ИД) – отношение суммы денежных притоков (накопленных поступлений) к сумме денежных оттоков (накопленным платежам);

– критерий выбора: ЧДД→max и ИД>1.

Авторами была проведена экономическая оценка проекта малой гидроэнергетики – два варианта реконструкции Зюраткульской ГЭС на р. Б. Сатка Челябинской области.

В первом варианте предполагалось, что МГЭС приплотинного типа установленной мощностью 400 КВт работает изолированно от централизованного источника энергоснабжения и приобретает статус квалифицированного генерирующего объекта, функционирующего на основе использования возобновляемых источников энергии, а также действует на рынке в организационно-правовой форме – общество с ограниченной ответственностью как малое предприятие, что позволило бы реализовывать электроэнергию близлежащему поселку. В соответствии с российским законодательством такая возможность предоставлена малым ГЭС только для тех объектов, которые изолированы от централизованного энергоснабжения.

При оценке данного проекта были обоснованы технические параметры МГЭС и приняты действующие ставки налогообложения и тарифы для Челябинской области в 2014 году.

Результатами расчетов стали себестоимость электроэнергии, выработанной МГЭС приплотинного типа (табл. 1), и показатели экономической эффективности инвестиционного проекта (табл. 2).

Очевидно, что себестоимость электроэнергии зависит от числа часов использования установленной мощности, но незначительно. При увеличении часов работы МГЭС от 3500 до 5000, себестоимость произведенной электроэнергии снижается с 1,44 до 1,01 руб/кВт·ч.

Все основные критерии эффективности инвестиционного проекта в данном случае выполняются: ЧДД>0, ВНД> α, ИД>1. Но заинтересованность в реализации такого проекта для предпринимателя, организующего такое предприятие, будет низкой, так как срок окупаемости довольно высок. Кроме того, высока стоимость первоначальных инвестиций.

Второй вариант реконструкции – это деривационная малая ГЭС установленной мощностью 5600 кВт. В этом случае потенциального потребителя выбирать не нужно, всю вырабатываемую электроэнергию предполагается сбывать межрегиональной распределительной сетевой компании Урала.

Таблица 1

Себестоимость электроэнергии, выработанной МГЭС

Наименование статьи	Значение показателя в зависимости от числа часов работы МГЭС			
	Т=3500 ч	Т=4000 ч	Т=4500 ч	Т=5000 ч
Плата за водопользование, тыс. руб.	13,78	15,74	17,71	19,68
Фонд оплаты труда, тыс. руб.	1 032,00	1 032,00	1 032,00	1 032,00
Страховые взносы в государственные страховые фонды, тыс. руб.	309,6	309,6	309,6	309,6
Амортизационные отчисления, тыс. руб.	387,11	387,11	387,11	387,11
Арендная плата, тыс. руб.	140	140	140	140
Отчисления в ремонтный фонд	37,65	37,69	37,73	37,77
Прочие затраты, тыс. руб.	96,01	96,11	96,21	96,31
Годовые эксплуатационные расходы, тыс. руб.	2016,15	2018,25	2020,36	2022,47
Выработка электроэнергии, тыс. кВт·ч в год	1400,00	1600,00	1800,00	2000,00
Себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.	1,44	1,26	1,12	1,01
Тариф на электроэнергию для населения Челябинской области в 2014 году, руб./кВт·ч [4]	2,41	2,41	2,41	2,41

Таблица 2

Экономическая эффективность инвестиционного проекта реконструкции Зюраткульской ГЭС приплотинного типа

Наименование показателей	Значение
Установленная мощность, кВт	400
Общая стоимость проекта, млн.руб.	27,0
Выработка электрической энергии, млн кВт·ч	1,40
Чистый дисконтированный доход, млн руб.	6,86
Ставка дисконтирования, %	15
Внутренняя норма доходности, %	17
Индекс доходности	1,25
Срок окупаемости, лет	9
Дисконтированный срок окупаемости, лет	14,5

Результаты экономических расчетов сведены в таблицы 3 и 4.

Таблица 3

Себестоимость электроэнергии, выработанной МГЭС

Наименование статьи	Значение показателя в зависимости от числа часов работы		
	Т=4500 ч	Т=4000 ч	Т=3500 ч
Плата за водопользование, тыс. руб.	247,97	220,42	192,86
Аренда земельного участка, тыс. руб.	2 000,00	2 000,00	2 000,00
Фонд оплаты труда, тыс. руб.	1 800,00	1 800,00	900,00
Страховые взносы в государственные страховые фонды, тыс. руб.	540,00	540,00	270,00
Амортизационные отчисления, тыс. руб.	1 639,68	1 639,68	1 639,68
Отчисления в ремонтный фонд, тыс.руб.	124,55	124,00	100,05
Прочие затраты, тыс. руб.	317,61	316,20	255,13
Годовые эксплуатационные расходы, тыс. руб.	6 669,81	6 640,30	5 357,72
Выработка электроэнергии, тыс. кВт·ч в год	25 200,00	22 400,00	19 600,00
Себестоимость 1 кВт·ч, руб.	0,26	0,30	0,27
Средняя равновесная цена производителя электроэнергии на оптовом рынке в европейской части России и на Урале в июле 2014 года, руб./ кВт·ч [5]	1,23	1,23	1,23

В сравнении с первым вариантом реконструкций малой ГЭС себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии во втором варианте значительно снижается с 1,44 до 0,27 руб./кВт·ч (Т=3500 ч.) за счет выработки гораздо большего количества электроэнергии. Причем себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии ниже предполагаемой цены реализации, что дает повод предположить, что данный проект окажется экономически целесообразным.

Таблица 4

Экономическая эффективность инвестиционного проекта реконструкции Зюраткульской ГЭС деривационного типа

Наименование показателей	Значение
Установленная мощность, МВт	5,6
Общая стоимость проекта, млн руб.	89,6
Выработка электрической энергии, млн кВт·ч	25,2
Чистый дисконтированный доход, млн руб.	5,74
Ставка дисконтирования, %	15
Внутренняя норма доходности, %	16
Индекс доходности	1,34
Срок окупаемости, лет	4,1
Дисконтированный срок окупаемости, лет	6,3

Таким образом, второй вариант проекта реконструкции Зюраткульской ГЭС деривационного типа эффективен и более интересен для инвесторов, чем первый – проект приплотинной МГЭС, в связи с тем, что ниже срок окупаемости проекта (6,3 года против 14,5 лет), а 1 рубль инвестиций приносит 1,34 рубля дохода.

В целом при изучении основ экономической оценки проектов ВЭ были отмечены следующие особенности:

1. Сложное и запутанное законодательство в области электроэнергетики.

2. Практически отсутствуют на рынке электроэнергии предприятия, имеющие статус квалифицированного генерирующего объекта, функционирующего на основе использования возобновляемых источников энергии. Причем большинство из существующих предприятий используют технологии малой гидроэнергетики и практически нет предприятий-производителей энергии с использованием таких возобновляемых источников энергии, как солнце, ветер, низкопотенциальное тепло земли и др.

3. Нет единой методики экономической оценки ПВЭ, в литературе приводятся различные варианты оценки, причем авторы исследований зачастую используют необоснованные показатели. Так, например, европейские ученые [6] считают, что ПВЭ – это «безрисковые» технологии и ставка дисконтирования должна быть меньше, чем для традиционных технологий. Для российских реалий это инновационные проекты, а значит, ставка дисконтирования должна быть максимальной. А от ставки дисконтирования зависят итоговые показатели по проекту, которые играют решающую роль при принятии решения.

4. При экономическом сравнении ПВЭ с проектами, использующими традиционные технологии, не применяется стоимость размера экологического ущерба, и собственно, размеры экологических санкций [7].

Библиографический список

1. Сысоева, М.С. Методические указания по технико-экономическому обоснованию использования возобновляемых источников энергии / М.С. Сысоева, М.А. Пахомов // Социально-экономические явления и процессы. – 2011. – № 3–4. – С. 270–274. – URL: http://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-ukazaniya-po-tehniko-ekonomicheskomu-obosnovaniyu-ispolzovaniya-vozobnovlyaemyh-istochnikov-energii.

2. Постановление Правительства РФ от 03.06.2008 N 426 (ред. от 17.02.2014) «О квалификации генерирующего объекта, функционирующего на основе использования возобновляемых источников энергии». – URL: http://base.garant.ru/193385/#ixzz38q2NJCMb.

3. Методические указания по оценке эффективности инвестиционных проектов от 31.03.94 № 7-12/47 (вторая редакция), утвержденные Госстроем, Минэкономики, Минфином и Госкомпромом РФ. – URL: http://zakonbase.ru/content/base/14578.

4. Официальный сайт Государственного комитета «Единый тарифный орган Челябинской области» – URL: www.tarif74.ru.

5. Итоги работы оптового рынка электроэнергии и мощности с 04.07.2014 по 10.07.2014. – URL: http://www.minenergo.gov.ru/press/company_news/19132.html.

6. Шимон, А. Экономика альтернативной энергетики / А. Шимон, И. Бланко, Ванн Халле Франс, К. Кйаэр, С. Крон, П.Э. Мортост. – URL: http://www.kit-e.ru/articles/powerel/2011_12_120.php.

7. Низамутдинова, Н.С. Экономические аспекты энергосбережения / Н.С. Низамутдинова, Р.Ж. Низамутдинов // Материалы LIII международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству» [Электронный ресурс] / под ред. д-ра техн. наук / П.Г. Свечникова. – Челябинск: ЧГАА, 2014. – Ч. I. – С. 174–181.

К содержанию

УДК 620.91(510)

ВОЗМОЖНОСТИ СОТРУДНИЧЕСТВА РФ-КНР В ОБЛАСТИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Е.В. Соломин, С.В. Козлов, А.Н. Киндряшов

В статье приводится информация о тенденциях научно-технологического развития Китайской Народной Республики (КНР) и состоянии альтернативной энергетики. Прогнозируются возможные варианты научно-технического сотрудничества предприятий РФ и КНР в области возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: Китай, сотрудничество, возобновляемые источники энергии.

Введение

Развитие международных отношений в сфере образования, науки и технологий всегда неразрывно связано с политическими и экономическими отношениями взаимодействующих стран. При этом, как показывает практика, результаты сотрудничества не всегда являются однозначно положительными для обеих сторон в далекой перспективе. Тем не менее, без стремления к партнерским отношениям, без многочисленных проб и ошибок достижение успеха, как в краткосрочном, так и в долгосрочном измерении, не представляется возможным.

Для анализа текущего состояния российско-китайского сотрудничества и прогноза его развития в дальнейшем необходимо отметить следующие отправные точки:

1. Научно-техническое сотрудничество России и Китая в целом лишено идеологизмов, отношения строятся не на основе взаимных решений политических партий или идеологических течений [1]. Китай рассматривается прагматически, как стратегический партнер России в экономическом плане.

2. Политические, социальные и экономические модели РФ и КНР несовместимы, психология людей имеет серьезные различия, строение языков серьезно различается, в связи с чем прямое копирование или приложение апробированных вариантов образовательных, научно-технических и научно-технологических моделей партнера также невозможно [1].

3. Китайская экономика развивается на основе стратегии развития, утверждаемой Правительством КНР [2]. В ходе выполнения подобные дорожные карты в Китае изменяются редко, поэтому достаточно точное долгосрочное прогнозирование развития китайской экономики, а также возможных путей (направлений) развития российско-китайских взаимоотношений возможно практически в любой области.

4. Феномен развития КНР является показательным и однозначно будет в дальнейшем влиять на мировые тенденции. Однако прогнозировать развитие мировой экономики чрезвычайно сложно, поскольку в период глобализации влияние ряда стран может вызвать неоднозначные процессы как внутри стран-сотрудников, так и за их пределами. Любая «мировая» модель будет подвержена случайным прямым и обратным социально-политическим связям, учесть которые не представляется возможным. В связи с этим в данном отчете никакие «мировые» модели не рассматриваются, но приводятся конкретные пути возможных взаимоотношений вузов, НИИ, производственных предприятий двух стран, притом только на паритетной основе.

5. Языковой барьер накладывает ряд серьезных ограничений в развитии международных отношений и инициализации совместных проектов.

1. Тенденции научно-технологического развития КНР

1.1. Общие тенденции научно-технологического развития КНР

За двадцать последних лет Китай сделал головокружительный рывок в сфере научных исследований и разработок, в ряде областей опередив уровень развития США, Японии и Германии. Во многом таких результатов удалось добиться благодаря регулярно возрастающему финансированию научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) и четким государственным планам научно-технического развития (Программа среднесрочного и долгосрочного развития науки и техники на 1990–2020 гг.; План 863; Разработка «хай-тек»; Программа «Факел» – освоение и коммерциализация наукоемких технологий на базе современных производств на основе стимулирования инициативы [4], действует с 1987 г.;

Программа «Искра» – внедрение высоких технологий на поселково-волостных предприятиях; Программа «Восхождение» – ведение приоритетных фундаментальных исследований; Государственная программа по научно-техническому развитию на среднее и длительное время, действует с 1991 г.).

К 1996 году в Китае были реализованы 10 крупных научно-технических программ и проектов. Успешно завершилось создание компьютера с десятимиллиардной скоростью расчета «Млечный путь-III» [4].

С целью укрепления контактов в области проблемных исследований в Китае с мировыми исследованиями в Фонде естественных наук Китая было разработано пять направлений международного обмена в рамках международных исследований на основе сотрудничества, был создан специальный фонд на «Временную работу, и чтение лекций обучающихся за границей» [4].

С 1998 года в Академии Наук (АН) Китая начата широкомасштабная программа под названием «Программа знаний и инноваций». Программа нацелена на снижение числа НИИ в рамках АН с 123 до 80 с увеличением финансирования оставшимся институтам [5].

Китайское правительство вкладывает крупные деньги в науку. В 1994 году КНР вкладывал в разработки ученых только 0,6 % валового национального продукта (ВНП), то в 2005 году – уже 1,2 % [3]. В 2006 году Китай потратил на НИОКР 1,23 % ВНП или 136 млрд долларов. В 2011 году – 1,83 % или 153 млрд долларов, выйдя на 2-е место после США по этим показателям, и это положение, судя по прогнозам, в ближайшее время не должно измениться. К 2020 году правительство КНР планирует довести этот показатель до 2,5 % [6].

Согласно мнению руководителя исследовательского института по вопросам политики и управления в области науки и техники Академии наук Китая Му Жунпина, несмотря на рост финансирования науки, Правительство не полностью удовлетворено достигаемыми результатами, в связи с чем нужно не только увеличивать финансирование, но и усиливать контроль за расходованием средств и в целом повышать эффективность системы управления наукой [2]. Эти вопросы для КНР становятся сегодня ключевыми. Уже более десяти лет выстраивается система оценки научной деятельности, повышаются требования к качеству разработок. Такой подход вполне правомерен, так как условия для работы китайских ученых значительно улучшились и практически приблизились к мировому уровню.

По словам директора Института общественного управления университета Цинхуа, руководителя Исследовательского центра по вопросам политики в области науки и техники Сюэ Лань, для Китая актуален вопрос: в каких структурах следует поддерживать науку? В последнее время увеличилась доля инвестиций в НИИ и ВУЗы. Еще один спорный вопрос свя-

зан с формой вложения денег. Здесь КНР придерживается позиции целевых вложений в конкретные проекты. Такая практика повышает мотивацию ученых, увеличивает их заинтересованность в результате. Однако проектное финансирование уже не рассматривается единственной формой поддержки, поэтому Китай в последние годы начал финансировать фундаментальные исследования.

1.2. Возобновляемые источники энергии в КНР

За последние 10 лет Китай вышел на лидирующие мировые позиции в ряде областей ВИЭ. Необходимо отметить, что в производстве и экспорте комплектующих ВИЭ Китай имеет лидирующие позиции по всем направлениям.

Ветроэнергетика в КНР развивается сверхмощными темпами. В 2013 году Китай достиг общей установленной мощности ветропарков 80 ГВт и вышел на первое место в мире, имея четверть мирового парка ветроэлектростанций (мировая мощность на конец 2013 года 320 ГВт). Подробное описание приводится в [13–17]. В основном преобладают крупные (более 1 МВт) ветроэнергоустановки.

Китай является также лидером в солнечной энергетике. К 2013 году суммарная мощность солнечных электростанций Китая (только фотоэлектрических преобразователей) составила свыше 20 ГВт (мировая мощность по различным данным 134–139 ГВт) [20], к 2015 году этот показатель прогнозируется на уровне 35 ГВт при неуклонном снижении стоимости электроэнергии [21]. Китай также является лидером в использовании солнечных коллекторов.

В гидроэнергетике Китай также имеет мировое лидирующее положение, имея в эксплуатации свыше 270 ГВт установленной мощности [22] (в мире свыше 1000 ГВт) [23].

Китай является мировым лидером по темпам внедрения технологий производства биогаза. Суммарный выпуск биогаза в стране составляет 14 млрд $м^3$/год. При этом Китай экспортирует как сам биогаз, так и двигатели на основе этого топлива более чем в 20 стран мира. По мнению экспертов, при сохранении текущих темпов роста биогазовой индустрии (а это практически ежегодное удвоение рынка) Китай выйдет в мировые лидеры по производству биогаза уже к 2020 году. Подробное описание в [18].

Остальные виды ВИЭ не рассмотрены в связи с их небольшим вкладом в общий текущий объем энергопотоков. Мировая статистика по ВИЭ на 2014 год представлена в [24].

2. Возможные варианты перспективного сотрудничества предприятий РФ и КНР в области ВИЭ

В таблице приведены возможные варианты сотрудничества предприятий РФ и КНР в области ВИЭ, при этом доминирующий партнер оставляет за собой область доминанты полностью или частично.

2.1. Приоритетные направления совместных проектов

Приоритетные направления и тематика потенциальных совместных проектов в области ВИЭ в рамках двустороннего сотрудничества может быть определена с помощью выделения наиболее подходящих вариантов из всего множества инновационных направлений, руководствуясь таблицей. Здесь необходимо понимать, что начинать сотрудничество лучше не с глобальных проектов, а с небольших, для ознакомления с тенденциями, устремлениями и добросовестностью партнера, которым может быть вуз, НИИ и производственное предприятие как со стороны РФ, так и со стороны КНР.

Также нужно отметить, что во всех проектах может быть обмен опытом менеджмента, маркетинга, аутсорсинга, стафф-сорсинга и других экономических составляющих.

Таблица

Возможные варианты доминантного сотрудничества предприятий РФ и КНР в области ВИЭ касаемо ветроэнергетики, гелиоэнергетики, гидроэнергетики, биоэнергетики

Тип ВИЭ	Партнер	Область доминанты
Ветро-энергетика, Гелио-энергетика, Гидро-энергетика, Био-энергетика	РФ	1. Интеллектуальный потенциал, интеллектуальная собственность (патенты, ноу-хау). 2. Конструкторская документация. 3. Эксплуатация гибкого производства*. 4. Менеджмент**. 5. Обучение специалистов**. 6. Создание механизмов реализации продукции**.
	КНР	1. Производственный потенциал, массовое производство. 2. Маркетинг*. 3. Менеджмент**. 4. Обучение специалистов**. 5. Создание механизмов реализации продукции. 6. Создание механизмов реализации продукции**.

* – спорные области

** – области, разделенные между партнерами по согласованию

2.2. Ключевые вопросы при проведении совместных НИОКР

При проведении совместных российско-китайских проектов необходимо учитывать специфику мышления субъектов выполнения НИОКР и предусматривать возможную утечку идей и технологий. Основными принципами совместных работ являются следующие:

1. Обдуманный выбор партнера. При этом совсем не обязательно, что с более крупным предприятием, НИИ или университетом сотрудничество принесет больше плодов. В этом случае важна квалификация партнера. Задачей является не отдать, а взять или обменяться.

2. Паритетное финансирование. Этот вопрос с учетом объемов финансирования НИОКР в Китае для российских вузов, НИИ и высокотехнологичных предприятий является относительно сложным, однако решаемым на основе продвижения соответствующих программ.

3. Проведение не только НИР, но и ОКР, ОТР с созданием предсерийных или серийных образцов изделий. Это создает перспективы для обеих сотрудничающих сторон. Решение по изготовлению изделий на всех этапах проведения НИОКР не должно исходить из принципа «где дешевле», а должно основываться на будущих планах воплощения результатов работ.

4. Планомерность организации работ. Работы не должны внезапно сворачиваться, только если не достигнут однозначный отрицательный результат. Отрицательный результат – тоже результат. Надо отметить, что на данный момент в России отрицательный результат для исследователя – фактически необходимость возврата денег. При международном сотрудничестве такого требования быть не должно.

Основными принципами совместных работ в области образования могут являться:

1. Сотрудничество по перекрестному обучению языкам на основе обмена. Здесь имеется в виду не только обучение филологов или переводчиков, но именно будущих специалистов в технике, технологиях, медицине и других прикладных сферах деятельности. На данный момент множество китайских студентов обучаются в Российских ВУЗах, однако единицы российских студентов обучаются в Китае. Тем самым налицо отсутствие как сейчас, так и в ближайшем будущем специалистов по стратегии и тактике развития китайской техники и технологий, что является серьезным упущением в развитии отношений с Китаем, как стратегическим партнером.

2. Непрерывный обмен профессорско-преподавательским составом (ППС). Для понимания китайской системы образования, которая в ближайшее время не претерпит серьезных изменений, необходимы выезды российских преподавателей и ученых в КНР «с погружением». Без понимания системы невозможен качественный рост взаимоотношений. Сегодня Китай перенимает системы обучения США, РФ, ЕС и других развитых стран. Наблюдается тенденция – ученые из США, РФ, ЕС обучают китайских студентов как в своих университетах, так и непосредственно в Китае. Китайский преподавательский состав обучает как своих, так и зарубежных студентов в основном только в Китае. Этот вопрос в целом требует более детального анализа в связи с тем, что именно ППС во многом определяет направления работ студентов, их заинтересованность в учебе, престижность ВУЗа, квалификацию выпускаемых специалистов и, наконец, трудоустройство, для чего, собственно, и проводится обучение.

3. Планомерность проведения обменов. Должен быть составлен четко обоснованный и прозрачный план обменов студентами и ППС на конкурсной основе с соответствующим поощрением победителей. Для этого необходима соответствующая программа реализации таких действий.

4. Сотрудничество в области образования невозможно без проведения студенческих НИОКР. Если еще 10–15 лет назад российские вузы могли предложить достойные площадки для обучения студентов и проведения НИОКР, то сегодня это оборудование серьезно устарело с учетом того, что сегодня предлагают китайские вузы. Следовательно, для соблюдения паритета, российским вузам необходимо наращивать исследовательскую и лабораторную базу, что требует определенного финансирования.

Библиографический список

1. Муравьева, И. Россия–Китай: пути сближения / Курьер российской академической науки и высшей школы / И.Муравьева // Российский гуманитарный научный фонд. – № 1–3 (241–243). – С. 1–2. – URL: http://www.strf.ru/material.aspx?d_no=28079.

2. Видеомост «Научно-техническое развитие в России и Китае в XXI веке: тенденции и перспективы» // РИА «Новости». – 2010.

3. Лента.Ру Китай обгоняет Японию по расходам на науку и техник. – 2006. – URL: http://www.unian.net/rus/news/news-175632.html.

4. Russian.News.CN. – URL: http://russian.xinhuanet.com.

5. Миронин, С. Наука Китая и России. Куда ведут дороги прогресса / С. Миронин // Биометрика. – 2007. – URL: http://www.biometrica.tomsk.ru/naukoved/mironin_2.htm.

6. Орлова, А.И. Сравнительный анализ расходов на НИОКР и НИР в Китае и США / А.И. Орлова, Т.В. Карпенко // Материалы VI Международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум». – 2014. – URL: http://www.scienceforum.ru/2014/504/6081.

7. Официальный сайт Министерства Энергетики РФ. – URL: http://www.minenergo.gov.ru/activity/vie/.

8. Официальный сайт Министерства Энергетики РФ. – URL: http://www.minenergo.gov.ru/activity/vie/policy_and_legal_framework/.

9. Официальный сайт Министерства Энергетики РФ. – URL: http://www.minenergo.gov.ru/activity/vie/international_cooperation/.

10. Материалы XIV Российского энергетического форума. – Уфа. – Башкирия. – 2014.

11. Материалы 9-й сессия «Энергодиалога Россия-Китай». – URL: http://www.minenergo.gov.ru/china/index.php?sphrase_id=870227.

12. Энергетическая стратегия России // Официальный сайт Министерства Энергетики РФ. – URL: http://www.minenergo.gov.ru/activity/energostrategy-/full.php?sphrase_id=870227.

13. Соломин, Е.В. Состояние развития мировой ветроиндустрии / Сироткин Е.А., Е.В. Соломин, и др. // Альтернативная энергетика и экология. – М.: НИИЭС, 2014 – № 05 (145). – С.20–25.

14. Solomin, E.V. State of World Wind Industry Development / E.V. Solomin // Альтернативная энергетика и экология. – М.: НИИЭС, 2014 – №1 (1). – С.22–26.

15. Соломин, Е.В. Состояние малой ветроэнергетики в мире / Е.В. Соломин, Е.А. Сироткин и др. // Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 05 (145). – С. 26–31.

16. Solomin, E.V. Status of World Small Wind Power / E.V. Solomin // Альтернативная энергетика. – 2014. – № 1 (1). – С. 27–31.

17. Соломин, Е.В. Ветроэнергетика Китая (краткий обзор) / Е.В. Соломин, А.Л. Гусев // Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 17 (157). – С. 10–23.

18. Биогазовая энергетика: опыт Китая / Ресурсосберегающее земледелие. – 2012. – URL: http://agropraktik.ru/blog/Renewable_Energy/32.html.

19. Официальный сайт Solar Energy Industries Association. – URL: http://www.seia.org/.

20. Snapshot of Global PV 1992-2013" / 2nd Edition ISBN 978-3-906042-19-0. – International Energy Agency. – URL: http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/PVPS_report_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2013_-_final_3.pdf.

21. Солнечная энергетика Китая – абсолютные рекорды 2013 года // Альтернативная энергетика. – AEnergy. – 2014. – URL: http://aenergy.ru/4288.

22. China's $25 Billion Three Gorges Dam Rivals The Great Wall Of China In Scale And Ingenuity // Business Insider. – URL: http://www.businessinsider.com/big-dam-resources-2014-8.

23. Global Status Report 2014 // Renewable Energy Policy Network.

24. Renewables 2014. Global Status Report. – URL: http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_KeyFindings_low%20res.pdf.

К содержанию

УДК 004.94

К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ БГУ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТИПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Ж.Б. Телюбаев, Ю.П. Ильин, А.Х. Доскенов

В статье представлена имитационная динамическая компьютерная модель биогазовой установки в пакете программ SciLab, дающей право на публикацию в открытой печати. Программа дает возможность оценки зависимостей от ее энергетического потенциала при переработке отходов животноводства в условиях зоны Урала при различных режимах работы. Данная модель базируется на различных видах компоновки биогазовой установки в условиях помещения при различных составляющих температурной защиты. Учитывает значительные массивы различных видов компоновки биогазовой установки, как в помещении, так и вне помещения с различными видами изоляционных видов покрытий. Компьютерная модель позволяет наглядно имитировать процесс переработки делать компактные выборки и достаточно точно имитировать режим работы.

Ключевые слова: имитационная модель, SciLab, Scicos, биогазовая установка.

Целью работы являлось изучение анаэробной переработки отходов посредством динамической компьютерной модели на примере комплекта обработки биологических стоков («КОБОС»). Это дало возможность установить зависимость параметров установки от энергетического потенциала отходов животноводства в сочетаниях различных условиях внешней среды и режимов работы.

Задачи

1) получение взаимосвязи между отдельными элементами в динамическом имитировании температуры, состава субстрата, длительности брожения и различных конструкциях метантенков биогазовой установки (БГУ) горизонтального типа;

2) изучение технологического процесса переработки при мезофильном (37 ºС), термотолерантном (42 ºС) и термофильном (55 ºС) режимах брожения;

3) отражение взаимосвязей между энергетическими характеристиками представленных элементов БГУ и балансом установки.

Рассмотренная БГУ состоит из реакторов с системой отбора газа, измельчителя, подогревателя-выдерживателя, фекальных и винтовых насосов, газгольдера, компрессора, водогрейного котла пульта управления. Базовый комплект оборудования рассчитан для ферм на 400 коров [1–4].

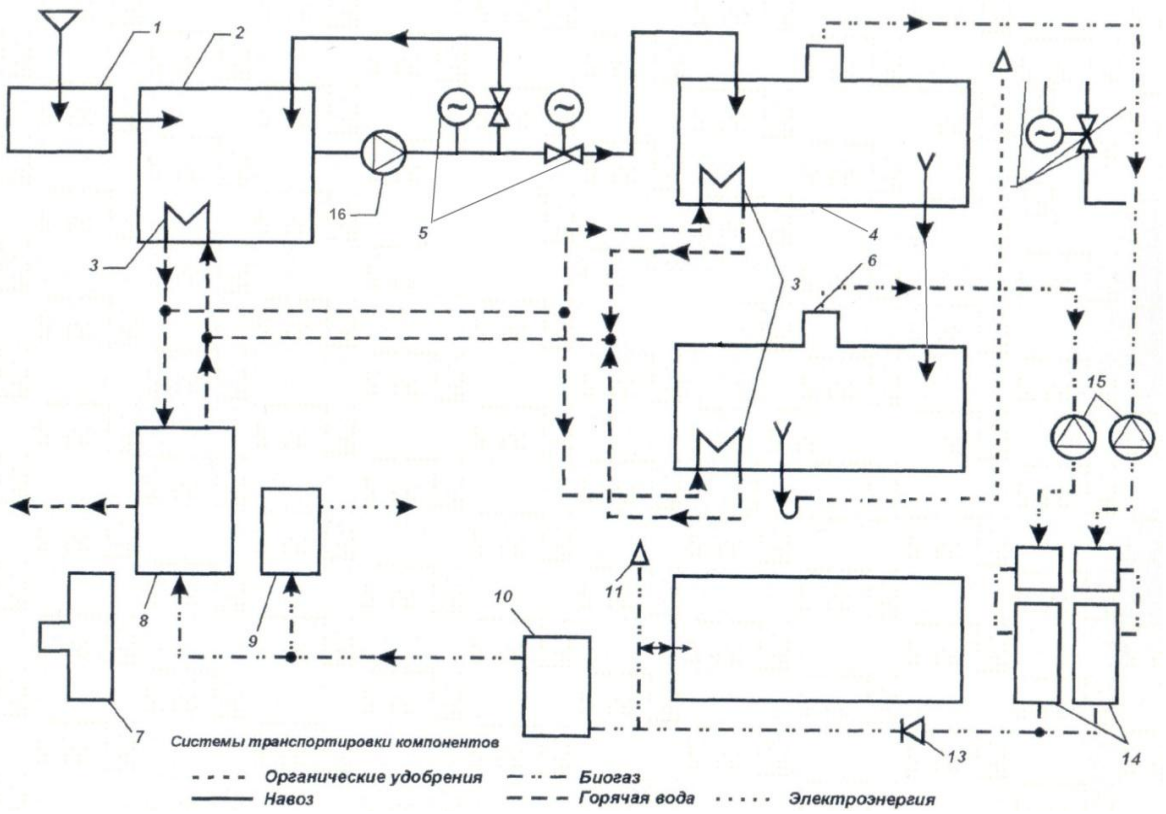


Рис. 1. Технологическая схема БГУ: 1 – Измельчитель;
2 – Подогреватель-выдерживатель; 3 – Теплообменники;
4 – Реакторы (1-n); 5 – Затворы; 6 – Доброживатель;
7 – Система автоматического управления; 8 – Котел водогрейный;
9 – Энергоустановка; 10 – Гидрозатвор; 11 – Аварийный сброс газа;
12 – Газгольдер; 13 – Клапан обратный; 14 – Блок очистки биогаза;
15 – Компрессоры биогаза; 16 – Насос-дозатор [5]

Используя данные лабораторной биогазовой установки (ЛБГУ) объемом 45 литров, нами был определен выход биогаза при трех режимах брожения мезофильном, термотолерантном и термофильном режимах анаэробного брожения навоза КРС.

Данные выхода биогаза в ЛБГУ были переведены для выхода биогаза с БГУ объемом 75м³ для мезофильного, термотолерантного и термофильного режимов анаэробного брожения навоза КРС.

Для создания динамической модели БГУ нами был выбран общедоступный пакет прикладных математических программ SciLab, в состав которого входит Scicos – инструмент для редактирования блочных диаграмм и симуляции [6–7].

Таблица 1

Выход газа с ЛБГУ, для различных режимов [1]

Сутки	Выход газа с ЛБГУ (45л), л/кг СОВ							
	Мезофильный режим		Термотолерантный режим			Термофильный режим		
	СОВ, кг	Навоз КРС	СОВ, кг	Навоз КРС (max)	Навоз КРС (min)	СОВ, кг	Навоз КРС (max)	Навоз КРС (min)
1	0,24	2,4	0,327	4,60	4,30	0,45	8,10	7,20
2	0,24	3,6	0,327	6,90	6,40	0,45	12,15	10,8
3	0,24	4,8	0,327	9,20	8,50	0,45	16,20	14,4
4	0,24	6,0	0,327	11,5	10,6	0,45	20,25	18,0
5	0,24	7,2	0,327	13,7	12,8	0,45	24,30	21,6
6	0,24	8,4	0,327	16,0	14,9	0,45	28,35	25,2
7	0,24	9,6	0,327	18,3	17,0	0,45	32,40	28,8
8	0,24	10,8	0,327	20,6	19,1	0,45	36,45	32,4
9	0,24	12,0	0,327	22,9	21,3			
10	0,24	13,2	0,327	25,2	23,4			
11	0,24	14,4	0,327	27,5	25,5			
12	0,24	15,6						
13	0,24	16,8						
14	0,24	19,2						
15	0,24	21,6						

Таблица 2

Выход газа при мезофильном режиме анаэробного брожения субстрата навоза КРС (15 суток время обращения биореактора и температуре 37 ºС)

Сутки	Выход газа, $м^3$	Вынос с биогазом частиц субстрата, тонн	Содержание СОВ в дозе, $м^3$	Суточная доза, $м^3$
1	3,269	0,004	0,327	4,086
2	4,898	0,006	0,327	4,082
3	6,521	0,008	0,326	4,076
4	8,136	0,010	0,325	4,068
5	9,740	0,012	0,325	4,058
6	11,330	0,014	0,324	4,047
7	12,906	0,015	0,323	4,033
8	14,463	0,017	0,321	4,018
9	16,001	0,019	0,320	4,000
10	17,516	0,021	0,318	3,981
11	19,008	0,023	0,317	3,960
12	20,473	0,025	0,315	3,937
13	21,910	0,026	0,313	3,913
14	24,872	0,030	0,311	3,886
15	27,766	0,033	0,309	3,856
Сумма	218,809	0,263	4,800	60

Таблица 3

Выход газа при термотолерантном режиме анаэробного брожения субстрата навоза КРС (11 суток время обращения биореактора и температуре 42 ºС)

Сутки	Выход газа, м^3		Вынос с биогазом частиц субстрата		Содержание СОВ в дозе, м^3		Суточная доза, м^3	
	min	max	min	max	min	max	min	max
1	5,762	6,212	0,007	0,007	0,443	0,444	5,540	5,547
2	8,632	9,306	0,010	0,011	0,443	0,443	5,533	5,539
3	11,487	12,383	0,014	0,015	0,442	0,442	5,523	5,528
4	14,323	15,437	0,017	0,019	0,441	0,441	5,509	5,513
5	17,134	18,462	0,021	0,022	0,439	0,440	5,492	5,495
6	19,915	21,452	0,024	0,026	0,438	0,438	5,471	5,472
7	22,661	24,401	0,027	0,029	0,436	0,436	5,447	5,447
8	25,366	27,304	0,030	0,033	0,434	0,433	5,420	5,417
9	28,026	30,154	0,034	0,036	0,431	0,431	5,390	5,385
10	30,636	32,947	0,037	0,040	0,428	0,428	5,356	5,348
11	33,192	35,676	0,040	0,043	0,426	0,425	5,319	5,309
Сумма	217,13	233,73	0,261	0,280	4,8	4,8	60,00	60,00

Таблица 4

Выход газа при термофильном режиме анаэробного брожения субстрата навоза КРС (8 суток время обращения биореактора и температуре 55 ºС)

Сутки	Выход газа, м3		Вынос с биогазом частиц субстрата		Содержание СОВ в дозе, м3		Суточная доза, м3	
	min	max	min	max	min	max	min	max
1	9,704	10,931	0,012	0,013	0,606	0,607	7,581	7,591
2	14,533	16,368	0,017	0,020	0,606	0,606	7,569	7,578
3	19,333	21,768	0,023	0,026	0,604	0,605	7,552	7,558
4	24,092	27,116	0,029	0,033	0,602	0,603	7,529	7,532
5	28,799	32,398	0,035	0,039	0,600	0,600	7,500	7,500
6	33,444	37,602	0,040	0,045	0,597	0,597	7,465	7,461
7	38,016	42,714	0,046	0,051	0,594	0,593	7,425	7,416
8	42,505	47,721	0,051	0,057	0,590	0,589	7,379	7,364
Сумма	210,425	236,62	0,252	0,283	4,8	4,8	60	60

В разработанной компьютерной модели в пакете SciLab-Scicos возможно моделирование трех температурных режимов анаэробного брожения субстрата навоза КРС: мезофильного, термотолерантного и термофильного (рис. 2).

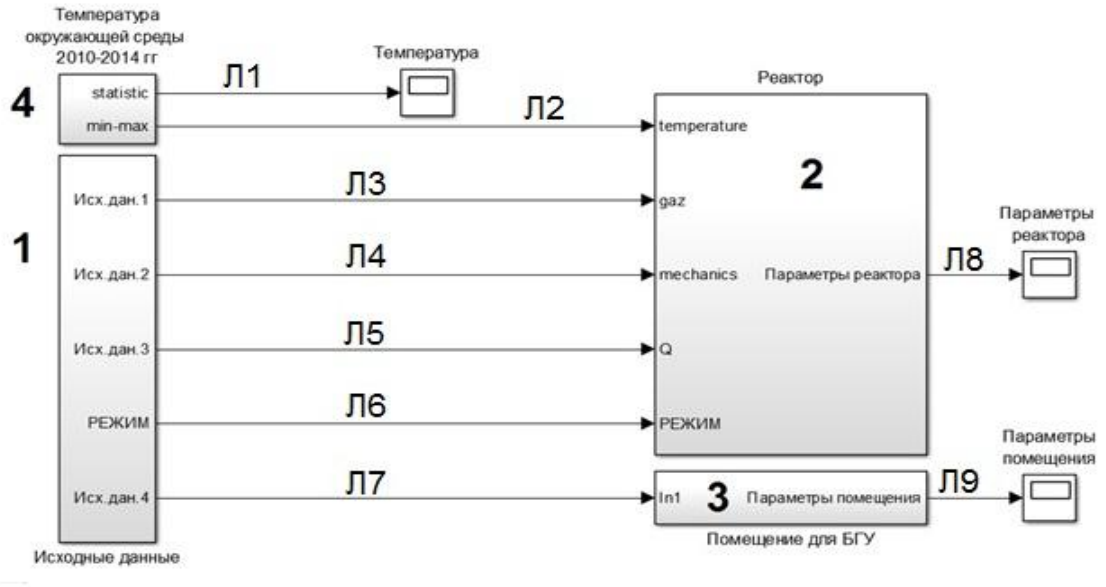


Рис. 2. Общий вид компьютерной модели БГУ, выполненной в пакете Scicos:
1 – Блок исходных данных; 2 – Блок реактора;
3 – Блок помещения для БГУ; 4 – Блок хода температур
в течение 2010–2014 годов; Л1, Л2, Л3, Л4, Л5, Л6 – линии связи

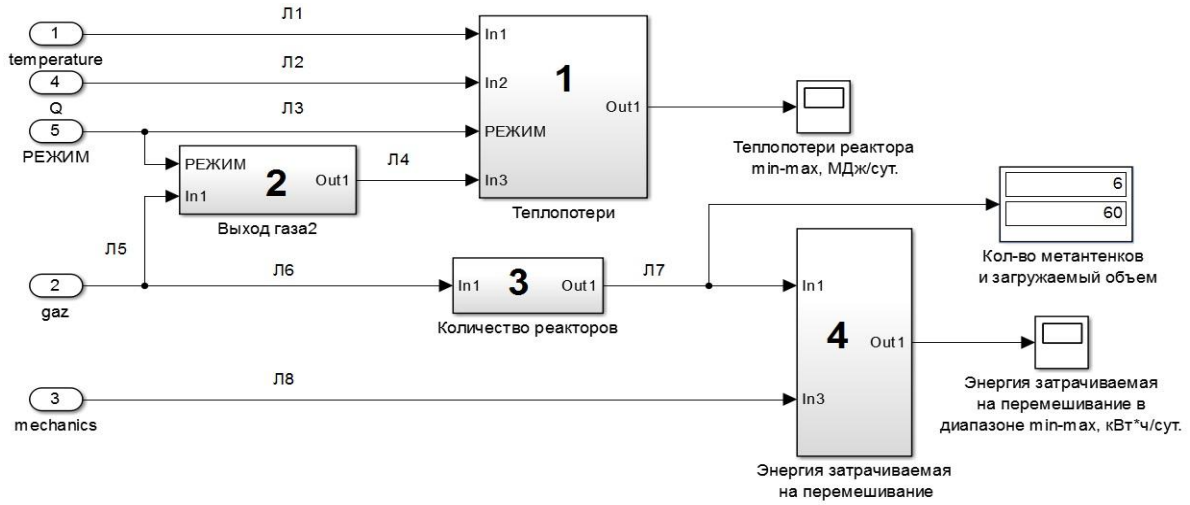


Рис. 3. Общий вид блока «Реактор»: 1 – Блок определения теплопотерь реактора;
2 – Блок определения выхода газа; 3 – Блок определения количества реакторов;
4 – Блок определения затрачиваемой энергии на перемешивание субстрата;
Л1 – Л8 – линии связи

Компьютерная модель поможет быстро рассчитать энергию на собственные нужды, определить компоновку и т.д.

Выводы

1. Имитационная динамическая модель дает возможность получения результатов выхода биогаза при различных сочетаниях параметров биогазовой установки и может быть рекомендована для условий Южного Урала.

2. Получение необходимой энергии на собственные нужды биогазовой установки горизонтального типа в условиях Южного Урала, с учетом низких температур зимнего периода. Отображает реальные затраты энергии на режимы переработки отходов животноводства.

Библиографический список

1. Васенев, В.В. Оценка выхода биогаза при различных режимах брожения навоза крс в биогазовой установке / В.В. Васенев, Л.Ю. Панчева, Ж.Б. Телюбаев, Ю.П. Ильин // Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, участием и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых. 2014 г. УрФУ им. первого Президента Б.Н. .Ельцина. – Екатеринбург, 2014. – С. 384–386.

2. Дубровский, В.С. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов / В.С. Дубровский, У.Э. Виестур. – Рига: Зинатне, 1988. – 204 с.

3. Оценка выхода биогаза при мезофильной переработке сенажа топинамбура в биогазовом кластере / Ю.П.Ильин [и др.] // Вестник ЧГАА. – 2014. – Т. 68. – С. 39–50.

4. Ильин, Ю.П. / Ю.П. Ильин, Н.Ю. Кузьмина, Н.В. Рудных // Сборник докладов форума «Энергоэффективность и энергосбережение». – Челябинск, 9–11 декабря 2014.

5. Ильин, Ю.П. Энергетические возможности использования биогазовых установок в Челябинской области / Ю.П. Ильин, Н.Ю. Кузьмина, Н.В. Рудных // Материалы LI междунар. науч.-техн. конференции «Достижения науки – агропромышленному производству» / под ред. д-ра техн. наук, проф. Н.С. Сергеева. – Челябинск: ЧГАА, 2012. – Ч. V. – С. 72–81.

6. Данилов, С. Учебное пособие: SCICOS пакет SCILAB для моделирования динамических систем / С. Данилов. – 2011. – 74 с.

7. Материалы сайта www.scilab.org.

К содержанию

УДК 621.311.24

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕТРЯНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМУМА ОТБОРА МОЩНОСТИ

В.И. Смолин, И.Г. Топольская, В.А. Яковлев

Рассмотрены алгоритмы управления ветряным двигателем, основанные на оптимальном отборе мощности ветроколеса путем автоматического регулирования электрической нагрузки. На примере четырехлопастного ветряного двигателя горизонтально-осевой ветроэнергетической установки выполнен перерасчет аэродинамических характеристик из координат «момент – быстроходность» в координаты «угловая скорость – момент» и «мощность – момент». Наличие на мощностных характеристиках ярко выраженного экстремума позволяет получить функцию оптимального управления мощностью ветроколеса при различных скоростях набегающего потока.

Ключевые слова: ветряной двигатель, ветроэнергетическая установка, энергетические преобразования, механические характеристики, мощностные характеристики, алгоритмы управления.

Серьезным препятствием широкого применения многолопастных ветряных двигателей (ВД) является их узкополостность, проявляющаяся в относительно малом диапазоне быстроходности Z с высоким коэффициентом мощности [1]. Применение современных методов регулирования мощности ВД позволяет существенно скорректировать отмеченный недостаток [2]. В ветроэнергетических установках (ВЭУ) средней и большой мощности применяют два основных метода регулирования мощности ВД [3]: Pitch (пичь) – изменение установочного угла лопастей ветроколеса; Stall (стол) – вариация коэффициента заполнения профиля лопастей по длине. Оба метода решаю одну и туже задачу ограничения максимальной мощности ВД на постоянным уровне $P_н$ в диапазоне больших ветровых потоков (например, $V_0 \geq 13$ м/с). Методы регулирования мощностных характеристик ВД средней и большой мощности в рабочем диапазоне малых скоростей развиваются в направлении непрерывного регулирования угла установки лопастей в зависимости от скорости набегающего потока и угловой скорости ВД. Аналогичные разработки для ВД малой мощности считаются технически и экономически не оправданными [4].

Повысить энергетическую эффективность ВД малой мощности в рабочем диапазоне скоростей можно другим способом, обеспечивая оптимальное согласование угловой скорости ветроколеса с набегающим потоком воздуха путем регулирования тормозного момента ВД с помощью электрогенератора и электрической нагрузки. Этот метод не требует непрерывного

изменения геометрических параметров ВД и реализуется в электрической части ВЭУ путем оптимального регулирования отбора мощности. Рассмотрим данный метод управления ветряным двигателем более подробно.

Аэродинамические характеристики ВД чаще всего представляют в виде зависимостей относительного крутящего момента $\overline{M}$ и коэффициента мощности C_p от быстроходности Z ветроколеса (рис. 1).

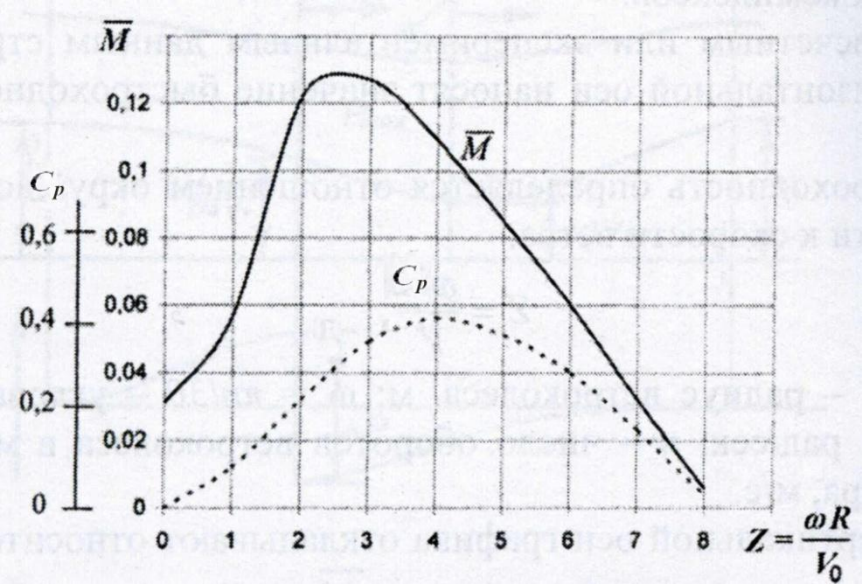


Рис. 1. Пример аэродинамических характеристик трехлопастного ВД [2]: ω, R – угловая скорость и радиус ветроколеса

Аэродинамические графики можно пересчитать в механические характеристики ВД и получить зависимости относительной угловой скорости $\Omega = \omega/\omega_0$ от момента $\overline{M}$. Это следует из коэффициента быстроходности Z, пропорционального угловой скорости ветроколеса. На рис. 2–4 приведены примеры построения номинальной механической характеристики ВД, выполненные по данным [5] для ВД с различным числом лопастей. Приведенные расчеты показывают, что механические и мощностные характеристики ВД различных конструкций подобны.

В режиме номинальной скорости $V_{0н}$ = const набегающего потока и ненагруженного ветроколеса принято $\Omega = 1$. Скорость ветроколеса под нагрузкой уменьшается и в критическом режиме ($M_к, \Omega_к$) происходит качественное изменение действия аэродинамических сил. Вращающий момент нагруженного ВД падает и ветроколесо останавливается ($\overline{M}_0$ – начальный момент или момент трогания). Мощностная характеристика ВД имеет ярко выраженный максимум, по которому чаще всего определяют его номинальную мощность $P_н$. Относительная угловая скорость ветроколеса в режиме номинальной нагрузки $\Omega_н = 0{,}55...0{,}65$ близка к теоретической $\Omega_н^* = 2/3$.

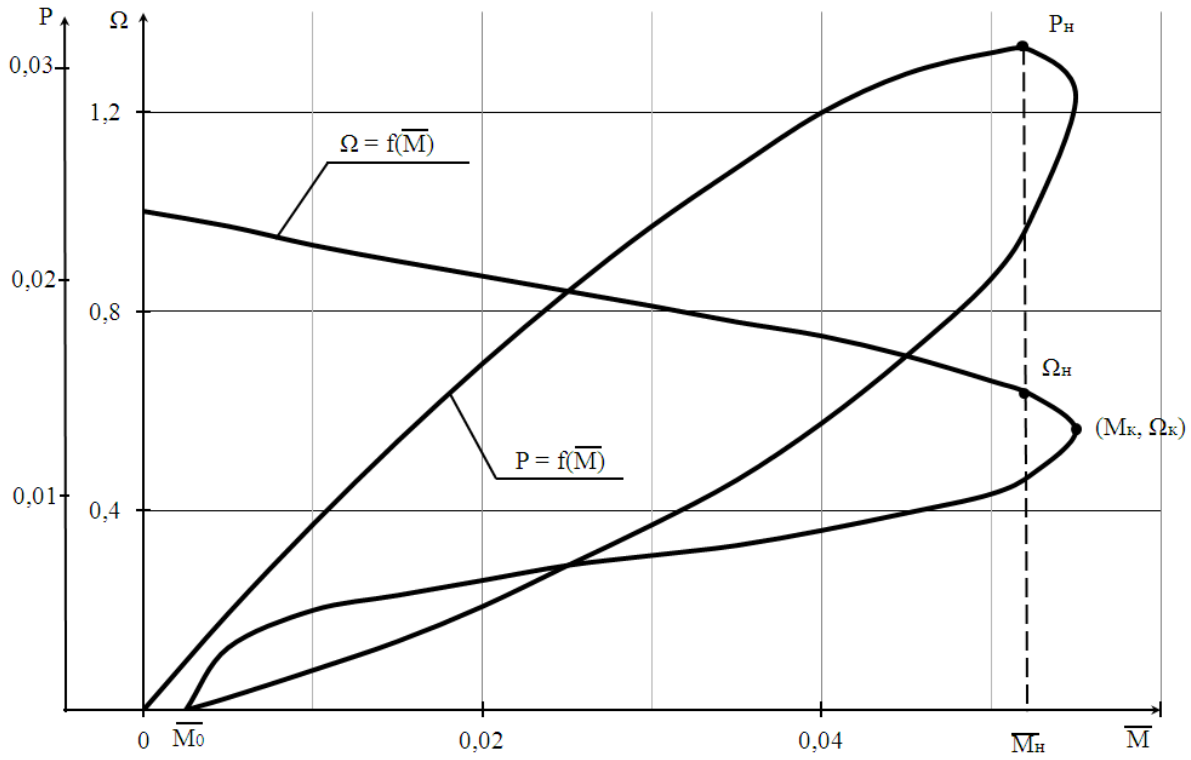


Рис. 2. Зависимость относительной угловой скорости и мощности $P = \Omega \cdot \overline{M}$ от момента $\overline{M}$ четырехлопастного ВД горизонтально-осевой ВЭУ при $V_{0н}$ = const

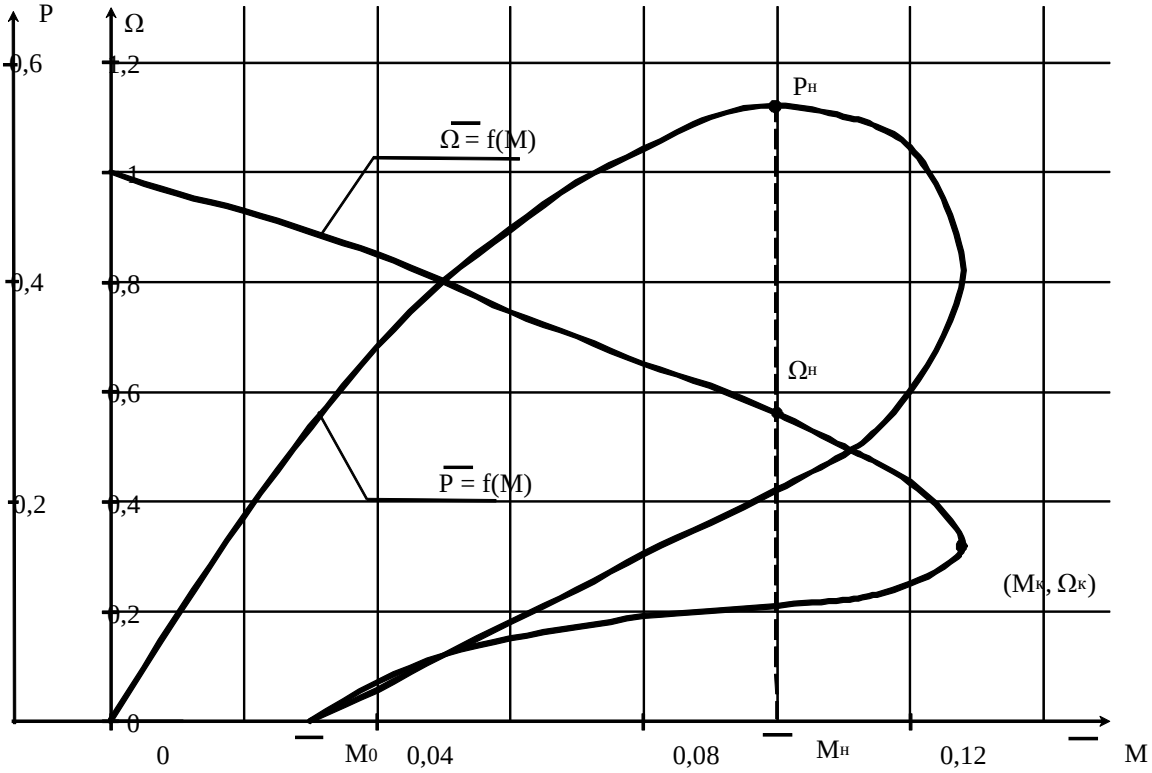


Рис. 3. Зависимость относительной угловой скорости и мощности $P = \Omega \cdot \overline{M}$ от момента $\overline{M}$ трехлопастного ВД горизонтально-осевой ВЭУ при $V_{0н}$ = const

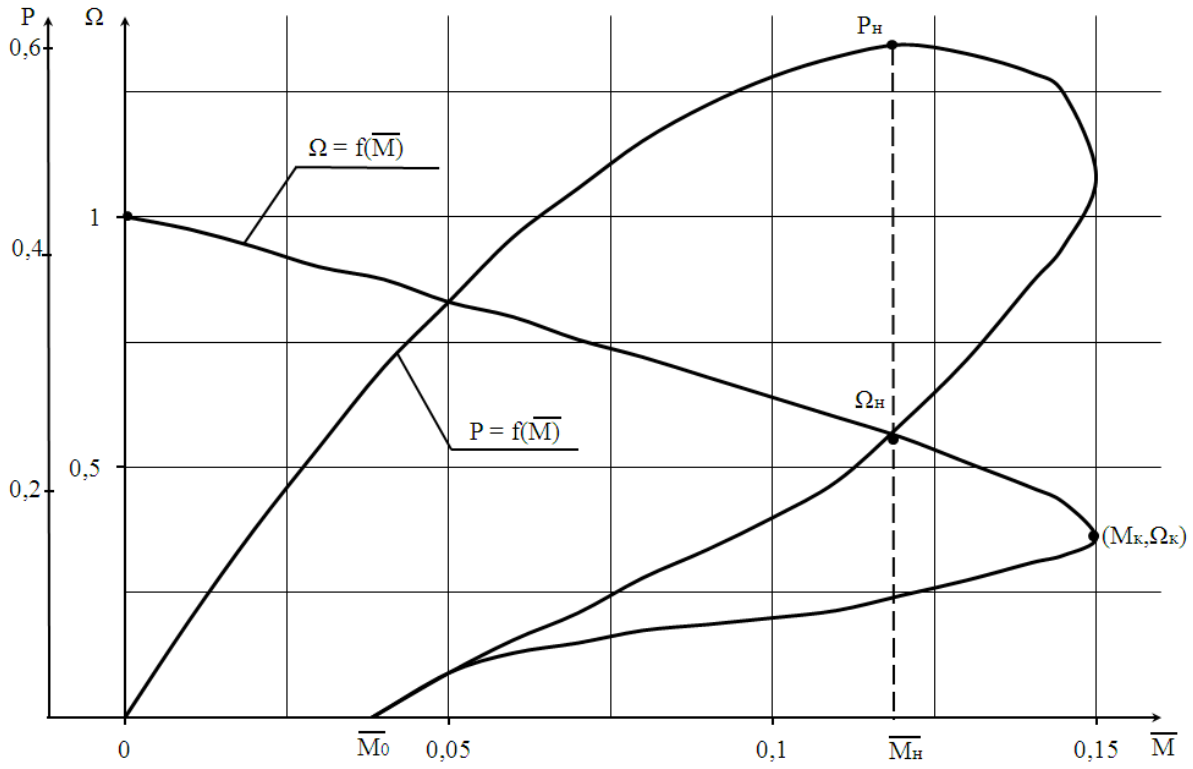


Рис. 4. Зависимость относительной угловой скорости и мощности $P = \Omega \cdot \overline{M}$ от момента $\overline{M}$ четырехлопастного ВД горизонтально-осевой ВЭУ при $V_{0н}$ = const

Наличие экстремума создает теоретические предпосылки для разработки метода управления ВД по критерию оптимального отбора мощности. На рис. 5 приведены характеристики четырехлопастного ВД в более широком диапазоне скоростей V_0. Их пересчет с номинальной скорости $V_{0н}$ ветра на другие V_{0i} выполнен с учетом того, что мощность набегающего потока $P_{0i} \sim V_{0i}^3$.

Точки экстремума позволяют получить функцию регулирования по критерию максимального отбора мощности $P_{max} = f(\overline{M})$. Аналогичная функция управления может быть получена с использованием механических характеристик (рис. 6). Закон управления представлен в этом случае в координатах $\Omega = f(\overline{M})$. Исключив из полученных данных момент $\overline{M}$, алгоритмы управления можно представить в виде $P_{max} = f(\Omega)$.

Управление ветроколесом в функции $\overline{M}$ требует применения технически сложных датчиков тормозного момента. Задача упрощается в случае применения закона управления $P_{max} = f(\Omega)$. Определение аргумента может осуществляться с помощью двух датчиков: скорости ветра V_0 ($V_0 \sim \omega_0$), и угловой скорости ветроколеса ω.

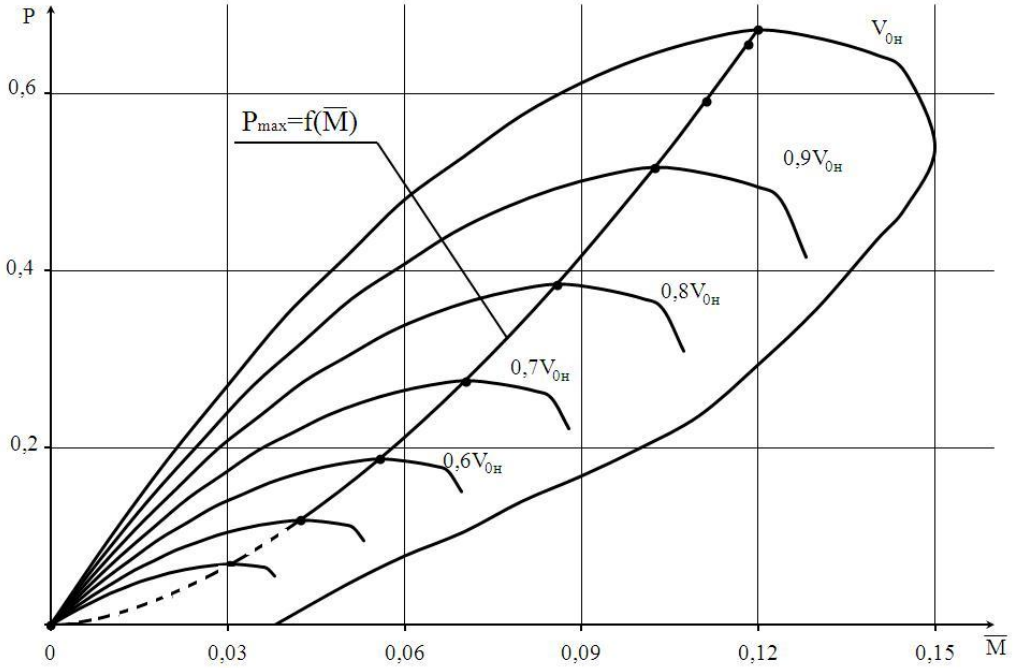


Рис. 5. Мощностные расчетные характеристики четырехлопастного ВД

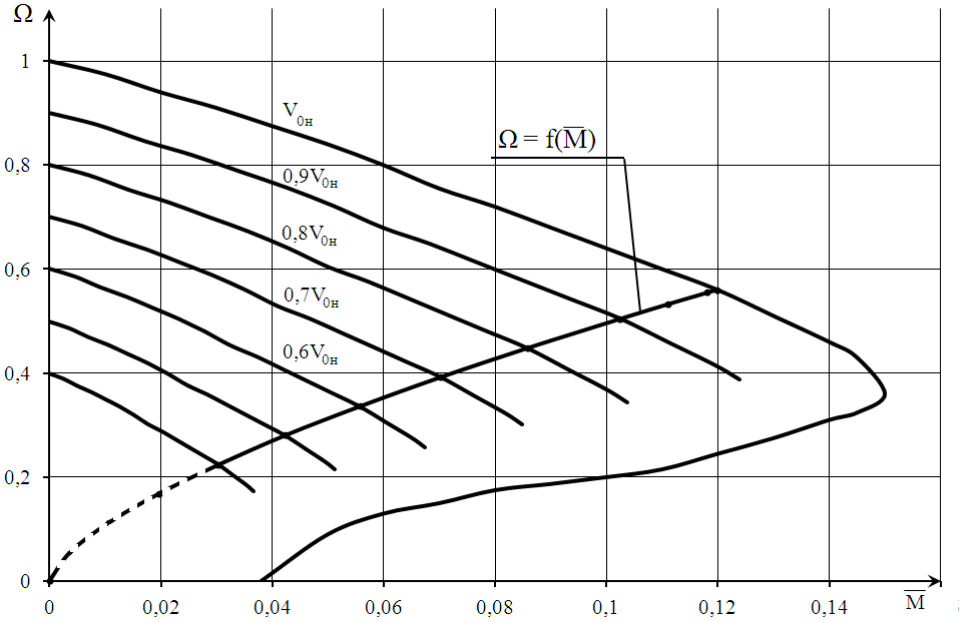


Рис. 6. Механические расчетные характеристики четырехлопастного ВД

В памяти блока управления ВЭУ (контроллера) хранится функция управления $P_{max} = f(\Omega)$, полученная в результате испытаний или моделирования ВД. Используя текущую информацию о скорости ветра V_0 (угловой скорости ω_0 холостого хода) и реальной скорости ветроколеса ω, контроллер управляет электрической мощностью потребителей, приводя ее в соответствие с табличным P_{max}.

В заключение отметим: в статье рассмотрены алгоритмы управления ветряным двигателем, основанные на оптимальном отборе мощности ветроколеса путем автоматического регулирования электрической нагрузки. На примере четырехлопастного ветряного двигателя горизонтально-осевой ветроэнергетической установки выполнен перерасчет аэродинамических характеристик из координат «момент – быстроходность» в координаты «угловая скорость – момент» и «мощность – момент». Наличие на мощностных характеристиках ярко выраженного экстремума позволяет получить функцию оптимального управления мощностью ветроколеса при различных скоростях набегающего потока.

Библиографический список

1. Безруких, П.П. Ветроэнергетика / П.П. Безруких. – М.: ИД «ЭНЕРГИЯ», 2010. – 320 с.

2. Кирпичникова, И.М. Ветроэнергетические установки. Расчет параметров компонентов: учебное пособие / И.М. Кирпичникова, Е.В. Соломин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 71 с.

3. Безруких, П.П. Ветроэнергетика: Справочно-методическое издание / П.П. Безруких, П.П. Безруких (мл.), С.В. Грибков; под общ. ред. П.П. Безруких. – М.: «Интехэнерго–Издат, «Теплоэнергетик», 2014. – 304 с.

4. Амерханов, Р.А. Проектирование систем энергообеспечения: учебник для студентов вузов по направлению «Агроинженерия» / Р.А. Амерханов, А.В. Богдан, С.В. Вербицкая, К.А. Гарькавый. Под ред. Р.А. Амерханова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2010. – 548 с.

5. Харитонов, В.П. Основы ветроэнергетики / В.П. Харитонов. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. – 340 с.

К содержанию

УДК 621.311 + 620.9 + 621.314

РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ АКТИВНО-АДАПТИВНЫХ СЕТЕЙ

Д.В. Топольский

Статья содержит анализ концепции активно-адаптивных сетей, развитие которых предусмотрено Положением ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе. Определены направления проведения прикладных научных исследований и экспериментальных разработок для реализации инновационных проектов для интеллектуальных электрических сетей.

Ключевые слова: электросетевой комплекс, активно-адаптивная сеть, интеллектуальные электронные устройства, цифровые измерительные трансформаторы, возобновляемые источники энергии.

Мировая электроэнергетика практически повсеместно сталкивается с проблемой, когда быстрый рост генерации не обеспечен столь же стремительным развитием электрических сетей и систем управления. Первой с этим столкнулась самая мощная в мире, но относительно слабо интегрированная, электроэнергетика США, когда в 1965 году из-за недостатков сетей и управления были обесточены 25 миллионов человек [1]. Затем были и другие аварии, но превзошла всех авария 2003 года в США и Канаде, когда были обесточены 50 миллионов человек. Основными версиями причин аварий назывались недостатки в развитии линий электропередач (ЛЭП) и проблемы коммуникации между системными операторами.

Подобные каскадные аварии происходили и в Европе, когда из-за резких скачков мощности ветровых электростанций отключились две ЛЭП. В результате оказались без электроэнергии несколько миллионов человек в Германии, Франции, Италии, Бельгии и Испании.

В России в 2005 году в результате аварии на подстанции 500 кВ «Чагино» также были остановлены 3,5 ГВт мощностей в Московском регионе. Это на порядок меньше, чем в зарубежных авариях, но сама тенденция порождает необходимость предпринятия ряда системных шагов в электроэнергетике, направленных на улучшение систем управления и электропередачи.

В мировой практике модернизация электрических сетей и систем управления осуществляется различными путями. В США, помимо конструктивных мер по технологическому совершенствованию электросетей (новые материалы проводов и опор, управляемые электропередачи (FACTS)), обсуждаются различные революционные проекты. Например, покрыть всю страну равномерной сетью сверхпроводящих электропередач

так, чтобы генераторы и потребители электроэнергии располагались там, где им удобно. В Европе предпочитают «умные сети» (Smart Grids). Это делается, прежде всего, с целью надежно интегрировать в энергосистему генераторы на возобновляемых источниках энергии (ветер, солнце, малые ГЭС, низкопотенциальное тепло, биогаз). Естественно, что для электросетевого комплекса России, уникального по территории комплекса параллельной работы, необходимо предусмотреть свои особенности в развитии. В этой связи в России развивается концепция активно-адаптивной сети.

Развитие активно-адаптивной сети в России во многом определяется «Положением ОАО «Россети» о Единой технической политике» (в дальнейшем – Положением), утвержденным Советом директоров ОАО «Россети» 23.10.2013, протокол № 138 [2]. Данный документ акцентирует внимание на наиболее прогрессивных технических решениях, задает перечень и границы применения тех или иных технических решений, оборудования и технологий, направленных на повышение технического уровня процессов передачи, преобразования и распределения электроэнергии, процессов управления, эксплуатации и развития электросетевого комплекса России. Соблюдение требований Положения является обязательным для структурных подразделений ОАО «Россети» и рекомендательным для третьих лиц, привлекаемых для выполнения работ. Соответственно, это почти однозначно означает, что в случае планирования использования результатов проводимых научных исследований и экспериментальных разработок в электросетевом комплексе России, требования Положения целесообразно учесть в проработке вариантов реализации разработок.

В Положении отмечается, что в связи с развитием электроэнергетической отрасли к функционированию и развитию электросетевого комплекса предъявляются новые и ужесточаются традиционные требования, касающиеся, в первую очередь:

– надежности функционирования энергообъектов и, как следствие, надежности электроснабжения потребителей;

– готовности электросетевой инфраструктуры к обеспечению функционирования оптового и розничных рынков электрической энергии, параллельной работы ЕЭС России и электроэнергетических систем иностранных государств, присоединению новых генерирующих мощностей и потребителей;

– экономичности функционирования и развития;

– безопасности персонала и сокращения негативного влияния на экологию.

Положение констатирует, что развивающийся сегодня в основном по традиционным принципам электросетевой комплекс РФ в определенной перспективе не сможет в полной мере удовлетворить выдвигаемым к ней

требованиям, что определяет необходимость перехода к инновационному пути ее развития. Это, в свою очередь, явилось предпосылкой к формированию концепции Интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью (Концепция ИЭС ААС), возможность создания которой обусловлена развитием таких технологий как:

– гибкие линии электропередачи (FACTS);

– ЛЭП и вставки постоянного тока на основе современных преобразовательных устройств с микропроцессорным управлением;

– высокоскоростные средства связи;

– микропроцессорная техника для обработки информации и управления оборудованием.

В Положении перечислены новые свойства, которыми должна обладать ИЭС ААС для реализации этих требований. Среди них:

− адаптивная реакция управляемых элементов ИЭС ААС на изменения электроэнергетического режима энергосистемы в реальном времени, в том числе во взаимодействии с централизованными и локальными устройствами режимного противоаварийного управления в нормальных, аварийных и послеаварийных режимах работы энергосистемы;

− базирование на новых информационных ресурсах и технологиях для оценки ситуаций, выработки и принятия оперативных и долговременных решений;

− возможность сбора и обработки больших объемов информации текущем состоянии энергосистемы и ее элементов (обеспечение наблюдаемости) о внешней среде (освещенность, осадки, гололед, ветровые нагрузки и другие метеофакторы), с ее использованием в современных системах управления реального времени;

− возможность адаптивной реакции на текущую ситуацию в энергосистеме в режиме реального времени, предупреждая возникновение и развитие аварийных ситуаций за счет использования автоматических систем управления и взаимного оказания широкого спектра услуг субъектами рынка электроэнергетики инфраструктурой, используя рыночные возможности;

− возможность максимальной самодиагностики элементов ИЭС ААС использованием ее результатов в алгоритмах функционирования автоматически систем режимного и противоаварийного управления;

− применение высокопроизводительных вычислительных ресурсов алгоритмов управления, как для выработки автоматических управляющих воздействий, так и для предоставления рекомендаций диспетчерскому, оперативно-технологическому и ремонтному персоналу для реализации управления проведения необходимых работ;

− обеспечение надежного и качественного энергоснабжения потребителей в нормальных режимах функционирования энергосистемы за счет использования цифровых информационных систем, автоматизированных систем управления и автономных систем.

Данные направления, в свою очередь базируются на ряде технологий, требующих в ближайшее время пилотного внедрения с целью оценки их дальнейшего массового применения. В частности:

– внедрение и эффективное использование возобновляемых источников энергетических ресурсов;

– внедрение малой генерации и возобновляемой генерации (исходя из экономической эффективности) для замещения используемых ТЭР (солнечных батарей, тепловых насосов, грунтовых теплообменников, тепло утилизирующих систем, изолированных тепло-холод накопителей и т.д.), в том числе: электроснабжение изолированных районов или районов с высокой стоимостью подключения к единой электрической сети; частичное замещение потребления электроэнергии на собственные нужды подстанций и хозяйственные нужды.

Это предусматривает насыщение сети активными элементами, способными изменять параметры и характеристики самих элементов и сети в зависимости от ее режимов работы, а также и другими качественными ориентирами, предусматривающими переход к гибкой адаптивной системе управления, комплексную модернизацию на основе совокупности элементов, автоматизацию объектов электрических сетей и исключение «ручного» управления (переход к необслуживаемым активам), реализацию пилотных проектов и оценку их эффективности. Таким образом, проведенный анализ единой технической политики ОАО «Россети» в области создания активно-адаптивной сети, показывает, что использование интеллектуальных электронных устройств (в частности, цифровых измерительных трансформаторов) и возобновляемых источников энергии в активно-адаптивной сети перспективно.

Библиографический список

1. Дорофеев, В.В. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России / В.В. Дорофеев, А.А. Макаров // Энергоэксперт. – 2009. – № 4. – С. 28 34.

2. Положение ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе / Официальный сайт ОАО «Россети». – URL: http://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/polozenie.pdf.

К содержанию

УДК 697.2/.4:681.527

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ОТОПЛЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЯ

А.Ю. Усков

Рассмотрены основные способы и пути повышения энергетической эффективности для систем отопления помещений. За счет применения адаптивных алгоритмов управления достигается улучшение динамических характеристик системы в целом. Предложенный алгоритм, основанный на применении нечеткой логики, позволяет системе управления не только оперативно реагировать на изменения условий окружающей среды, но и осуществлять функции самообучения в процессе функционирования.

Ключевые слова: адаптивные алгоритмы управления, нечеткая логика, прогнозирование, качество регулирования, энергосбережение, системы электрического отопления зданий.

Вопрос поддержания заданных параметров микроклимата в помещении при минимальных затратах энергетических ресурсов в настоящее время становится все более актуальным. Очевидно, что для решения поставленной задачи необходима разработка адаптивной самообучающейся системы управления микроклиматом помещения, которая способна не только реагировать на изменения условий окружающей среды, но и прогнозировать возможные изменения параметров (например, температурного поля в помещении) на основании минимального набора входных данных.

Основными параметрами микроклимата в помещении являются: температура воздуха и относительная влажность воздуха. В дальнейшем, для упрощения условно будем считать влажность воздуха одинаковой во всем объеме рассматриваемого помещения, и в качестве единственного контролируемого параметра будем рассматривать температуру воздуха в помещении. Но поскольку температура воздуха в различных точках пространства помещения может существенно отличаться, то имеет смысл говорить о температурном поле помещения, представляющем собой набор значений, распределенных в объеме помещения, а не о конкретном значении указанного параметра. Таким образом, процесс управления системой отопления помещения сводится к двум основным взаимосвязанным задачам:

– определение параметров температурного поля помещения: температуры воздуха в каждой точке пространства помещения, направление и значение вектора скорости изменения параметра;

– выработка управляющего воздействия на основе измеренных параметров температурного поля помещения, данных прогноза изменения указанных параметров, а также накопленного опыта (в процессе самообучения).

Оптимальное управление микроклиматом в помещении не может осуществляться в отсутствие данных о температуре воздуха в каждой точке пространства помещения. Таким образом, как минимум, необходимо построить температурное поле (градиент) в разрезе одной горизонтальной плоскости помещения. Для этого используются специальные методики, основанные на сканировании пространства помещения ультразвуковыми волнами, описание которых выходит за рамки данной статьи. В дальнейшем просто будем считать, что данные о значении температуры в каждой точке горизонтальной плоскости разреза помещения нам известны с высокой точностью ± 0,05 °С (рис. 1, 2).

Температурное поле в помещении зависит от расположенных в нем источников тепла и источников холода, которые в свою очередь могут быть как управляемыми (обогреватель, кондиционер), так и неуправляемыми (солнечное излучение, ограждающие конструкции, окна и двери – обуславливающие дополнительные конвекционные потоки в помещении).

Немаловажными параметрами, влияющими на микроклимат в помещении, являются также наружная температура воздуха и давление. Измеренные значения указанных параметров позволяют с высокой точностью осуществлять краткосрочное прогнозирование изменений внешних погодных условий (алгоритмы Замбретти, Ричардсона и так далее), что позволяет заблаговременно реагировать на изменения внешних условий окружающей среды предупреждающими мерами регулирования.

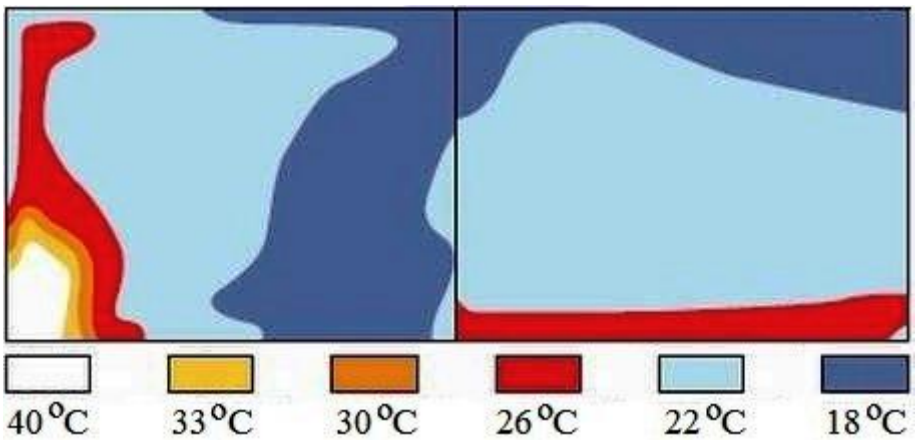


Рис. 1. Пример распределения температурного поля в помещении с радиатором отопления (слева) и теплым полом (справа)

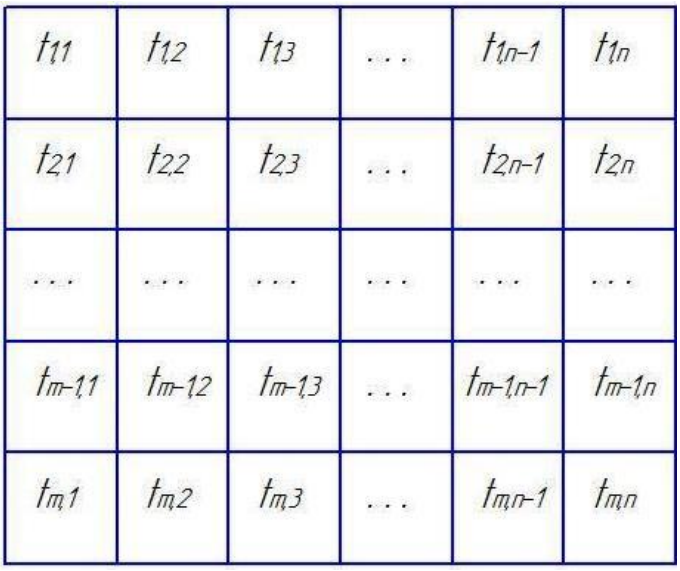


Рис. 2. Общий вид матрицы значений температур воздуха, распределенных в плоскости сечения пространства помещения

Разрабатываемая система благодаря наличию широких возможностей прогнозирования внешних погодных условий, способна осуществлять предупреждающее регулирование выходной мощности нагревательных устройств или устройств охлаждения, что сокращает энергетические затраты и время реакции системы в целом. Благодаря наличию данных о распределении температурного поля в помещении (рис. 2), а также его изменении с течением времени (в динамике), разрабатываемая система способна определять конвективные потоки в помещении (например, сквозняки), а также идентифицировать их источники. А это в конечном итоге (в результате процесса обучения), позволит системе управления выработать ряд правил управления для различных ситуаций (наборов параметров внешней среды) на основе алгоритмов нечеткой логики.

Так, например, экспериментально было установлено, что конечная эффективность разработанной системы управления существенно зависит от обучающей выборки значений. Выборка значений для данной системы была сформирована на основе данных от разработанной автором данной статьи метеостанции (temp.en-i.ru), которая в течение двух лет собирала данные об атмосферном давлении и температуре окружающего воздуха вне помещения. Использование данной выборки позволило снизить вероятность ложных прогнозов более чем на 30 %.

В момент первого включения системы управления происходит ее обучение за счет поочередного включения (отключения) устройств обогрева и охлаждения воздуха в помещении, а также изменения их мощности в пределах от 0 до 100 %.

При этом, наблюдая за изменением градиентного поля температур в помещении, системой управления автоматически создается набор зависимостей между управляющим воздействием на соответствующее устройство обогрева (охлаждения) и полученным результатом изменения температурного поля в помещении (за счет обратной связи). Эта процедура необходима для сокращения в дальнейшем времени реакции системы на изменения условий окружающей среды и величины перерегулирования системы, а также как следствие, снижения общей потребляемой мощности и повышения энергетической эффективности работы системы управления микроклиматом в помещении в целом.

Важной особенностью разрабатываемой системы управления является способность оценки целесообразности использования тех или иных действий. Например, если планируемая реакция системы на внешнее воздействие не позволяет даже приблизиться к заданному значению температуры за счет 100 % воздействия устройствами обогрева (охлаждения), то система данные действия не предпринимает.

Таким образом, разрабатываемая система состоит из нескольких уровней управления, осуществляющих прогнозирование изменений внешних условий окружающей среды, управляемый нагрев (охлаждение) воздуха в помещении, а также оценки эффективности каждого принятого решения в общем процессе поддержания заданного микроклимата в помещении.

Для построения алгоритма работы системы управления воспользуемся основными положениями теории нечеткой логикой, что существенно увеличит адаптивность разрабатываемой системы (рис. 3). Таким образом, используя набор правил и зависимостей между входными и выходными параметрами окружающей среды, система управления будет автоматически определять вид и величину управляющего воздействия, оценивать эффективность принятого решения, вводить корректирующие действия (если это необходимо) и осуществлять корректировку набора правил на основании полученных результатов – процесс обучения.

Для принятия решения о необходимости регулирования микроклимата в помещении используется набор из 3-х лингвистических переменных, которые рассмотрим подробнее [8, 9].

Отклонение текущего значения температуры от заданного.

Данная переменная является основным показателем необходимости вмешательства разрабатываемой системы управления в процесс поддержания заданного микроклимата:

$$\Delta T = \left| T_{\text{мгновенное}} - T_{\text{заданное}} \right|, \quad (1)$$

где Тмгновенное – мгновенное значение температуры в помещении, Тзаданное – требуемое значение температуры воздуха в помещении.

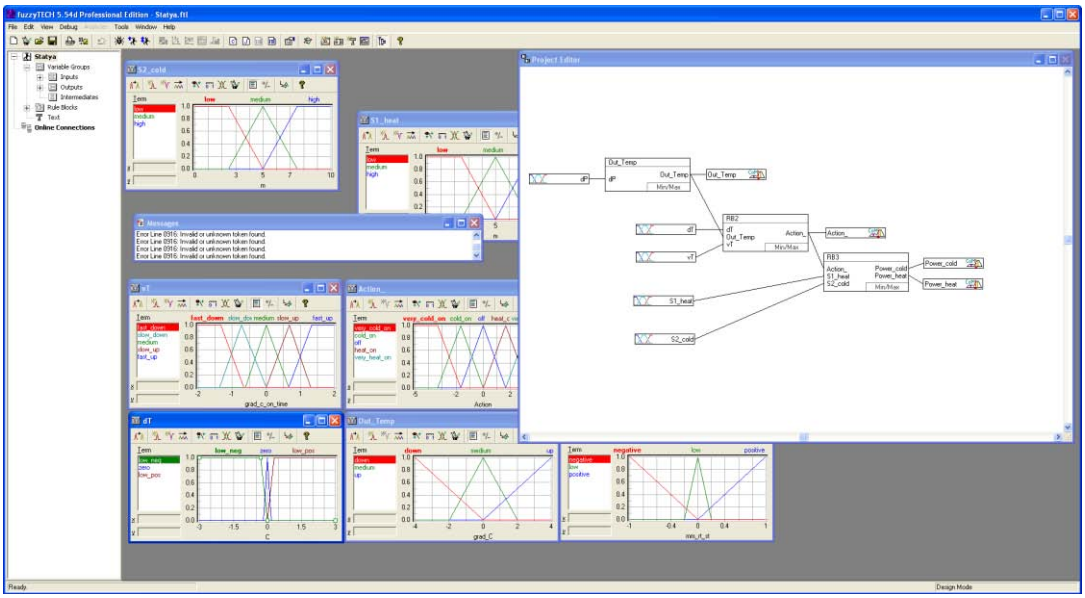


Рис. 3. Процесс моделирования работы системы управления
в программе fuzzyTECH 5.54d Professional Edition

Скорость изменения температурного значения поля в определенной точке помещения.

Переменная отражает время реакции объекта управления на внешние воздействия и показывает изменение температуры за определенный конечный промежуток времени:

$$T_{dT/dt} = \frac{T_2 - T_1}{t_2 - t_1}, \quad (2)$$

где T1 и T2 – значения температуры в начальный и конечный моменты времени соответственно, t1 и t2 – начальный и конечный момент времени соответственно.

Расстояние от устройства обогрева (охлаждения) до наиболее холодной (горячей) зоны помещения.

Переменная представляет собой длину вектора, началом координат которого является место установки устройства обогрева / охлаждения, а координатами конца вектора – наиболее холодная / горячая точка пространства помещения. Данная переменная необходима, для определения рациональности использования того или иного устройства:

$$S = \left|\overrightarrow{OA}\right| = \sqrt{OA_x^2 + OA_y^2 + OA_z^2}, \quad (3)$$

где OAx, OAy, OAz – координаты вектора.

Термы лингвистической переменной S{большое расстояние; среднее расстояние; небольшое расстояние}.

В результате дефазификации (методом центра максимумов CoM) [8, 9] формируются выходные управляющие сигналы для устройств обогрева / охлаждения, мощность которых регулируется ступенчато: 0 %, 25 %, 50 %,

75 %, 100 %. Дискретность мощности регулирования является достаточной для управления температурными режимами в помещении с заданной точностью. Трехмерные поверхности нечеткого вывода для управляемых устройств обогрева (охлаждения) воздуха в помещении в зависимости от текущих состояний параметров помещения приведены на рис. 4, 5.

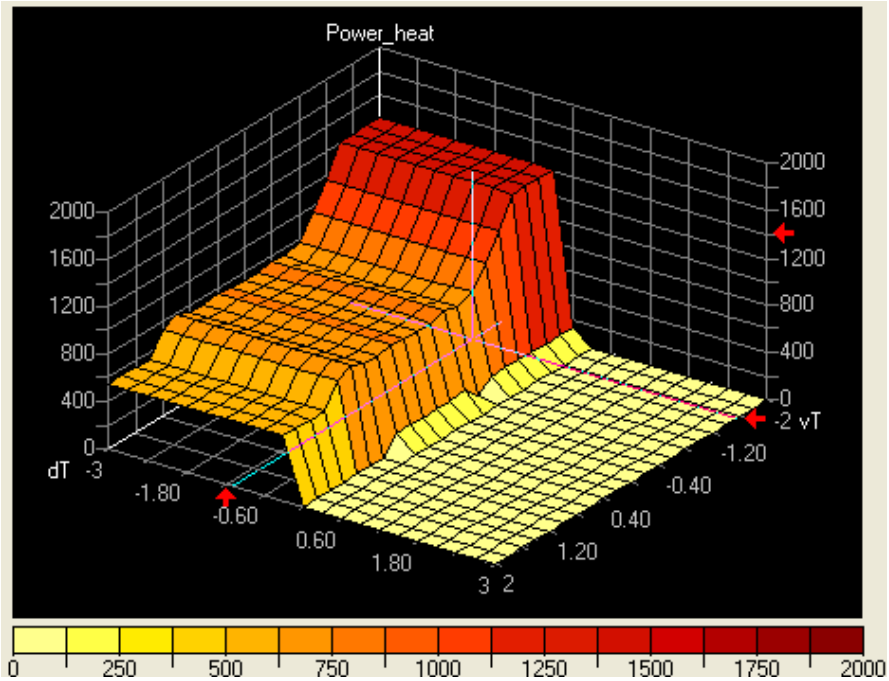


Рис. 4. Трехмерная поверхность нечеткого вывода для устройств обогрева воздуха в помещении

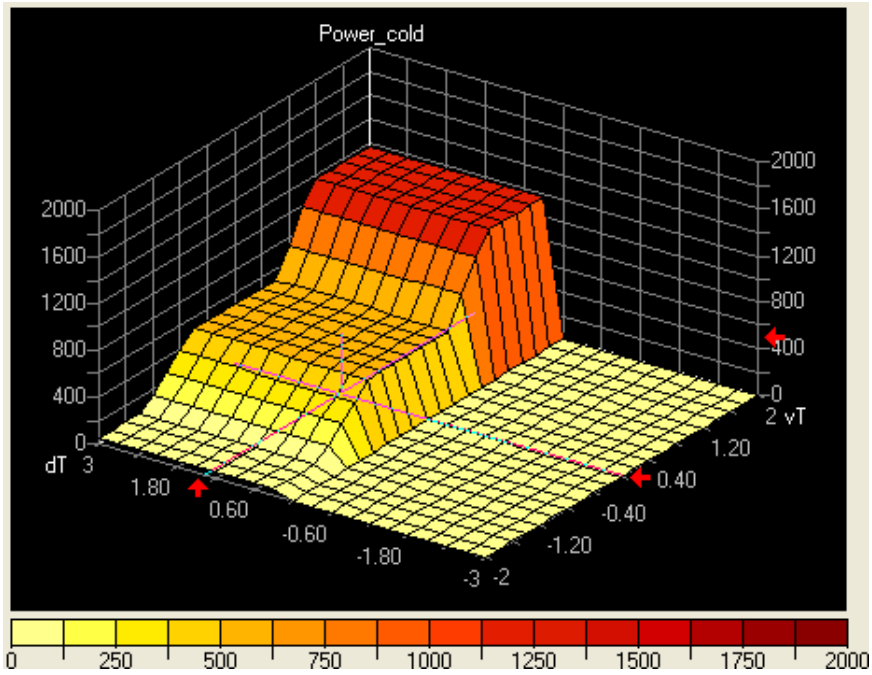


Рис. 5. Трехмерная поверхность нечеткого вывода для устройств охлаждения воздуха в помещении

Результатами математического моделирования теоретически была подтверждена принципиальная возможность синтеза адаптивного алгоритма управления системой отопления помещения на базе нечеткой логики с использованием набора из 3-х лингвистических переменных. Обобщенная схема взаимодействия функциональных (аппаратных и программных) блоков адаптивного алгоритма управления системой отопления помещения приведена на рис. 6.

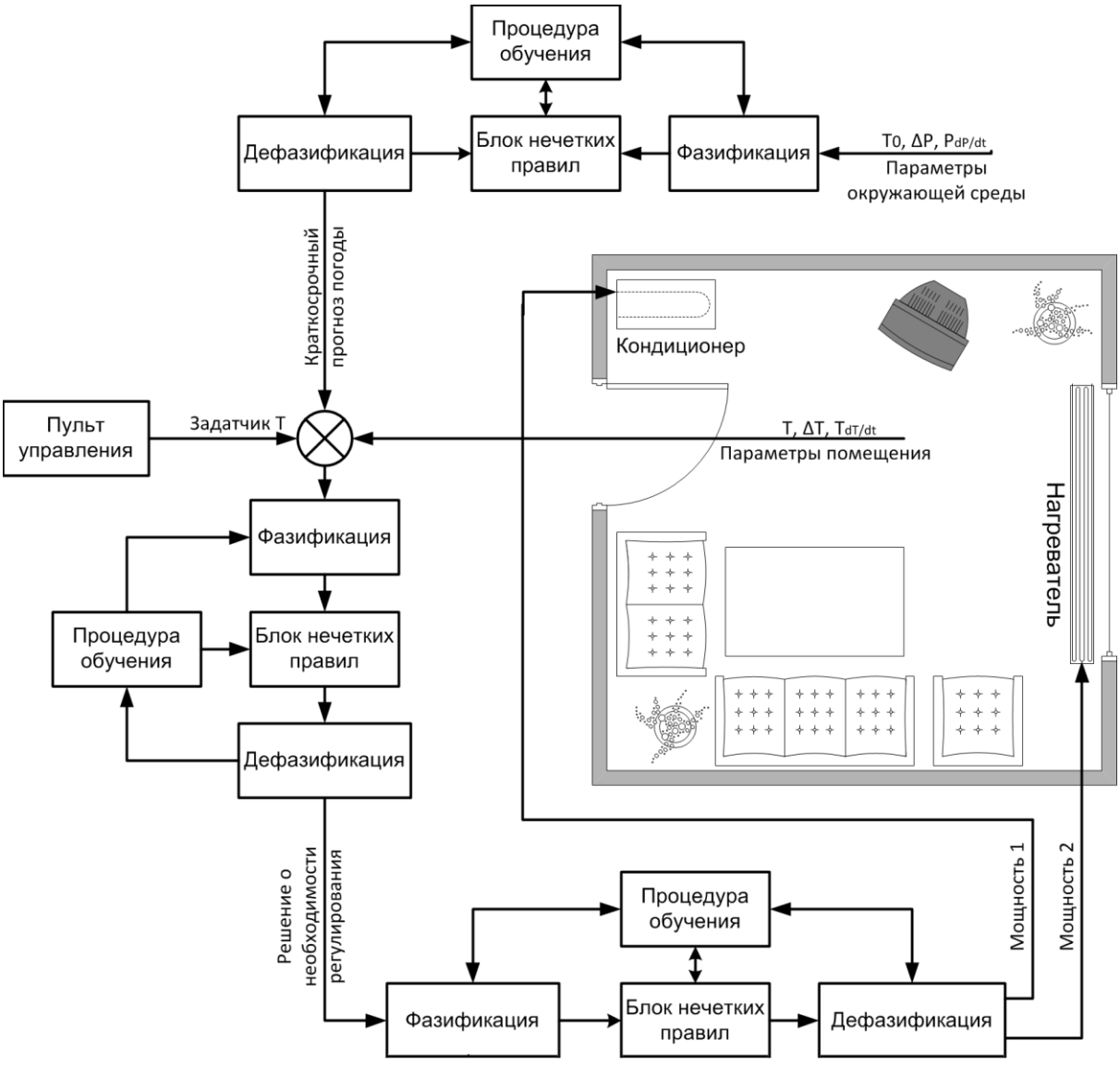


Рис. 6. Схема взаимодействия функциональных (аппаратных и программных) блоков адаптивного алгоритма управлениясистемой отопления помещения

Система состоит из 3-х функциональных блоков: блок прогнозирования состояния окружающей среды, блок принятия решений о необходимости управляющего воздействия, блок принятия решений о величине управ-

ляющего воздействия. Каждый функциональный блок состоит из 4-х структурных элементов: блока нечетких правил, блоков фазификации и дефазификации и блока, осуществляющего процедуру обучения. Взаимодействие с пользователем осуществляется посредством пульта управления, с помощью которого и будут задаваться требуемые параметры микроклимата.

Обобщая все выше сказанное, можно смело утверждать, что методика подержания микроклимата в помещении на основе расчета и прогнозирования градиента конвективного потока, а также применение нечеткого регулятора с возможностью самообучения для управления системой отопления помещения позволяют:

- значительно упростить математические вычисления;
- существенно снизить энергетические затраты;
- повысить эффективность работы системы отопления в целом.

Библиографический список

1. Усков, А.Ю. Повышение качества регулирования систем электроотопления / А.Ю. Усков, И.М. Кирпичникова, Е.Л. Файда, Т.Ю. Никонова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2012. – № 37 [296]. – Вып. 18. – С. 87–89.

2. Патент 2249287 Российская Федерация, МПК7 H 02 J 13/00, G 05 D 23/19. Способ управления группой электронагревательных устройств / Л.Ф. Файда, С.А. Соболев, Е.Л. Файда. – № 2003115996, заявление 28.05.03, опубликовано 20.08.03, Бюл. № 9.

3. Панферов, В.И. Об оптимальном управлении тепловым режимом зданий / В.И. Панферов, Е.Ю. Анисимова, А.Н. Нагорная // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2007. – № 8. – С. 3–9.

4. Тульчин, И.К. Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий / И.К. Тульчин, Г.И. Нудлер. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 480 с.

5. Пырков, В.В. Электрические кабельные системы отопления. Энергетическое сопоставление / В.В. Пырков. – К.: ООО «Медиа-Макс», 2004. – 88 с.

6. Табунщиков, Ю.А.Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бородач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.

7. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.

8. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

9. Круглов, В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голубов. – М.:ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 201 с.

К содержанию

УДК 621.311.24

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕТРОУСТАНОВКАМИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СЕТИ

С.А. Четошников

В данной статье рассмотрены различные системы управления ветроустановками, которые могут применяться для включения их в интеллектуальную сеть. Определены проблемы, возникающие при использовании ветроустановок в интеллектуальных сетях.

Ключевые слова: ветроустановка, интеллектуальная сеть, система управления, микросеть

Последние годы во всем мире повышается интерес к использованию альтернативных источников энергии в дополнение к действующим станциям на ископаемом топливе. Внедрение новых установок на базе возобновляемой энергетики позволит снизить нагрузку на традиционные электростанции, что особенно важно в моменты пикового потребления электроэнергии.

Одними из самых востребованных установок возобновляемой энергетики являются ветроэнергетические установки (ВЭУ). Они обладают относительно невысокой стоимостью киловатт-часа, по сравнению с другими альтернативными источниками энергии. На сегодняшний день этот показатель составляет от 3 до 10 центов для различных ветроустановок и продолжает сокращаться [1].

Согласно постановлению Правительства РФ № 861-р в России планируется повысить общую установленную мощность ВЭУ до 3600 МВт к 2020 году. Для достижения поставленной задачи строятся более 10 ветроэнергетических станций мощностью от 5 до 75 МВт [1]. Все эти станции относятся к категории крупной ветроэнергетики и рассчитаны на работу параллельно с сетью.

Сектор малой ветроэнергетики развивается значительно медленнее. Основной причиной является практическая невозможность использования таких установок в общем энергетическом балансе страны. Такие ВЭУ позиционируются, в основном, как ветроустановки для частного потребителя и как установки для автономного или резервного электроснабжения. При такой специфике эксплуатация данных ВЭУ спряжена с рядом проблем:

– нестабильность параметров выходной мощности ВЭУ в результате непостоянства ветрового потока, поступающего на лопасти турбины;

– нелинейность энергетической характеристики генерируемой мощности относительно скорости ветрового потока;

– низкая эффективность при малых скоростях ветра (менее 5 м/с);

– низкое качество вырабатываемой энергии.

Из-за этого возникают трудности внедрения малых ВЭУ для частного пользователя. В первую очередь это связано с необходимостью согласования нагрузки потребителя с выработкой ВЭУ Это означает, что для эффективного использования малых ВЭУ необходимо наличие интеллектуальной системы контроля, управления и распределения энергии.

Создание таких интеллектуальных систем предполагает концепция Smart Grid. В рамках этой проблемы особый интерес представляет понятие микросети (microgrid), т.е. сети низкого напряжения в зоне потребителя с собственными источниками и накопителями электрической энергии, а также системой управления [2]. Включение ВЭУ в такую микросеть позволит эффективнее использовать установку, но потребует создания дополнительных систем управления.

На данный момент в России не существует общепринятой законодательной базы по интеграции ветроустановок в сеть. Основными нормативными документами для эксплуатации ВЭУ являются:

– общие термины и определения ВЭУ (ГОСТ Р 51237-98);

– классификация видов ВЭУ (ГОСТ Р 51990-2002);

– общие технические требования (ГОСТ Р 51991-2002).

В представленных документах нет четких положений об эксплуатации ВЭУ в сетях низкого напряжения. В зарубежных странах, где ветроэнергетика развита сильнее, также встречаются пробелы в нормативах эксплуатации ВЭУ для частного потребителя.

Первый сетевой кодекс (Grid Code) в мире, регламентирующий порядок подключения ВЭС в сеть, начал действовать в Германии 2003 году. Основные положения данного документа [2]:

– создание интеллектуальной системы для возможности разделения групп ВЭУ внутри ВЭС на отдельную нагрузку;

– обратное включение в единую ВЭС с минимальными отклонениями напряжения и частоты;

– минимизация потерь мощности ВЭС.

На данный момент в каждой европейской энергосистеме (UCTE, Nordel, UK, Ireland) существуют отдельные технические требования по подключению ВЭС в сеть. Единых требований по оценке возможности параллельной работы ВЭС и ЭЭС не выработано, но при этом в каждом документе есть определенные общие требования:

– поддержание качества электрической энергии;

– снижение потерь в сетях, содержащих ВЭС;

– решение вопроса компенсации реактивной мощности, если в состав ВЭУ входят асинхронные генераторы;

– устранение гармоник, генерируемых инверторами, если ВЭУ содержит преобразователи частоты (ПЧ);

– устранение радиопомех;

– защита ВЭУ от нештатных ситуаций (короткое замыкание, отключение ПЧ и т.д.).

В настоящее время существует два основных типа ВЭУ: с постоянной и переменной скоростью вращения. До конца девяностых годов, концепция переменной скорости не была распространена на рынке. В настоящее время, ВЭУ с постоянной скоростью вращения по-прежнему являются самой популярной конструкцией, однако новые требования привели к появлению установок с переменной скоростью вращения. Для регулирования выходной мощности используются три основных стратегии:

– пассивный контроль с фиксированным шагом;

– переменное управления шагом;

– активный контроль.

Однако универсальной стратегии для всех типов установок не существует. Тем не менее, с увеличением мощности ВЭУ, выявляется тенденция к активному контролю [3].

Конфигурация ВЭУ с фиксированной скоростью вращения основана на мультипликаторе с асинхронным генератором с короткозамкнутым ротором. Асинхронные генераторы используются с целью сокращения расходов. Одним из главных недостатков ВЭУ с фиксированной частотой вращения является не лучшая аэродинамическая эффективность, особенно при работе с частичной нагрузкой. С точки зрения электрической системы, другим важным недостатком является негативное влияние на напряжение сети, из-за потребления реактивной мощности.

Альтернативой этой схемы является компоновка с короткозамкнутым асинхронным генератором с контролем скольжения. В этой схеме, когда скольжение регулируется непрерывно, при изменении электрического сопротивления ротора, небольшие изменения во вращательных колебаниях скорости (около 10% выше синхронной) могут быть компенсированы без изменения выходной частоты генератора.

С целью достижения возможности регулирования скорости применяют:

– двухскоростные генераторы (использование более низких скоростей ветра повышает производительность и снижает уровень шума);

– асинхронные генераторы с переменным сопротивлением для низкого диапазона скоростей;

– асинхронные генераторы двойного питания;

– системы с прямым приводом многополюсных синхронных генераторов;

– гибридные системы (комбинация многополюсных генераторов с небольшими мультипликаторами).

Особый интерес на рынке представляют генераторы двойного питания, также называемые генераторами с индукционным ротором. В этих машинах обмотки статора непосредственно подключены к сети, в то время как

преобразователь частоты установлен между ротором и сетью. Большая часть энергии производится обмоткой статора, но при этом преобразователь частоты может производить до трети от общей выходной мощности, в зависимости от режима работы. Эта схема позволяет установке контролировать скольжение в генераторе, и, таким образом, скорость ротора может изменяться для достижения большей аэродинамической эффективности.

Кроме того, преобразователь управляет величиной угла поворота лопасти, напряжением ротора и фазой, также возможно частичное управление активной и реактивной мощностью.

Наконец, еще один подход, который хорошо зарекомендовал себя в оффшорных ВЭУ, представляет собой многополюсные синхронные генераторы, подключенные к сети через источник электронного преобразователя, который управляет производством электроэнергии. Эта концепция, называемая также машиной с прямым приводом, может использовать широкий диапазон скоростей, благодаря широким возможностям частотного преобразователя. Генератор может работать практически на любой скорости вращения, при этом отслеживая оптимальную скорость для различных ветровых условий. Среди главных преимуществ этого подхода низкие затраты на техническое обслуживание и высокая надежность из-за отсутствия нагрузки на мультипликатор, улучшенная аэродинамическая эффективность и способность в контроле напряжения сети.

Таким образом, описанные системы управления ветроустановок позволяют эффективно использовать ВЭУ в микросетях, благодаря возможности контроля за качеством электроэнергии и работе в широком диапазоне скоростей.

Библиографический список

1. Каргиев, В.М. Потенциал возобновляемых источников энергии в России. Аналитический обзор / В.М. Каргиев, А.Б. Пинов, В.П. Муругов, А.К. Сокольский // Российско-Европейский Технологический Центр. – URL: http://esco-eco-sys.narod.ru/2007_4/art103.pdf

2. Четошникова, Л.М. Процесс управления мощностью в распределенной интеллектуальной сети / Л.М. Четошникова, Н.И. Смоленцев, С.А. Четошников // Электрика. – 2011. – N 7. – С. 6–9.

3. Манусов, В.З. Особенности параллельной работы ветроэлектростанций и электроэнергетических систем / В.З. Манусов, Э.Г. Ядагаев // Молодежь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученыхх, посвященной 155-летию со дня рождения К.Э. Циолковского [Электронный ресурс]. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012.

К содержанию

УДК 539.125.5 + 621.039

ЭНЕРГИЯ РАСПАДА ЯДРА $_{83}BI^{210}$ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НАНОСЕКУНДНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ

В.В. Шешуков, Р.Р. Нараева

Данная разработка относится к области ядерной энергетики. Предложен новый способ получения тепла из процесса радиационного бета-распада нейтронов. Выход большого количества тепла, может использоваться, например, для обогрева зданий. Задачей заявляемого технического решения является создание безопасного, простого по конструкции и дешевого в изготовлении ядерного реактора, предназначенного для получения тепловой энергии.

Ключевые слова: висмут, наносекундный электромагнитный импульс, нейтрон, реактор, тепловая энергия.

В современных ядерных реакторах используется энергия распада изотопа урана-235. Несмотря на большой выход тепловой энергии в этой реакции и экономически выгодное использование реакторов данного типа, у них есть существенный недостаток – образование отработанного ядерного топлива (ОЯТ). Отработанное ядерное топливо считается радиоактивными отходами и часто не перерабатывается, а хранится в специальных хранилищах в залитых жидким стеклом стальных контейнерах. В России также часть отработанных ядерных отходов – от некоторых типов реакторов не подлежит регенерации, не перерабатывается и поэтому относится к категории радиоактивных атомных отходов (РАО). Свободным от этого недостатка является реакция распада ядра $_{83}Bi^{210}$, кроме того так как коэффициент размножения в этой реакции равен трем, она не является цепной. А это делает безопасным ядерный реактор.

Изотоп $_{83}Bi^{210}$ – образуется в природе, входя в цепочки радиоактивного распада ядер урана-238, урана-235 и тория-232. Период полураспада этого изотопа равен – $3{,}04 \cdot 10^6$ лет, то есть он является долгоживущим. Для того чтобы интенсифицировать процесс расщепления ядра этого изотопа автором было предложено облучать его нейтронами с энергией > 271,31 кэВ [1]. Для эмиссии нейтронов используется высоковольтный наносекундный разряд в дейтерии. В экспериментах использовалась установка, состоящая из генератора импульсов, газового диода и системы регистрации. Длительность импульса напряжения на нагрузке 50 Ом составляла ~ 2 ns, а длительность фронта импульса напряжения в передающей линии ~ 0,5 ns. Для того чтобы получить нейтроны в разрядной плазме нужна энергия ионов в сотни электрон-вольт, что наиболее легко реализовать при энергии электронов в сотни кэВ и плотности тока разряда более 1 кА/см^2 [2].

При этом реакция расщепления ядра $_{83}Bi^{210}$ протекает по схеме:

1) $_1H^2 + e^- \rightarrow {}_1H^1 + e^- + {}_0n^1$;

2) $_{83}Bi^{210} + {}_0n^1 \rightarrow {}_{82}Pb^{207} + 2{}_0n^1 + {}_0n^1 + p^+$.

Нейтроны через 10^3 секунд, отдав свою энергию в виде тепловых фотонов, распадутся на протоны, электроны и антинейтрино (рис. 1) [3]:

$_0n^1 \rightarrow p^+ + e^- + \nu^- + photon$.

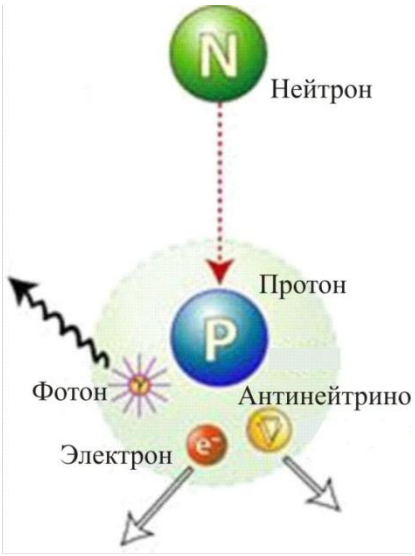


Рис. 1. β-распад нейтрона

Энергия связи ядра атома дейтерия ($_1H^2$) $E_{св.}$ = 2,23 МэВ.

Энергия, затраченная на разрыв связи в атоме дейтерия, передалась протону и нейтрону в соотношении 1:1, так как массы нейтрона и протона примерно одинаковы. Тогда энергия (E_p) необходимая для разрушения ядра $_{83}Bi^{210}$ и выбивания из него двух нейтронов, составит: 2,23/2 МэВ или $10^6 \cdot 1{,}115 \cdot (1$ эВ = $1{,}602176565 \cdot 10^{-19}$ Дж) = $1{,}786426869975 \cdot 10^{-13}$ [Дж] т.е.

$$E_p = 1{,}786426869975 \cdot 10^{-13} \text{ [Дж]}.$$

Попробуем рассчитать *возможность применение генератора электромагнитных наносекундных импульсов для непосредственного воздействия на ядро атома* $_{83}Bi^{210}$.

Энергия импульса (E_u) длительностью 1 ns, напряжением 10000 вольт, на нагрузке 50 Ом, при токе 200 А составит:

$$E_u = (10^{-9} \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 10^2) / 2 = 10^{-3} \text{ [Дж]}.$$

Как видим, эта величина превышает необходимую для разрушения ядра $_{83}Bi^{210}$ и выбивания из него нейтрона (E_p).

Определим число атомов висмута (n), распавшихся при воздействии одним импульсом:

$$n = E_u / E_p = 10^{-3}/1{,}786426869975 \cdot 10^{-13} = 5{,}597766227139174 \cdot 10^9 \text{ атомов.}$$

Энергетический выход реакции (ΔE) рассчитывается по уравнению Эйнштейна:

$$\Delta E = \Delta m c^2, \quad (1)$$

где Δm – дефект массы в ядерной реакции; c – скорость света в вакууме.

Количество энергии ΔE, которое выделится на 1 атомную единицу массы (а.е.м) распадающегося вещества:

$$1{,}66 \cdot 10^{-27} \text{ [кг]} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ [м}^2 \cdot \text{с}^{-2}\text{]} = 1{,}49 \cdot 10^{-10} \text{ [Дж]}.$$

Рассчитаем энергию E_n, которая выделится при распаде n атомов ${}_{83}Bi^{210}$:

$$E_n = \Delta E\, n = 1{,}49 \cdot 10^{-10} \cdot 5{,}597766227139174 \cdot 10^9 = 1{,}668 \text{ [Дж]}.$$

Вычислим энергию E, которая выделится за время τ при распаде ${}_{83}Bi^{210}$:

$$E = E_n f \tau = 1{,}668 \cdot 10^3 \cdot 600 = 1001{,}28 \cdot 10^5 \text{ [Дж]},$$

где f = 1000 Hz – частота генератора импульсов;

τ = 10 минут = 600 секунд – время облучения.

Эта энергия разогреет делящийся материал в соответствии с уравнением:

$$E = Q = cm\Delta t, \quad (2)$$

где Q – количество теплоты, идущее на саморазогрев висмута;

c – удельная теплоемкость висмута;

m – масса висмута;

Δt – разность температур при саморазогреве висмута.

Откуда можно определить, на сколько градусов нагреется делящейся материал массой один килограмм:

$$\Delta t = E/cm, \quad (3)$$

$$\Delta t = 1001{,}28 \cdot 10^5 / 123{,}5 \cdot 1 = 8 \cdot 10^3 \text{ [K°]}.$$

Эта величина соответствует 100 % содержанию изотопа ${}_{83}Bi^{210}$ в исходном материале, следовательно, при уменьшении концентрации делящегося изотопа до 1 %, величина нагрева исходного материала составит: Δt = 80 K°.

При работе генератора наносекундных импульсов энергия, потребленная из электрической сети ($E_{эл}$), может быть рассчитана, в первом приближении, как площадь треугольника:

$$E_{эл} = 0{,}5U\, I\, f\, \tau \cdot = 0{,}5 \cdot 10^4 \cdot 200 \cdot 10^{-9} \cdot 10^3 \cdot 600 = 600 \text{ [Дж]},$$

где U – максимум импульса напряжения на нагрузке;

I – величина тока в нагрузке;

f – частота импульсов;

τ – длительность импульса.

Коэффициент избыточной мощности (K) в этом процессе равен:

$$K = E / E_{эл} = 1001{,}28 \cdot 10^5 / 600 = 1{,}6688 \cdot 10^5.$$

Как видно из расчета, выход энергии превышает выбранную из сети в 10^5 раз. Это позволяет создать новый тип реактора, в котором используются не радиоактивные изотопы висмута ${}_{83}Bi^{210}$. Кроме того, в ходе ядерной реакции не образуются радиоактивные отходы, требующие переработки и захоронения.

Библиографический список

1. Deutsche Patentanmeldung Nr. 10 2012 111 872.8 "Verfahren zur Bereitstellung von Wärmeenergie unter Nutzung von Kernspaltungsprozessen sowie Heizeinrichtung (Ther- malphotonen-Reaktor)"/ V. Scheschukov, date: 19. Dez. 2013, ref.: 7/sw 112 0120.

2. Ломаев, М.И Эмиссия нейтронов при наносекундном разряде в дейтерии в неоднородном электрическом поле / М.И Ломаев, Б.А Нечаев // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82. – Вып. 1. – С. 126–132.

3. Khafizov, R.U. Severijns, N. Zimmer, O. Wirth, H.-F. Rich, D. Tolokonnikov, S.V. Solovei, V.A. Kolhidashvili, M.R. – URL: http://arxiv.org/abs/nucl-ex/0512001.

К содержанию

УДК 621.316.1.017 + 004.032.26

ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.С. Павлюков, С.В. Павлюков

Приводятся результаты разработки и исследования модели элемента искусственного интеллекта с целью определения зон нарушения нормальных режимов линий электропередач, влияющих на режим функционирования электротехнических систем.

Ключевые слова: элемент искусственного интеллекта, нейронная сеть, алгоритм обучения.

В условиях реорганизации структуры электроэнергетики повышается роль проектирования, создания и управления электрическими сетями всех уровней напряжений.

В работе рассматривается применение нетрадиционных подхода, а именно использование элементов искусственного интеллекта, для определения мест повреждения линий электропередач при различных обстоятельствах.

Задача состоит в том, что линия электропередачи разбивается на несколько зон, каждая из которых имеет свои технологические параметры, например, для электромагнитных переходных процессов. Этот подход можно пояснить, допустим для симметричного (и других) трехфазного короткого замыкания сети определенного уровня номинального напряжения. В зависимости от технологических условий работы, вида поврежденности, каждая зона электропередачи характеризуется своими моделями, определяющими вид и качество изменения ее параметров. Схема замещения электрической сети преобразуется к простейшему виду с использованием коэффициентов распределения. Для определения коэффициентов можно использовать способ единичных режимных параметров или итеративный численный метод, например, нулевого порядка [1]. Коэффициенты распределения, полученные при помощи [1], будут считаться неизменными на весь период процесса, вплоть до $t =$, хотя это допущение будет вносить некоторую погрешность, так как сопротивления схемы замещения меняются во времени при переходном процессе[2]. В зависимости от условий неисправностей в зонах линии передачи можно сформировать вектор характеристик повреждений $\underline{X} = f($, ($i = \overline{1}$ – количество зон линии), который в дальнейшем будет использоваться для обучения элемента искусственного интеллекта. Этот элемент должен классифицировать вид повреждения в зависимости от зоны линии, если он идентичен с одной из характеристик вектора. Данные для обучения сети могут быть взяты из баз

данных предприятий или их можно рассчитать для каждого диапазона линии электропередачи. Рассчитанные или измеренные данные для обучения сети определенной зоны представляют собой компактные группы чисел, которые для большей точности можно накопить за некоторый интервал прошедшего времени, чтобы исключить или уменьшить влияние случайных процессов.

Процедура разбиения некоторого множества переменных на классы называется кластеризацией[3]. Критерием разбиения служит некоторая мера сходства в пространстве исследуемых переменных. В качестве меры близости можно использовать некоторые математические модели, например, евклидово расстояние между исследуемыми переменными [3]:

$$D(\underline{X}_1, \underline{X}_2) = \|\underline{X}_1 - \underline{X}_2\| = \sqrt{\sum_{i-1}^{n} (\Delta \underline{X}_i)^2}. \qquad (1)$$

Принятые меры сходства могут быть критерием отнесения некоторой переменной к соответствующему классу. Подобную способность проявляет элемент искусственного интеллекта, называемый сетью Кохонена (Kohonen Clastering Networks) [3]. В этой сети число входов каждого нейрона скрытого слоя равно размеру исследуемого вектора данных. Количество нейронов скрытого слоя должны определять группы входных переменных по их сходству физических свойств при соответствующем обучении и относить к одному из классов.

Существуют разные подходы обучения такой сети. Один из обобщенных алгоритмов обучения сети состоит в следующем:

Подбираются и нормализуются данные входного вектора .

Идентифицируются весовые вектора для всех выходных нейронов $\left(\underline{W}_n^{\cdot}\right.$, например, используя генератор псевдослучайных чисел равномерного распределения в диапазоне $[0, :$.

Определяется усредненное начальное расстояние:

$$\mathcal{L}_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \frac{min\ leng}{w_n^j \in w_n^k} \left(\underline{X}_i, V, \qquad (2)$$

где N – число примеров в обучающей выборке; j – номер нейрона, для которого расстояние $leng = r$. (Далее индекс «0» меняется на «t»).

4. Устанавливается размер окрестности для выигрывающего нейрона r.

5. Принимается $\mathcal{L}_0 =$.

6. На вход сети подается следующий входной вектор из обучающей выборки $\underline{X}_i$, где t – текущий шаг итерации.

7. Для каждого нейрона j определяется расстояние $leng\left(\underline{X}_i(t), \underline{W}_j(\right.$ по выражению (1) для любого j.

8. Выбрать нейрон победитель $ner = ner$, для которого это расстояние минимально.

9. Откорректировать весовые коэффициенты выигравшего нейрона:

$$W^{(vict)}(t+1) = W(t) + \mu \cdot leng\left(\underline{X}(t), W_n^{(m)}(\right. \quad (3)$$

и тех нейронов *s*, которые находятся в зоне выигравшего:

$$W^{(j)}(t+1) = W^{(j)}(t) + \mu \cdot leng\left(X_i(t), W_n^{(j)}(\right., \quad (4)$$

где $j = 1, \ldots, m^{(vict)} - 1,\ m^{(vict)} + 1, \ldots, s;\ \mu -$ скорость обучения($\mu <$.

10. Повторить шаги 6 – 9 для всех векторов обучающей выборки.

11. Принять $W_n^{(k)}(t+1) = W_n^{(k)}$ и вычислить по выражению (2). Рассчитать $\varepsilon_{t+1} = leng(D_{t+1}, D_t)$, Если $\varepsilon_{t+1} \leq$ где – заданная положительная пороговая величина, то перейти к шагу 12, иначе $t = t +$ откорректированный, размер окрестности и перейти к шагу 5.

12. Конец алгоритма

Проведены эксперименты на примере линии АС 120/19 со следующими погонными параметрами: $r_0 = 0{,}27\frac{\text{Ом}}{\text{км}},\ x_0 = 0{,}43\ \frac{\text{Ом}}{\text{км}},\ b_0 = 2{,}7 * 10^{-6}$ при $D_{\text{ср}} = 5{,}0$. При исследовании симметричных замыканий установлена достаточно хорошая эффективность определения номера зоны повреждения и вида повреждения. При подключении резисторов в узловые точки с сопротивлением от 0(идеальное короткое замыкание) и до 10 % от $\underline{Z}$, результативность установления зон повреждения составляла около 95–97 %.

В работе предложена модель определения зон нарушения нормальных режимов линий электропередач с применением элементов искусственного интеллекта, не требующая разработки сложной математической модели, что в дальнейшем дает повышения качества управления режимами электрических систем.

Библиографический список

1. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник / Л.А. Бессонов. – М.: Гардарики, 2006. – 650 с.

2. Герасименко, А.А. Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. – Ростов-н /Д.: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006. –720 с.

3. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М.: ИД Вильямс, 2006. – 1104 с.

К содержанию

УДК 621.311.1.019.3 + 621.315.1/.3.019.3

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 6(10) кВ В УСЛОВИЯХ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА ПРИМЕРЕ г. ЧЕЛЯБИНСКА

А.В. Коржов

Рассмотрены отдельные результаты исследований по анализу состояния кабельных распределительных сетей с учетом оценки необходимых мероприятий для поддержания их эксплуатационной надежности. Данные рассмотрены на примере ретроспективного анализа повреждаемости кабельных линий 6(10) кВ по городским электрическим сетям г. Челябинска. Представлена методика разработанной системы сбора статистической информации в виде карт жизни КЛ, применяемая для дальнейшего анализа параметров надежности.

Ключевые слова: кабель 6(10) кВ, надежность, изоляция, ретроспективные данные.

В настоящее время в условиях развития городских распределительных кабельных сетей 6(10) кВ существует проблема поддержания эксплуатационной надежности, обусловленная массовым переходом КЛ в период «старения». Не смотря на то, что изначально заданная конфигурация городской распределительной сети обладала высокой надежностью электроснабжения (при повреждении одной из питающих КЛ через АВР обеспечивается питание от другого фидера и т.д.), анализ повреждаемости КЛ, в настоящее время, говорит об обратном – относительно низкой надежности реальной работы кабельной сети. Вероятность безотказной работы всей распределительной кабельной сети Челябинска приблизительно равна 0,9. Причем здесь необходимо отметить, что данная оценка сильно усреднена, в ряде районов вероятность безотказной работы сети равна 0,83. В целом, параметр потока отказов ω колеблется в зависимости от района в пределах 7–20 повреждений на 100 км кабельной линии в год. В табл. 1 приведены данные распределения повреждаемости КЛ в целом месте с учетом их возраста (данные за 2014 год).

Таким образом, обостряется проблема эксплуатационной надежности и повышения долговечности и ресурса действующих КЛ, а продолжение стратегии «аварийного ремонта» впоследствии обеспечит массовые аварии и колоссальный ущерб. По анализируемым сетям, на примере г. Челябинска, до 50–60 % КЛ 6(10) кВ с бумажной пропитанной изоляцией выработали свой нормативный срок эксплуатации. При этом следует отметить, что замена данных КЛ, например, на новые с изоляцией из сшитого полиэтилена, требует не только существенных материальных затрат, но и учета

ограничений, обусловленных схемными и режимными параметрами. Данные ограничения способны существенно замедлять желаемый темп обновления кабельной сети.

Таблица 1

Оценка повреждаемости КЛ от срока их эксплуатации

РЭС	0–10	10–20	20–30	30–40	более 40
№ 1	3	4	3	2	12
№ 2	12	9	13	10	9
№ 3	2	1	15	19	28
№ 4	5	0	10	11	11
№ 5	0	0	8	8	2

Анализ данных табл. 1 показывает, что наиболее высокая повреждаемость фиксируется у кабелей, срок эксплуатации которых более 30 лет. Основная причина повреждений – общее старение кабельной сети и, как следствие, ухудшение изоляционных свойств кабеля, кабельной арматуры. Наиболее повреждаемые кабельные линии выполнены кабелем марки ААШв – 34 %.

Таблица 2

Оценка повреждаемости по маркам КЛ

Марка кабеля	Протяженность, %	Повреждений, %	Кол-во повреждений на 100 км
ААШв	34,4	53,6	19,5
ААБ, ААБл	12,9	15,2	14,8
АСБ, АСБл	37,0	27,2	9,2
СБ, СБг	4,5	2,7	7,3
Прочие	11,2	1,3	1,5

В РФ разработан ряд нормативных документов по оценке надежности в технике. Стандарты по надежности в электроэнергетике можно классифицировать по следующим разделам: 1) основные понятия, термины и определения: ГОСТ 27.002-89, ГОСТ Р 27.002-2009, ГОСТ 27.003-90; 2) расчет показателей надежности и их количественная оценка: ГОСТ 27.301-95, ГОСТ Р 27.301-2011, ГОСТ 27.310-90, ГОСТ 27.204-83, ГОСТ Р 27.202-2012, ГОСТ Р МЭК 60605-6-2007, ГОСТ 27.003-2011; 3) методы расчета надежности (ГОСТ Р 27.607-2013, ГОСТ Р МЭК 61650-2007, ГОСТ 27.301-95, ГОСТ Р 27.302-2009): графоаналитические, логические (табличнологические, пространства состояний), вероятностные (статистические, массового обслуживания). Согласно ГОСТ 27.002 надежность – это способность объекта (в нашем случае КЛ) сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способ-

ность выполнять требуемые функции в заданных режимах, т.е. обеспечивать непрерывно потребителей электроэнергией заданного качества в соответствии с графиком электропотребления и по схеме, которая предусмотрена для длительной эксплуатации [1]. Надежность – это комплексное свойство, включающее в себя безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость.

В условиях эксплуатации КЛ необходима разработка мероприятий, обеспечивающих повышение долговечности и ресурса изоляции, а также необходимо рассматривать такие показатели, как режимная управляемость, устойчивость, живучесть и безопасность (свойство объекта не создавать опасности для людей и окружающей среды во всех возможных режимах работы и аварийных ситуациях). Под долговечностью понимают свойство КЛ сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при условии соблюдения установленной системы технического обслуживания и ремонта.

Проведенная оценка отказов КЛ при пробоях изоляции в заданных условиях эксплуатации позволяет оценивать надежность кабельной сети по расчету вероятности безотказной работы КЛ $P(t)$ (вероятность того, что в заданном интервале времени t при определенных режимах и условиях эксплуатации не произойдет ни одного отказа). Для ее оценки используется выражение:

$$P(t)=\frac{N\text{кл}-n\text{кл}(t)}{n\text{кл}(t)}, \quad (1)$$

где $N\text{кл}$ – количество исследуемых КЛ; $n\text{кл}(t)$ – количество КЛ, отказавших за время t.

На рис. 1 приведена оценка вероятности безотказной работы КЛ по годам эксплуатации. При проведении расчета весь рассматриваемый временной интервал разбивался на $S = 1, 2, \ldots, s$ интервалов длительностью 1 год. Функция безотказной работы изоляции кабелей:

$$P(t_s)=1-\frac{1}{N}\sum_{r=1}^{s} y(t_r), \quad (2)$$

где N – суммарное кол-во пробоев КЛ; t_s – момент времени на s-м интервале; $y(t_r)$ – кол-во пробоев на интервале $[t_{r-1}; t_r]$.

Среднее время наработки до отказа определено по выражению:

$$T=\sum_{s=1}^{s} P(t_s)\Delta t. \quad (3)$$

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ – это условная вероятность возникновения отказа для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник:

$$\lambda(t)=\frac{1}{P(t)}\frac{dQ(t)}{dt}=\frac{n\text{кл}(t)}{\left[N\text{кл}-n\text{кл}(t)\right]\cdot t}. \quad (4)$$

Физически – это количество отказов КЛ на протяжении какого-либо достаточно малого интервала времени. В качестве примера на рис. 2 приведен график оценки интенсивности отказов КЛ с учетом возраста эксплуатации. На рис. 2 проведена оценка в течение 1 года.

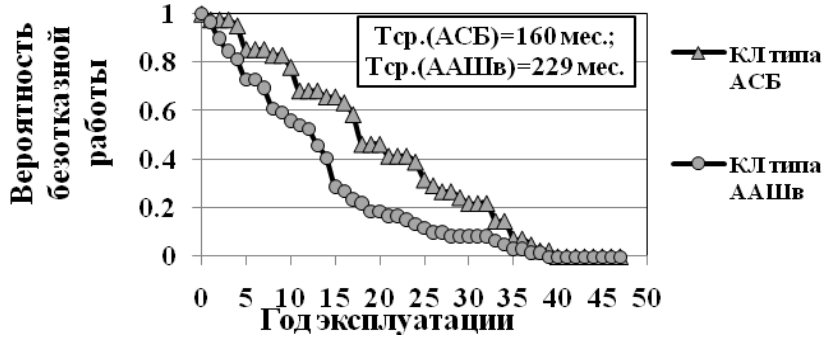


Рис. 1. Функции безотказной работы разных типов КЛ

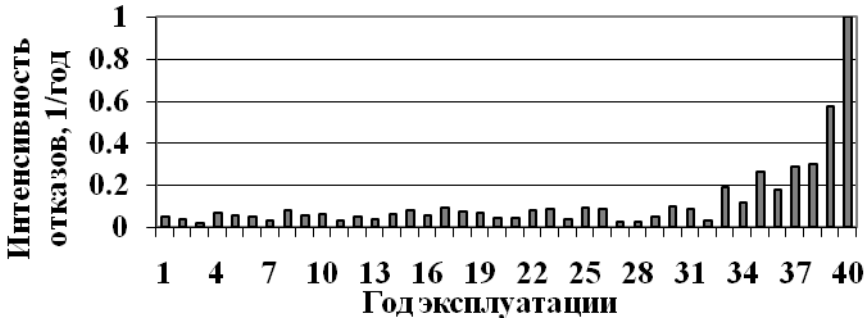


Рис. 2. Оценка интенсивности отказов в зависимости от года эксплуатации

Выводы

В ходе проведенных исследований было установлено значительное снижение вероятности безотказной работы действующих КЛ с бумажной пропитанной изоляцией 6(10) кВ.

В данных условиях необходима разработка методик и моделей по оценке надежности не только КЛ как отдельных объектов, но и выделенных фидеров, слабых мест и узлов в распределительной сети, а также разработка мероприятий по повышению надежности и ресурса изоляции действующих КЛ.

Библиографический список

1. Коржов, А.В. Влияние электрического и магнитного полей силовых кабельных линий напряжением 6(10) кВ на интенсивность частичных разрядов в изоляции при различных режимах эксплуатации / А.В. Коржов // Кабели и Провода. – 2012. – № 1 (332). – С. 16–21.

К содержанию

УДК 621.316.1

ВЫПОЛНЕНИЕ ВСТРЕЧНО-НАПРАВЛЕННОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ШИН 6–35 кВ НА СВОБОДНО-ПРОГРАММИРУЕМЫХ ТЕРМИНАЛАХ, ПОДДЕРЖИВАЮЩИХ СТАНДАРТ МЭК 61850

А.Н. Садовников

Рассмотрена возможность использования микропроцессорных свободно-программируемых терминалов с интерфейсом МЭК 61850 для выполнения встречно-направленной логической защиты шин 6–35 кВ с подключенными установками малой генерации.

Ключевые слова: алгоритм встречно-направленной логической защиты шин низкого напряжения типовой двухтрансформаторной подстанции.

В настоящее время распределительные сети 0,4, 6, 10 кВ предприятий оснащаются генерирующими устройствами, например газотурбинными, газопоршневыми установками, постоянно работающими в режиме параллельной работы с питающей энергосистемой. При этом меняется режим работы подстанций предприятия, выполненных чаще всего по схемам 4Н, 5Н, 5АН по [1] на двухстороннее питание (рис. 1). Устройства релейной защита и автоматики (РЗА) распределительной сети предприятия перестают соответствовать нормативным требованиям. Необходима реконструкция системы РЗА подстанций предприятия.

В соответствие с [2], [3] основными требованиями к РЗА двухтрансформаторных подстанций, работающих в режиме двухстороннего питания являются:

– наличие быстродействующей защиты шин;

– обеспечение селективности выдержек времени максимальных токовых защит (МТЗ) при различном направлении мощности короткого замыкания (КЗ) через защиту.

Логическая защита шин 6–10 кВ, реализуемая в микропроцессорных терминалах, представленных на рынке для данного напряжения сети, непригодна в случае двухсторонней подпитки места КЗ.

Применение специализированной дифференциальной токовой защиты шин с торможением требует установки дополнительных терминалов на каждое присоединение, что ведет к росту затрат. Кроме того, на рынке устройств РЗА отсутствуют типовые, проработанные решения по установке дифференциальной защиты на шины низкого напряжения (6–10 кВ) понизительных двухтрансформаторных подстанций.

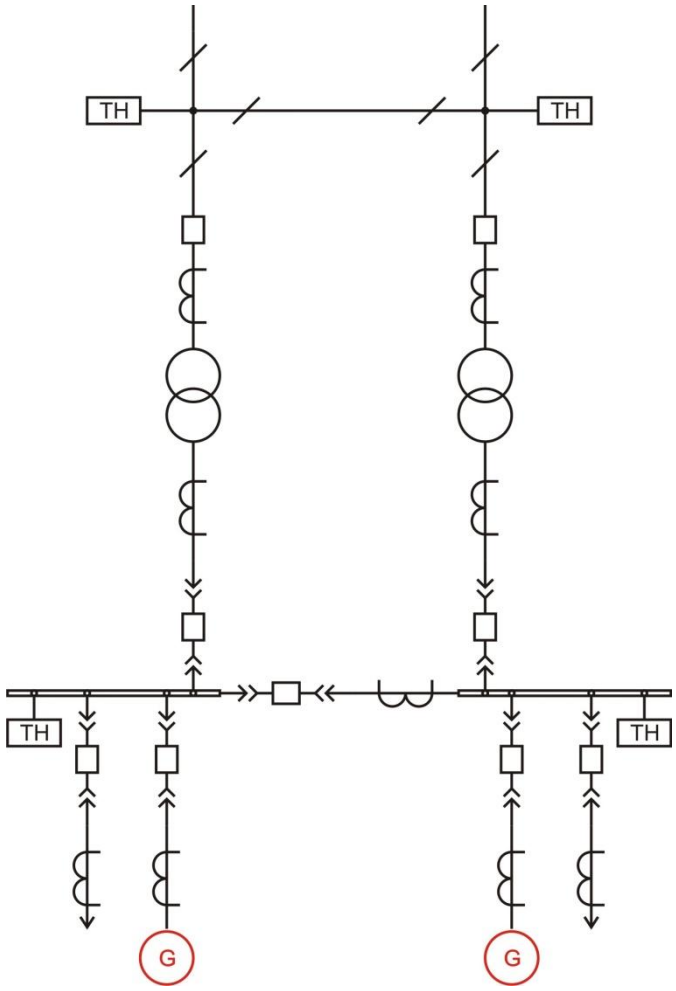


Рис. 1. Подключение генерирующих устройств
на стороне НН ПС

Создать логическую защиту шин в сети с двусторонним питанием можно применив централизованный комплекс РЗА, связав свободно программируемый контроллер, которые широко представлены на рынке, с входными/выходными сигналами отдельных устройств РЗА присоединений подстанции, как описано в работах [4–6].

За последние годы на рынке устройств РЗА появились терминалы с наличием не только свободно-программируемой логикой, позволяющей менять назначение дискретных входов/выходов и реализовывать простейшие логические функции и выдержки времени, но и с использованием гибких функций защиты, позволяющих изменять алгоритмы функционирования отдельных видов (ступеней) защит (автоматики). К подобным устройствам относятся серии РЗА присоединений 6–35 кВ:

SIPROTEC Compact и SIPROTEC 5 фирмы Siemens;

P60 Agile, P40 Agile P14N и P40 Agile P14D фирмы ALSTOM;

Multilin 850, 750/760, F650 и 350 фирмы GE Digital Energy;

Relion 670 фирмы ОО АББ Силовые и Автоматизированные Системы.

При выполнении РЗА подстанции на терминалах с подобной функциональностью, возможно, создать логическую защиту шин в сети с двусторонним питанием т.н. встречно-направленную логическую защиту, разработав алгоритмы отдельных терминалов и методику выбора их уставок. Рассмотрим поведение подобной защиты на примере рис. 2.

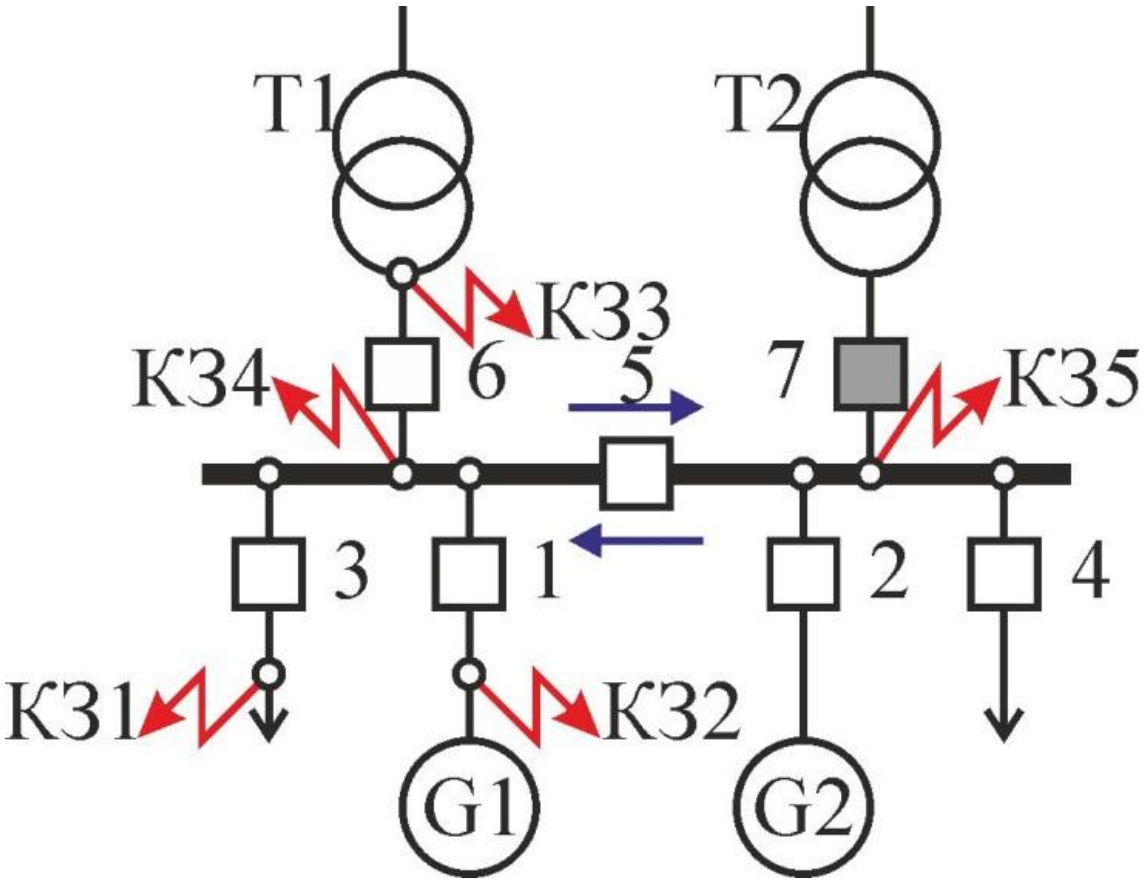


Рис. 2. Поведение ЛЗШ при наличии генераторов
на шинах НН понизительной подстанции

При КЗ на отходящих линиях (точка КЗ1) действие ЛЗШ блокируется пуском МТЗ отходящей линии. При КЗ на линии к генератору (точка КЗ2) действие ЛЗШ блокируется пуском направленной МТЗ установленной в ячейке линии к генератору. При КЗ на вводе системы (точка КЗ3) ЛЗШ блокирует действие быстродействующей защиты питающего трансформатора (при мощности трансформатора 6,3 МВА и более, это дифференциальная защита (ДЗТ)). При КЗ на одной из секций (точки КЗ4, КЗ5) ЛЗШ срабатывает, отключая практически без выдержки времени выключатели питающих присоединений поврежденной секции. В случае КЗ4 это выключатели 1, 6, 5, а в случае КЗ5 это выключатели 2, 7, 5. Выбор поврежденной секции осуществляет двунаправленный орган направления мощности (ОНМ) терминала секционного выключателя (СВ).

Алгоритм встречно-направленной ЛЗШ реализованный с помощью графического языка программирования FlexLogic, входящий в пакет управления устройствами РЗА Multilin фирмы GE Digital Energy [7], выполняемый терминалом СВ 850 серии представлен на рис. 3.

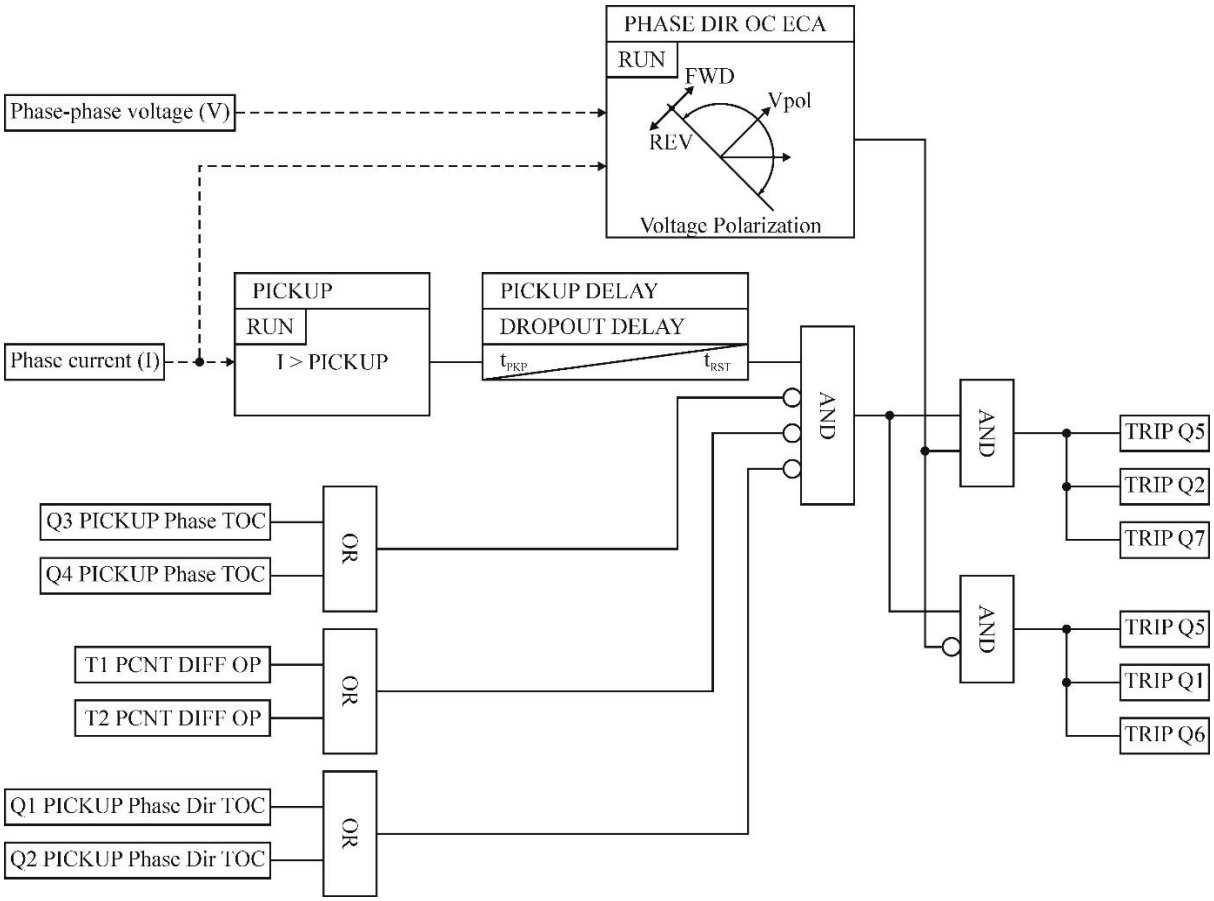


Рис. 3. Упрощенный алгоритм встречно-направленной ЛЗШ, реализуемый свободно-программируемым терминалом РЗА СВ

ЛЗШ запускается по срабатыванию пускового органа тока (PICKUP) при КЗ на шинах НН ГПП. При отсутствии блокирующих сигналов о пуске МТЗ отходящих присоединений (PICKUP Phase TOC), пуске направленных МТЗ линий к генераторам (PICKUP Phase Dir TOC), срабатывании дифференциальной защиты трансформаторов (PCNT DIFF OP) токовый орган действует с небольшой выдержкой времени (PICKUP DELAY) на отключение выключателей питающих присоединений поврежденной секции. Место повреждения локализуется с помощью ОНМ (PHASE DIR OC ECA).

При реализации встречно-направленной ЛЗШ вышеперечисленными свободно-программируемыми терминалами с поддержкой протокола МЭК 61850 [8], возможна передача между терминалами дискретных сигналов не сухими контактами на оперативном напряжении, а цифровым способом через электрический RS485 или оптический интерфейс, что позволяет

уменьшить количество дополнительных модулей дискретных входов/выходов в терминалах и повысить быстродействие алгоритма определение повреждения на шинах, рис. 4.

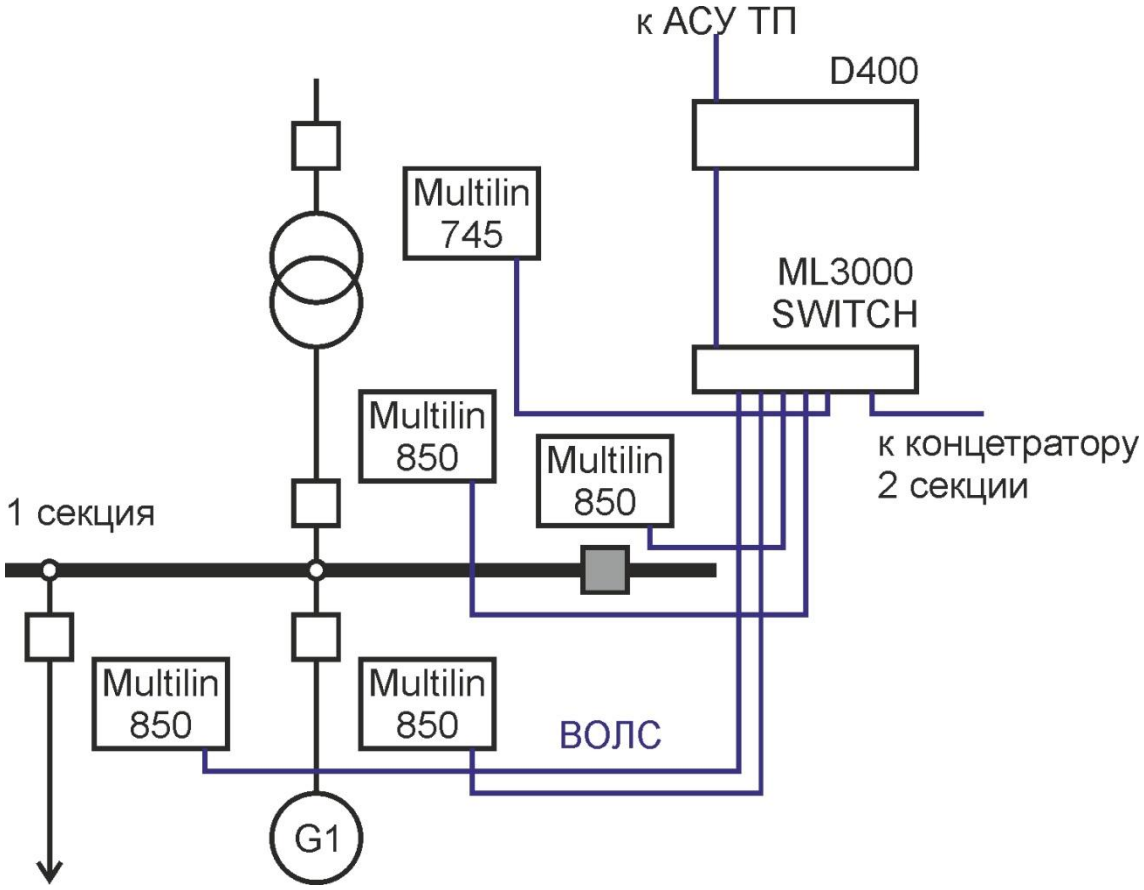


Рис. 4. Организация цифровой связи терминалов Multilin
по стандарту МЭК61850

При выборе параметров встречно-направленной ЛЗШ оптимизации подлежат ток срабатывания пусковых органов отдельных терминалов, входящих в схему и выдержка времени центрального терминала ЛЗШ (в данном примере СВ). При выборе параметров уставок, учитывались требования [9]. Оптимизация уставок ЛЗШ проводилась на модели РЗА двухтрансформаторной подстанции [10, 11] реализованной с помощью пакета LabView.

Ток срабатывания пусковых органов ЛЗШ терминалов отдельных присоединений выбирается исходя из условия гарантированной чувствительности при минимально-возможном токе двухфазного КЗ на шинах НН подстанции:

$$I_{\text{по лзш}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} I^{(3)}_{\text{кз. мин. нн}}}{k_{\text{ч. н}}} k^{(2)}_{\text{от. ч. сх}},$$

где $I^{(3)}_{\text{КЗ. МИН}}$ – ток короткого замыкания в минимальном режиме работы энергосистемы на шинах НН подстанции; k – нормативный коэффициент чувствительности, по [12] равен 1,5; $k^{(2)}_{\text{ОТ.}}$ – коэффициент относительной чувствительности схемы к двухфазным КЗ, для схемы неполная звезда с дополнительным реле или полной звезды (типовым схемам соединения трансформаторов тока и аналоговых входов цифровых терминалов РЗА) равен 1.

Выдержка времени ПО ЛЗШ в терминале СВ должна быть больше времени пуска направленных и ненаправленных МТЗ присоединений секций, а также времени срабатывания ДЗТ.

По данным [13, 14]:

– время пуска ненаправленной МТЗ составляет 0,015 с;

– время пуска направленной МТЗ составляет 0,025 с;

– время срабатывания ДЗТ составляет 0,035 с.

Таким образом, время срабатывания ПО ЛЗШ:

$$t_{\text{ЛЗШ}} = t_{\text{МАКС}} + t_{\text{ЗАП}} = 0{,}035 + 0{,}1 = 0{,}135,$$

где $t_{\text{М}}$ – максимальное из времен пуска защит присоединений секций; t – оптимальное время запаса, гарантирующее селективность действия ЛЗШ.

Алгоритм встречно-направленной ЛЗШ вводится в работу только при работе генераторов, подключенных к шинам НН подстанции. Если все генераторы отключены, питание потребителей осуществляется от системы и СВ нормально отключен. В этом случае для защиты от КЗ на шинах НН используются обычная ЛЗШ, которой стандартно оснащены все МП терминалы РЗА 6–35 кВ.

Кроме встречно-направленной логической защиты шин, терминалы со свободно-программируемой логикой и с использованием гибких функций защиты позволяют реализовать и ряд других функций, повышающих быстродействие и надежность системы релейной защиты и автоматики:

– резервирование отказов выключателей присоединений с учетом двустороннего питания;

– включение резерва (секционного выключателя низкого напряжения и высокого напряжения, при его наличии) с учетом синхронизации с генераторами, включенными на шины НН подстанции;

– ускорение МТЗ тупиковых присоединений;

– АПВ шин и отдельных присоединений с учетом вероятности возможного несинхронного повторного включения генераторов НН (особенности несинхронных АПВ в распределительных электрических сетях с малой генрацией подробно рассмотрены в работах [15, 16]);

– дуговая защита шин (ЗДЗ) (прием сигналов от световых и датчиков давления ячеек КРУ);

– АЧР/ЧАПВ.

Заключение

При подключении генераторов к шинам 6–10 кВ низкого напряжения типовых комплектных двухтрансформаторных подстанций в соответствии с нормативными требованиями требуется реализация быстродействующей защиты шин.

При реализации защит на подстанции терминалами со свободно-программируемой логикой с использованием гибких функций защиты в конфигурации, поддерживающей протокол МЭК 61850, возможно построение быстродействующей логической защиты шин низкого напряжения с учетом двустороннего питания.

Разработаны алгоритмы для терминалов РЗА подстанции, реализующие встречно-направленную логическую защиту шин.

Проведенный анализ работы встречно-направленной защиты шин на компьютерной модели РЗА двухтрансформаторной подстанции показал, что предложенные алгоритмы встречно-направленной логической защиты шин эффективны для всех режимов работы рассматриваемых подстанций.

Разработаны методы расчета уставок встречно-направленной логической защиты шин на отдельных терминалах РЗА. Исследовано их влияние на параметры селективности, быстродействия и чувствительности защиты.

Проработаны варианты аппаратной реализации встречно-направленной логической защиты шин.

Библиографический список

1. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35–750 кВ. Типовые решения. – М.: Энергосетьпроект, 2011. – 144 с.

2. Правила устройства электроустановок. – СПб.: Издательство ДЕАН, 2011. – 928 с.

3. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ. Стандарт организации. – М.: ФСК ЕЭС, 2012. – 110 с.

4. Садовников, А.Н. Централизованные комплексы релейной защиты и автоматики типовых комплектных двухтрансформаторных подстанций 35–220 кВ / А.Н. Садовников // Материалы 63-й научной конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и сотрудников. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – Т. 2. – 331 с.

5. Садовников, А.Н. Использование централизованных комплексов релейной защиты и автоматики при подключении генерирующих мощностей к шинам низкого напряжения понизительных двухтрансформаторных подстанций / А.Н. Садовников // Материалы XLI Всесоюзной научно-практической конференции (с международным участием) «Федоровские чтения». – М. Издательский дом МЭИ, 2011. – 210 с.

6. Садовников, А.Н. Централизованный комплекс релейной защиты и автоматики в распределительных сетях с малой генерацией / А.Н. Садовников // Релейщик. – 2013. – № 2. – С. 46–52.

7. Software EnerVista. – URL: http://www.gedigitalenergy.com/products/brochures/enervista.pdf.

8. ГОСТ Р МЭК 61850-5 – 2011. Сети и системы связи на подстанциях. Часть 5. Требования к связи функций и моделей устройств. – М.: Изд-во стандартов, 2013. – 124 с.

9. СТО 56947007-29.120.70.109-2011. Методические указания по выбору параметров срабатывания устройств РЗА оборудования подстанций производства компании «GE Multilin». – URL: http://www.fsk-ees/about/standards_organization.html.

10. Садовников. А.Н. Компьютерная модель релейной защиты и автоматики комплектной трансформаторной подстанции / А.Н. Садовников // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2002. – Вып. 2/ – № 7(16).

11. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 9693. Модель релейной защиты и автоматики двухтрансформаторной подстанции / А.Н. Садовников // Телеграф отраслевого фонда алгоритмов и программ. Инновации в науке и образовании. – № 12 (35).

12. Правила устройства электроустановок. – СПб.: Изд-во ДЕАН, 2011. – 928 с.

13. 850 Feeder Protection System. Feeder protection and control. Instruction manual. 850 version: 1.1x. GE publication code: 1601-0298-A2 (GEK-119591A). – URL: http://www.gedigitalenergy.com/Protection_Control/Distri-bution-Feeder/850/850–man-a2.pdf.

14. 745 Transformer Protection System Instruction Manual. 745 revision: 5.20. GE publication code: 1601-0161-AC (GEK-106635L). – URL: http://www.gedigitalenergy.com/products/manuals/745/745man-ac.pdf.

15. Гольдштейн, М.Е. Исследование несинхронного автоматического повторного включения в распределительных электрических сетях с газотурбинными установками / М.Е. Гольдштейн, А.Н. Садовников // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2004. – Вып. 4. – № 1(30). – 2004.

16. Гольдштейн, М.Е. Влияние алгоритмов РЗА на величину электродинамических нагрузок на валу ГТУ, работающей в «удаленном» узле энергосистемы / М.Е. Гольдштейн, А.Н. Садовников // Энергетика, экология, энергосбережение транспорт. Труды второй международной научно-технической конференции. Часть 1. – Тобольск: Новосиб. Гос. Акад. Водн. Трансп., 2004.

К содержанию

ФАКУЛЬТЕТ ВОЕННОГО ОБУЧЕНИЯ

УДК 629.1.032.1 + 358.11

О ВЛИЯНИИ ГУСЕНИЧНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ НА БОЕВЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВГМ

Ю.Н. Зайчиков

В статье исследуется влияние гусеничных движителей на боевые и эксплуатационно-технические свойства военно-гусеничных машин. В основу исследования взяты потери мощности двигателя в гусеничном движителе. В качестве показателей эксплуатационно-технические свойства определены подвижность, защищенность, надежность и обслуживаемость ВГМ.

Ключевые слова: потери мощности для гусеничного движителя, предварительное натяжение гусениц, резинометаллический шарнир трака.

Гусеничный движитель оказывает существенное влияние на показатели подвижности, защищенности, надежности и обслуживаемости ВГМ, в меньшей степени – на показатель огневой мощи боевых машин.

Подвижность ВГМ главным образом зависит от потерь мощности двигателя в гусеничном движителе.

Структура распределения мощности потерь для ГД показана на рис. 1 и ее количественная оценка наиболее ярко выражена на диаграмме рис. 2.

Рис. 1. Структура распределения энергии в ГТС

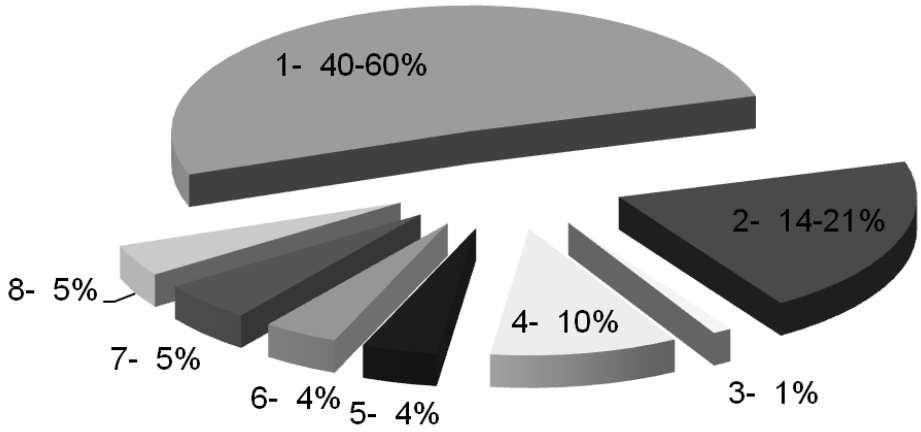


Рис. 2. Диаграмма распределения энергии в ГТС

Из ее анализа явно видно, что к основным потерям, которые в наибольшей мере зависят от натяжения ГЦ, относятся потери в шарнирах траков – 4 и они прямопропорциональны силе ее натяжения.

В современных ВГМ при движении с максимальной скоростью около 50 %, развиваемой двигателем мощности, теряется именно в гусеничном движителе (рис. 3).

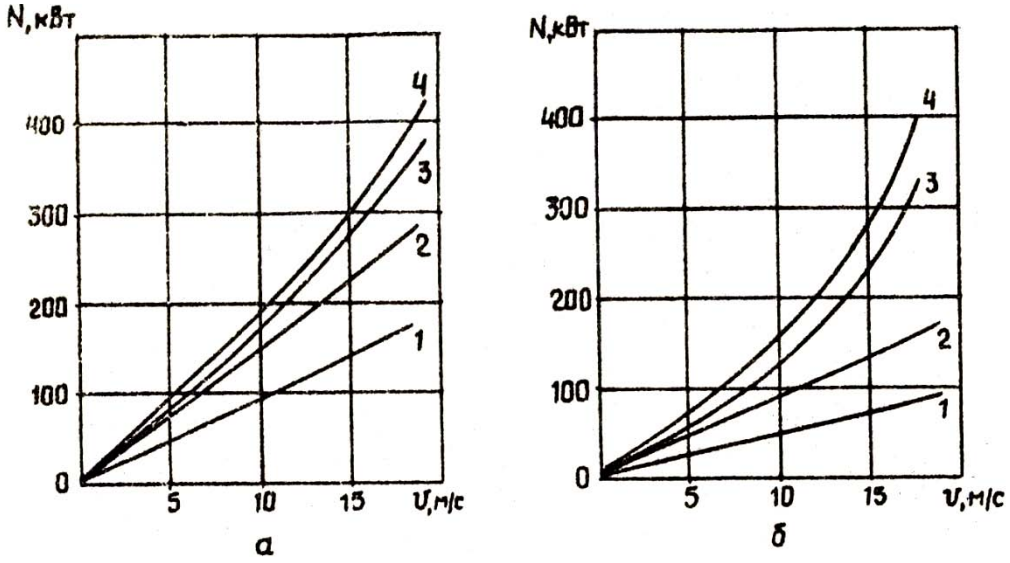


Рис. 3. Потери мощности в гусеничных движителях танков: *а* – Т-80; *б* – Т-72
1 – на качение опорных катков по гусенице; *2* – на качение катков по гусенице и в шарнирах гусениц; *3* – на качение опорных катков по гусенице и динамические потери; *4* – суммарные потери

Многочисленные исследования потерь мощности в гусеничном движителе показывают, что в гусеницах РМШ потери мощности на 10–15 % меньше, чем в гусеницах с ОМШ.

Значительная часть мощности теряется на трение в зацеплении гусениц с ведущими колесами. Снижение этих потерь достигается соблюдением оптимального натяжения гусениц, зацеплением гусениц последовательного типа с ведущим колесом по толкающему способу.

Для уменьшения динамических потерь могут использоваться компенсирующие устройства (пневматические на ГМ-569 и механические на М60), которые уменьшают провисание гусениц при деформациях упругих элементов подвесок. Применение механизмов автоматического натяжения гусениц, поддерживающих оптимальные усилия натяжения в зависимости от скорости движения, радиусов поворота и т.д.

Подвижность гусеничных машин зависит и от проходимости, которая также во многом определяется конструкцией гусеничного движителя. Проходимость машины косвенно оценивается ее давлением на грунт. Давление на грунт современных основных танков составляет около 0,8–0,9 кгс/см^2, а легких танков и БМП - примерно 0,5–0,6 кгс/см^2. Для снижения давления требуется устанавливать широкие гусеницы и увеличивать длину их опорной поверхности. Вместе с тем такой путь сопряжен с проблемами ухудшения поворотливости и компоновочными трудностями.

Существенное влияние на проходимость оказывает неравномерность распределения нагрузок на грунт. Под опорными катками наблюдаются так называемые «пиковые» давления, которые часто приводят к разрушению поверхностного слоя грунта и ухудшению проходимости машины, поэтому в настоящее время ведутся поиски технических решений, обеспечивающих одностороннюю изгибную податливость гусениц.

Исследование показывают, что проходимость гусеничных машин зависит и от усилий предварительного натяжения гусениц. На грунтах со слабой несущей поверхностью (песок, снег) гусеницы следует ослаблять для увеличения их опорной длины (за счет образования прогибов гусениц между катками), что уменьшает давление машины на грунт и снижает потери мощности двигателя на перематывание гусениц. На грунтах с относительно прочными поверхностными слоями, но слабыми внутренними (травянистые болотистые лесные участки) гусеницы необходимо натягивать как можно сильнее для уменьшения «пиковых» давлений под опорными катками.

Защищенность. В настоящее время одной из наиболее острых проблем остается низкая противоминная стойкость гусеничных движителей. Разрешение этой проблемы возможно, видимо, только путем создания и совершенствования устройств обезвреживания мин (противоминные катковые и ножевые тралы, электромагнитные инициаторы взрывов мин и т.д.). Повышение противоминной стойкости гусениц сопряжено с увеличением их массы и резким возрастанием потерь мощности на перематывание.

Надежность. Как уже упоминалось, наибольшее количество отказов в ходовой части ВГМ приходится на опорные катки и гусеницы, которые выходят из строя вследствие разрушения резины шин катков и резинометаллических шарниров траков, однако опорные катки выходят из строя и из-за разрушения подшипниковых узлов. Причина этого - нарушение качества и режима смазки опорных катков. Ухудшение качества смазок происходит из-за накопления продуктов окисления, воды, засорения продуктами износа и пылью. Поэтому в эксплуатации важно следить за состоянием уплотняющих устройств опорных катков. Кроме того, подшипниковые узлы опорных катков могут выходить из строя из-за нарушений технологии их сборки (излишняя затяжка гаек, перекосы и т.д.).

Резинометаллические шарниры траков чаще всего выходят из строя по причине неправильного соединения соседних траков после проведения монтажно-демонтажных работ с узлами ходовой части. Это может происходить из-за недостаточной затяжки болтов скоб, гребней, а также вследствие неустановки эксплуатационного угла между соседними траками (примерно 7–8°).

Устранение возникающих в процессе эксплуатации ВГМ отказов элементов их ходовой части требует затрат времени на проведение демонтажно-монтажных работ, расхода ресурсов запасных частей и ремонтных средств. В связи с этим в эксплуатации очень важно уметь предвидеть структуру и характер отказов в данных условиях применения ВГМ, планировать необходимые силы и материально-техническое обеспечение для сокращения сроков ремонта машин.

Ремонтопригодность гусеничных движителей современных боевых гусеничных машин (танков, БМП, легких танков) ухудшилась по сравнению с машинами 50–60-х годов. Причиной этому стали защитные устройства, навешиваемые по бортам. Имея достаточно большие массы и значительное количество элементов крепления, они затрудняют доступ к механизмам натяжения гусениц, опорным и поддерживающим каткам, верхним ветвям гусениц и направляющим колесам. Вместе с тем конструкции узлов гусеничных движителей современных танков и БМП становятся все более удобными для проведения демонтажно-монтажных работ (опорные катки с легкосъемными дисками на танках Т-80, Ml «Абрамс», БМП-3; специальные выступы на балансирах для упора в них рычагов-подъемников опорных катков Т-80, М60 и др.).

Обслуживаемость. Данное свойство ВГМ зависит от периодичности и продолжительности проведения работ по техническому обслуживанию узлов гусеничных движителей. Благодаря применению высококачественных смазок, надежных конструкций уплотнений и износостойкости материалов в настоящее время наблюдается тенденция к увеличению периодичности, уменьшению количества и трудоемкости работ по техническому обслуживанию гусеничных движителей.

Библиографический список

1. Балдин, В.А. Теория и конструкция танков / В.А. Балдин. – М.: Вениздат, 1975. – 442 с.
2. Морозов, В.Г. Современные танки, БМП и БГМ на их базе. Учебное пособие / В.Г. Морозов. – Изд. МО РФ, 2001. – 61с.
3. Платонов, В.Ф. Многоцелевые гусеничные шасси / В.Ф. Платонов. – М.: Машиностроение, 1998. – 342 с.
4. Стрельцов, А.Г. Конструкция быстроходных гусеничных машин. Учебное пособие / А.Г. Стрельцов. – М.: МГТУ «МАМИ», 2005. – 616 с.
5. Чобиток, В.А. Конструкция и расчет танков и БМП / В.А. Чобиток. – М.: Военное издательство, 1984. – 375 с.

К содержанию

УДК 327.5 + 355.01

ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРА ВНУТРЕННИХ ВООРУЖЕННЫХ КОНФЛИКТОВ В XX ВЕКЕ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

А.Д. Костюк

В статье исследуется изменение характера внутренних вооруженных конфликтов в связи с развитием общества, основанного на эксплуатации дешевых углеводородных ресурсов. Используется сравнение с вооруженными конфликтами первой половины XX века.

Ключевые слова: гибридная война, постиндустриальное общество, глобализация, углеводородные ресурсы.

В настоящее время и профессиональные военные, и военные историки, и любители военной истории все яснее видят огромную разницу в иррегулярных, внутренних вооруженных конфликтах, какими их можно видеть в современной видео-хронике (или своими глазами), и какими они представляются из кинохроники и воспоминаний очевидцев 50–100 летней давности. К сожалению, в большинстве случаев эта разница воспринимается только эмоционально. Однако понимание причин явления может оказаться гораздо более интересным, а главное – и более полезным.

Наиболее полезным, как правило, является предотвращение подобных вооруженных конфликтов, поскольку они ведут к огромным людским потерям, материальному ущербу и безвозвратной утрате культурного наследия.

Современный мир характеризуется значительным избытком ресурсов. В частности, это связано с большим количеством относительно дешевого углеводородного сырья. Это сырье, в свою очередь, обеспечивает дешевые предметы из пластика, смол и лаков (мебель, склеенная из опилок, корпуса бытовой техники), дешевая одежда из синтетики, а также некачественные, но дешевые продукты питания, получаемые путем промышленного земледелия (фактически, мы употребляем нефтяную пищу, слабо переработанную растениями из вкладываемых в них удобрений). И, наконец, это дешевая энергия от сжигания углеводородов. Не будем останавливаться на эффективности и рациональности такой системы. Отметим, что она обеспечила на планете возможность длительного существования огромной доли людей, не занимающихся производительным трудом.

Конечно, этот избыток неравномерен, вплоть до локальных случаев голода. Правда, и в этом случае в странах Азии и Африкис нарушенным циклом сельского хозяйства, образовались значительные слои населения, живущие в значительной степени за счет гуманитарной помощи. Их миграция в Европу и Америку меняет привычную демографическую картину мира.

До середины XX века ведение длительных войн было связано с отрывом огромного количества рабочих рук, ergo (следовательно), истощением продуктовых и товарных запасов. При этом вести затяжную войну малыми силами, как (скажем) в XVIII веке, было уже невозможно – противник ответил бы наращиванием сил и средств. Это одна из причин интереса к идее «молниеносной», или хотя бы достаточно быстрой и решительной войны – затяжная война делала цену победы слишком высокой, не столько из-за потерь в личном составе и технике, сколько из-за расходов на нее и косвенного ущерба для хозяйства (отток рабочей силы). Понимание этого вопроса видно еще у древних, в частности, у Сунь-Цзы [7]. А.В. Суворов сформулировал это замечательно емко и лаконично: «Победа – враг войны» [3].

И межгосударственные, и внутренние вооруженные конфликты до середины XX века, при значительной их длительности, отличались намного большей динамичностью, активностью действий. В качестве примеров можно привести затяжную гражданскую войну в Мексике с 1914 по 1920-й год, гражданскую войну в России с 1918 по 1922 годы, необыкновенно долгую гражданскую войну в Китае, с 1927 по 1950 год, продолжавшуюся с перерывами за счет вмешательства в нее Японии (не упустившей случая использовать слабость соседа), затем – в рамках Второй мировой, затем – в рамках выяснения отношений между блоками СССР и США, гражданскую войну в Испании 1936–1939 гг.

Во втором блоке можно рассмотреть войны конца XX века. Это, прежде всего, серия гражданских войн в Югославии – необычно короткая в Словении (очень низкоинтенсивная по собственно боевым действиям), а затем

длительные и затяжные конфликты в Боснии и Герцеговине, а также Хорватии. К ним примыкает конфликт в Косово и Метохии, начавшийся в 1998 г. и вылившийся в 1999 г. в полномасштабную войну стран НАТО против Югославии за отделение Косово. Затем – война в Сирии с 2012 по настоящий момент и с 2014 г. – в районе Донецкого угольного бассейна (в 1918–1920 гг. этот район как стратегически важный также несколько раз был местом боев и сражений, в источниках часто именуется «каменноугольный район», хотя его стратегическая ценность не только в топливе).

Подробное изучение указанных групп конфликтов или даже одного из них выходит за рамки настоящей работы. Ограничимся небольшим обобщением.

Конфликты существенно отличаются друг от друга по множеству параметров:

– территория, географические особенности местности, климат;

– экономическое и социальное состояние регионов;

– предпосылки к возникновению и развитию;

– используемая техника и вооружение;

– внешние факторы, страны, воздействие третьих стран на стороны-участницы конфликта;

– ход боевых действий и итоги противостояния.

Однако в наличии имеются и общие моменты:

– воюющие стороны всегда неоднородны по мотивации, организации, вооружению, снабжению. В целом и у большинства подразделений и частей все это на низком уровне. Но побеждает та сторона, у которой организация лучше, независимо от политических лозунгов;

– всегда есть сторонние государства, как правило, более сильные, заинтересованные в длящемся конфликте и/или победе одной из сторон, но скованные некоторыми ограничениями;

– всегда есть попытки «перемирий», «замирений», «переговоров о прекращении огня» и т.п. Всегда эти попытки используются как передышка в боевых действиях в рассуждении об удобстве их возобновления;

– сложные технические системы всегда используются, но из-за малого количества и недостаточной грамотности персонала играют заметную, но не решающую роль. Их успешное применение – эпизодично.

Основные же различия вытекают как раз из указанных нами в начале изменений в условиях мирной жизни людей. Неоднократно писалось и отмечено на практике, что человек на войне не меняется. Он остается таким же, как был (кроме случаев «слома»). Внешнее притворство, зримо «слетающее» с него, в расчет не берется – оно при грамотной работе с людьми вычисляется и без всякой войны.

Отсюда вытекают и основные различия:

Люди «постиндустриального» мира, в большинстве – люди непроизводительного труда (офисные работники, обслуга и т.п.). И почти все они

(даже производители) не знакомы с понятием голода и серьезной нужды. Они привыкли жить в условиях достаточно низкой смертности (причем смертность вызвана неосторожностью, а не голодом и эпидемиями), при уровне материального обеспечения (вещи, одежда, еда, поездки, жилищный быт), являвшегося еще 60 лет назад для подавляющего большинства недостижимой роскошью.

Именно поэтому по уровню боеспособности они не могут сравниться с бойцами войн 50–60 летней давности. Особенность эту заметили еще древние, и для ее интуитивного понимания не требуется академических изысканий. Римский автор Публий Флавий Вегеций Ренат (начало V в. н.э.) сформулировал это просто: «Меньше боится смерти тот, кто меньше знает радостей в жизни» [3].

Именно поэтому люди, привыкшие к тяжелой жизни и неизбежным смертям рядом с собой, в бою существенно превосходят избалованных. Даже идеологическое влияние (например, радикальный ислам) может только сгладить это различие, но не устранить его.

Кстати, это не означает автоматически низкого уровня потерь. В ряде случаев трусость мешает принять обоснованное решение, в результате чего потери от неумения укрываться от артиллерийского огня (что наблюдается в ходе текущего конфликта на Донбассе) и потери в окружениях (характерно для начала Великой Отечественной войны, причем для людей более неприхотливых) могут быть существенно выше. Повторимся – не от недоучета опасности, а от ее переоценки и желания от нее уклониться.

Второе различие дополняет первое – в настоящее время наблюдается избыток продуктов питания, одежды и снаряжения. Длительное время кормить, одевать и снабжать вооруженные отряды в настоящее время гораздо проще, чем раньше. Ведь и в мирное время так же содержатся, питаются и одеваются те же самые люди в армиях «офисного планктона», ничего не производя и весьма слабо способствуя распределению произведенного меньшинством. Особенно – если боевые действия ведутся с низкой интенсивностью, расход боеприпасов, горючего, а также потери – малы.

В мирное время они, ничего не производя, способствуют наращиванию оборота денег, товаров и услуг. В ходе длительного конфликта они, также ничего не производя, создают новый оборот, в который немедленно вовлекаются освободившиеся капиталы (естественно, при этом одни предприниматели теряют, а другие – приобретают выгоду).

Небольшой, но характерной деталью является отношение к форме и снаряжению. По видеозаписям боев в Сирии и на Донбассе мы видим, что и свои, и чужие погибшие остаются экипированы так, как и при жизни: в форме, в разгрузочных система и обуви. Еще 50–60 лет назад (скажем, во время войны в Китае) в условиях тотальной нехватки вещевого имущества их снаряжение и обувь, а в ряде случаев и изорванная, пропитанная

кровью и фекалиями одежда были бы немедленно сняты и распределены среди живых, по одной простой причине – это имущество было очень ценным и редким, его пришлось бы отстирать, зашить и использовать, чтобы выжить и выполнить боевую задачу. Но в наше время поступает достаточно обуви, разгрузочных систем, и даже… носков. Необходимость в снятых с убитых «берцах» и портянках (изготовленных из любого пригодного куска ткани) временно отпала.

Другие обстоятельства мы видели в войнах предыдущего периода. К примеру, гражданская война в России велась в условиях тотальной нехватки в первую очередь продовольствия, затем – топлива и боеприпасов [4, 6]. Именно это определяло активные действия всех воюющих группировок. В первую очередь, двух крупных: «красных», опирающихся в основном на свои силы, с низким уровнем неоднородности, и «белых», распадающихся на несколько обособленных группировок, с высоким и все более повышающимся уровнем неоднородности и большой опорой на внешнюю военную помощь.

«Красным» было необходимо разорвать кольцо блокады, выйти к самодостаточности по ресурсам в короткие сроки, пока их внутренние ресурсы не истощились. «Белым» – разгромить «красных», пока их собственные внутренние противоречия не успели обостриться до критического значения, пока еще поступает военная помощь от Антанты. Правда, в случае разгрома «красных» их все равно ждало выяснение отношений уже между отдельными «белыми» группировками, причем – вооруженное выяснение, а также продолжение интервенции.

Мы сознательно опускаем отношения со многими мелкими и примкнувшими вооруженными группировками (казачьими областями, «зелеными», анархистами и националистами), хотя без них учет стратегического баланса в любой войне будет ошибочным.

И хотя территориально гражданская война в России затрагивала незначительную часть, она проходила по ключевым пунктам и операционным линиям (центрам, коммуникациям) с огромным пространственным размахом и динамикой. 1918 год запомнился как очаговый, «слоеный пирог». В качестве примера можно привести 1919 год, когда боевые действия уже приобрели значительно большую организованность, а кризис нехватки ресурсов, соответственно, еще более обострился.

Весна: Колчак – наступает на Оренбург и Поволжье. Лето и осень: разгромленные и дезорганизованные армии Колчака отходят с боями по линии Транссиба на восток.

Лето: бои на севере Донбасса с Деникиным. Неудачное наступление красных, позволившее Деникину к осени дойти до Орла. Выдохшееся наступление белых, развал их армий, отступление от Орла на Донбасс и Ростов, затем – до Новороссийска, эвакуация в Крым (до той поры тоже переходивший из рук в руки малыми силами).

Лето и осень: пока Деникин идет до Орла и положение для красных близкое к катастрофическому, их командование запрещает снимать части с Восточного фронта против Колчака, строго приказывает давить его, пока он не восстановился [5]. Оборона против Деникина делается новыми мобилизациями, своими силами. Правда, наденикинский фронт начинает распределяться больше материальных средств (боеприпасов, горючего и т.п.), чтобы активизировать действия (примитивная, но эффективная стратегия «ударных» фронтов с поочередным «все на разгром …»).

Наступление из Прибалтики армий Юденича, фактически «на рывок» с очень малыми шансами на успех и без возможности отойти обратно.

Советско-польская война с «амплитудой» взаимных перемещений от Киева до Варшавы.

В 1920 г. – наступление Врангеля из Крыма с занятием Северной Таврии как продовольственной базы, поскольку в Крыму не было достаточно продовольствия, а Антанта не имела возможности (да и особого желания) снабдить белых. Попытки удержать Северную Таврию против превосходящих сил красных, что привело к преждевременному расходу резервов и невозможности затем удержать выгодные позиции на Перекопе и Юшуне.

Украина является стратегически выгодным перекрестком коммуникаций. Аналогичные перекрестки – Балканы, Северный Кавказ, Афганистан, Сомали (регулярность там вооруженных конфликтов – следствие из этого). Во время Гражданской войны боевые действия захватили всю территории Украины. Донецкий бассейн являлся одной из ключевых территорий.

Даже на небольшом Донецком бассейне шли маневренные бои в 1918 г. между красной гвардией и германскими войсками, бои начала и конца 1919 года – все они отличались высокой динамичностью, маневренностью и пространственным размахом.

При этом обеспечение боеприпасами обеих сторон было мизерным. Ситуация, когда у бойца на магазинную винтовку приходилось 10–15–20 патронов, на полевое орудие – десятки, иногда и единицы снарядов – была типичной [4, 6].

Командование почти всех группировок, и крупных, и мелких, не могло себе позволить длительного позиционного противостояния по причинам нехватки продовольствия, и во вторую очередь – нехватки боеприпасов. Кроме того, войска обоих (точнее – всех, ибо их часто было более двух) воюющих сторон поражали эпидемии, в первую очередь – тиф. Бывали случаи прекращения наступлений, установления затиший на фронте из-за тяжелой эпидемиологической обстановки.

Только группировки Дона (Всевеликое войско Донское) и Кубани имели достаточные запасы продовольствия (распределены неоднородно), находились в обороне, на территорию красных делали отдельные вылазки (в основном, с целью грабежа), а боевые действия вне своей области всячески перекладывали на своего старшего союзника – «добрармию» Деникина.

Весьма сходны с этим и боевые действия в Китае, особенно после 1945 г., когда Квантунская армия японцев была разгромлена и капитулировала, а войска Гоминьдана (вооруженные США) и формирующейся Народно-освободительной армии Китая (поддерживаемые СССР), вступили в серьезное противоборство. Каждая из сторон решала задачи по удержанию стратегически важных районов у себя и захвату их у противника.

В обоих случаях наблюдается динамика и решительность. И совсем другая картина просматривается в гражданских войнах современного периода. В сущности, после развала Югославии, в Боснии и Хорватии выделились группировки по этническому и конфессиональному принципам, каждая из которых закрепила за собой территорию своего компактного проживания. Так появились Республика Сербская в Боснии и Республика Сербская Краина в Хорватии, боснийское правительство Изетбеговича в Сараево (мусульмане), хорватская автономия в Боснии, а также группа боснийцев-мусульман, но поддерживающая не Изетбеговича, а Республику Сербскую.

Все боевые действия велись статично, путем обороны стратегически важных дорог и высот. Наступления имели ограниченную цель некоторого улучшения конфигурации контролируемой территории (например, цепочка сел, обеспечивающих «коридор» для снабжения, перемещения и торговли). Попыток нанести противнику решительное поражение ни одна сторона не предпринимала.

Несколько иные условия были в Хорватии. Там Республика Сербская Краина (РСК) успешно воевала против хорватов с 1991 г. Однако краинцы были в заведомо очень невыгодном положении, конфигурация их территории была крайне уязвима. Исправить это положение они не могли (и не пытались). К 1995 г. РСК была «оставлена в покое», что привело к внутреннему разложению. Кроме того, видимо, поддерживающему ее президенту Югославии С. Милошевичу пообещали, что оставшуюся Югославию трогать не будут, если он «сдаст» РСК. Милошевич поверил этому обещанию, цену которого у него вскорепоявилась возможность проверить. А РСК в результате хорошо спланированных операций («Олуя» и «Блескавица») хорватской армии, вооруженной и подготовленной НАТО, была захвачена и прекратила свое существование. Войска РСК оказались неспособны на упорное сопротивление и разбежались. Сербское население эвакуировалось, многие оставшиеся были убиты и ограблены [8].

Прецедент выделяется из общей картины и сравним с разгромом группировок, длительное время находившихся в пассивной обороне и потому разложившихся (Франция в 1940 г. после внезапного для нее прекращения «странной войны», окружение Брянского фронта осенью 1941 г. и др.). Это говорит и о том, что «пассивность» современной гражданской войны не является фатальной. Тот, кто первым нарушит ее – получит преимущество вплоть до победы.

Сходную позиционную картину можно видеть и на Ближнем Востоке. В частности, в Сирии раскол произошел именно по этническим и конфессиональным границам. Государственная власть президента Б. Асада стойко обороняет города и районы, где он пользуется поддержкой [9]. Локальные наступления ставят задачу местного улучшения конфигурации этой территории. Не смотря на наличие значительного количества бронетехники, Сирийская арабская армия Асада не рискует углубляться на сопредельные территории. Аналогично тому, Красная армия в 1918–1919 г. безуспешно пыталась наносить прямые удары на Ростов через Область войска Донского, поскольку каждый раз казачий «сполох» (локальная тотальная мобилизация) организовывал им сильное сопротивление. А вот удары через Донецкий бассейн, долгим окружным путем, удавались, поскольку там наступление имело поддержку населения, а войско Донское, когда не атаковали его территорию, никак не пыталось помочь Добрармии Деникина, предотвратить удар на Ростов и Новороссийск. Однако в Сирии таких глубоких прорывов (даже в масштабах меньшей территории) не наблюдается.

Близкое к этому положение наблюдается и на Донбассе. Глубоких обходов и рейдовых действий, аналогичных тем, что проводились на этой же самой территории примерно столетие раньше, не отмечается. При этом городские агломерации существенно разрослись, дорожная инфраструктура уплотнилась, но основные узлы коммуникаций остались неизменны с 1918–1919 года. В сводках гражданской войны, Великой Отечественной и текущего вооруженного конфликта упоминаются одни и те же пункты и рубежи: Славянск (Славяновка), Краматорск (Краматорское), Дебальцево, Мариуполь, Донецк (Юзовка, Сталино), р.Северский Донец, и далее (ныне на территории РФ) – Миллерово и станица Лихая (список неполон).

Однако даже в первом, весенне-летнем периоде боевых действий, более всего соответствующем «слоеному пирогу» 1918 года, очагово-позиционный характер был преобладающим, а рейдовые действия – исключением, не имевшим оперативно-стратегических последствий. Даже движение украинской армии вдоль южной границы Новороссии относится не к рейдам, а к медленной расстановке все тех же опорных пунктов, которые при отсутствии динамики и прерывании линий снабжения закономерно превратились в «котлы» окружений не там, где их вынужденно заблокировали, а там где они остановились сами [10].

Второй же этап (с осени 2014 г. по настоящее время) частично повторяет ситуацию в Сирии, однако с меньшим размахом боев в населенных пунктах и значительно большим размахом дистанционной войны с применением артиллерии. Ситуация неким образом повторяет позиционный тупик и гигантскую артиллерийскую дуэль Первой мировой.

Попутно наметим, что тактическое и техническое решение вопроса мобильности на современном этапе уже найдено и даже доведено до рабочего

варианта. В давнем прошлом это были подразделения на тачанках (рессорных повозках) армии Н.И. Махно и Первой конной армии С.М. Буденного. В маневренной войнепротивника атаковали там, где он не закрепился, с помощью тачанок создавался быстрый перевес над противником в огневой мощи на нужном участке, а закрепляла успех пехота, ехавшая на тачанках «десантом». В Первой конной к тачанкам были добавлено некоторое количество бронеавтомобилей и авиаотряд для разведки.

Вторая мировая вошла в историю как война таких же подвижных соединений, но более тяжелых, оснащенных танками и самоходной артиллерией [1, 2].

Среди рейдов легких соединений, иррегулярных или применяющих иррегулярную тактику, можно отметить действия партизанского соединения С.А. Ковпака, а также британских коммандос на джипах в Северной Африке.

Начиная с 80-х годов, легкие и подвижные подразделения на джипах получают все большее развитие. При гипертрофированном развитии современного автопрома найти нужное количество «внедорожников» и запасных частей к ним вполне возможно. На них, в отличие от Первой конной, ставятся не только пулеметы-аналоги «Максим», но и крупнокалиберные пулеметы под различные боеприпасы 12,7-мм (M2HB «Browning», ДШК, НСВ-12,7 «Утес», «Корд» и др.), малокалиберные зенитные пушки (20-мм модификации «Эрликон», 23-мм ЗУ-23-2 и др.), осколочные автоматические гранатометы (Мк-19, АГС-17/30 и др.). Все это позволяет в глубине обороны противника, где нет долговременных сооружений, выиграть огневой бой с пехотой, часто на дистанции недосягаемой для ее стрелкового оружия. Противотанковые ракетные комплексы (TOW, «Конкурс» и др.) – успешно бороться с бронетехникой, а переносные зенитно-ракетные комплексы (ПЗРК «Стингер», «Стрела-2», «Игла» и др.) – создать «купол безопасности» от вертолетов и штурмовой авиации.

Могут заметить, что использование штатной техники – танков, БМП и БТР для рейдов хорошо известно и более эффективно. Однако мы говорим, во-первых, об иррегулярных войсках, не имеющих их в достаточном количестве, а главное – не имеющих ремонтной базы и достаточных запасов горючего.

В этом отношении автономность моторизованного подразделения на джипах, его ресурс и возможность использования горючего из гражданской сети заправок, а также сливаемого с баков гражданских машин, намного выше. Их ремонт также организуется намного проще и дешевле.

Но, повторимся, основным препятствием к осуществлению более широких маневренных действий в иррегулярных войнах современного типа являются не технические ограничения, а человеческий фактор. Недостаточно способный к риску личный состав дополняется командованием, стремящимся превратить каждую такую войну в бизнес с максимальной прибылью и минимальными потерями. А также продлить ее по времени.

Если ситуация с бизнес-войной не изменится (а предпосылок к этому пока нет), рейдовая тактика будет ограниченной. К сожалению, чаще и активнее ломают шаблон наиболее агрессивные и по-экстремистски настроенные группировки, такие как «Исламское государство Ирака и Леванта» (ИГИЛ). Хотя оно явно имело скрытую поддержку от США, а возможно, не все каналы поддержки перекрыты и по настоящее время, но положение этого «государства» очень шатко, поэтому оно и действует столь агрессивно, расширяя свою территорию до необходимого для самодостаточности минимума. Массированное применение авиации стран НАТО, в том числе – стратегической, также может лишь снизить эффективность их рейдов, но «панацеей» не является.

Такой представляется нам мировая тенденция в локальных внутренних конфликтах. По всей вероятности, будущее заставит еще не раз пересмотреть наши взгляды в этой области.

Ответ на вопрос, «будет ли такой избыток ресурсов и стабильная экологическая ситуация вечно» - тривиален. Гораздо важнее будет ответить на вопрос, «когда» и какого конкретно ресурса будет не хватать, как это изменит наш социум и, соответственно, повлияет на военное дело. Но этот вопрос требует отдельного рассмотрения.

Библиографический список

1. Миллер, Д. Современные сухопутные войска: техника, тактика, вооружение / Д. Миллер, К.Ф. Фосс; пер. с англ. – Смоленск, Русич, 2004. – 208 с.

2. Макнаб, К. Современный бой: оружие и тактика / К. Макнаб, У. Фаулер; пер. с англ. Ю.А. Плотникова. – М.: Изд-во Эксмо, 2003. – 256 с.

3. Великие полководцы. Афоризмы, притчи, легенды / сост. А.Ю. Кожевников. – М.: ЗАО «Олма Медиа Групп», 2012. – 304 с.

4. На Южном Урале (воспоминания участников гражданской войны) / сост. Т.С. Кривов, В.С. Русяев, Б.Я. Худяков; под ред. Д.В. Панкова. – М.: Воениздат, 1958. – 334 с.

5. В.И. Ленин о войне, армии и военной науке: сборник. Т. 2 / сост. Н.П. Мамай, В.В. Горбунов, А.Н. Баюшкина. – М.-Л.: Воениздат, 1957. – 704 с.

6. Гражданская война. 1918–1921 / Н.Е. Какурин, И.И. Вацетис; под ред. А.С. Бубнова и др. – СПб.: ООО «Издательство «Полигон», 2002. – 672 с.

7. Трактаты о военном искусстве / Сунь-Цзы, У-Цзы; пер. с кит., предисл. и коммент. Н.И. Конрада. – М.: ООО «Издательство АСТ»; СПб.: TerraFantastica, 2002. – 558 с.

8. Валецкий, О.В. Падение Республики Сербская Краина / О.В. Валецкий. – Пушкино: Центр стратегической конъюнктуры, 2014. – 88 с.

9. Война в Сирии – уроки для России (по материалам http://navoine.info/syr-lessons.html).

10. URL: http://novorossik.ru/novorossia/vojna-v-novorossii.html и др.

К содержанию

УДК 355.13 + 159.923:355.13

ПСИХОЛОГИЯ ЛИЧНОСТИ БУДУЩЕГО ОФИЦЕРА

А.Д. Лутченко

Психология личности будущего офицера позволяет приобретать необходимые знания, формировать у объекта воспитания боевые навыки и умения – основу уверенности в боевых условиях.

Ключевые слова: военная психология, сплочение коллектива, приобретение навыков, темперамент личности, объект воспитания.

В современном мире при всей толерантности и призывам к миру, к сожалению, все чаще мы слышим информацию о сводках из мест боевых действий. Любое противостояние не может осуществляться в одиночку, ровно как и любая армия, это гигантских механизм, который требует грамотного управления. Ввиду этих моментов, с каждым днем набирает обороты, такая прикладная отрасль психологической науки, как военная психология. Эта отрасль психологии изучает закономерности и механизмы функционирования психики человека, включенного в воинскую деятельность в процессе боевых действий или в процессе обучения военному делу.

Можно выделить четыре основных направления военной психологии:

1) психология личности воина;
2) психология группы и межличностного взаимодействия в армии;
3) психология воинской деятельности в мирное время;
4) психология боя и войны.

В рамках данной статьи нас будет в большей степени интересовать психология личности будущего офицера – студента факультета военного обучения.

Слушатели ФВО являются носителями тех общих черт, которые характерны для человека на этапе юношеского возраста с переходом к зрелости. Так желания и стремления развиваются ранее, чем воля и сила характера. В таких условиях юноша не всегда способен подавить некоторые чрезмерные и лишние устремления и желания.

Для юношеского возраста характерен большой оптимизм, вера в собственные силы, чуткое и доброе отношение к людям, искренность, непосредственность, задушевность, чувство товарищества. Эта особенность позволяет формировать у будущих офицеров самые благородные качества и использовать их силу, энергию для серьезных дел, каких требует военная профессия.

Социально-психологические особенности студентов зависят также от специфики и содержания учебной деятельности по основной профессии,

жизненного опыта, воспитания, развития, уровня культуры и других факторов. Все это находит свое проявление в духовном облике, поведении, запросах и интересах, в повседневной деятельности будущих офицеров.

Для студентов факультета военного обучения характерна актуализация различных типов потребностей, в сложном переплетении которых ведущими могут быть либо материальные, либо духовные. Важно, чтобы у будущих офицеров ведущую роль в их учебной деятельности играли духовные потребности, в первую очередь потребность в отличном овладении военной профессией, добросовестном отношении к учебе, службе и дисциплине.

В юношеском возрасте происходит активный процесс формирования мировоззрения, однако не всегда студенты способны дать объективную оценку ситуации происходящей вокруг, в стране и в мире. Как правило, любая ситуация достаточно остро воспринимается, особенно очень бурно реагируют студенты на похвалу и критику. Похвала может вызвать большую радость, неудача – напротив, разочарование и недовольство самим собой, психологические особенности юношеского возраста необходимо учитывать преподавательскому составу.

Психология студентов различных курсов тоже отличается и эти особенности необходимо знать и учитывать каждому преподавателю.

Как правило, студенты впервые приходят на факультет военного обучения, обучаясь на втором курсе по основной специальности. Это время самый сложный и трудный для них период. Юноши впервые встречаются с новой обстановкой, с новыми требованиями и правилами соблюдения воинского устава.

Возникает противоречие между первичными формами поведения и уставными требованиями. «Ломка» привычных стереотипов – процесс достаточно болезненный. Он может вызвать отрицательные психические реакции и переживания будущих офицеров.

Характерным для студентов в этот период является также противоречие между объемом, новизной, сложностью учебного материала, с одной стороны, и отсутствием навыков и умений – с другой. Важно помочь им адаптироваться как можно быстрее, чтобы они научились помимо лекционной и семинарской работы грамотно распределять время для самоподготовки.

Студенты более старших курсов уже имеют определенный опыт за плечами, приобрели навыки самостоятельной работы, умеют активно использовать полученные знания на практике.

Студенты последнего курса стойко переносят все сложности и особенности военного дела, прошли военные сборы, хорошо ориентируются в теоретическом и практическом материале, обладают более содержательным мировоззрением. Причем знания по многим вопросам общественной жизни переросли в убеждения, появилось умение их аргументировано отстаивать.

Поведение студента зависит не только от его направленности, но и от ряда других личностных факторов и особенностей таких как: темперамент, характер, индивидуальные свойства личности и т.п.

На скорость реакции, скорость восприятия материала и склонность к тому или иному виду военной деятельности, безусловно, оказывает влияние темперамент, преобладание определенных черт дает возможность отнести темперамент человека к тому или иному типу. Одна из наиболее распространенных в отечественной литературе классификаций типов темперамента:

Холерик – быстрый, порывистый, однако неуравновешенный, с резко меняющимся настроением с эмоциональными вспышками. Он решителен, быстро схватывает обстановку и энергично решает задачу. У него нет равновесия нервных процессов, это его резко отличает от сангвиника. Холерик обладает огромной работоспособностью, однако, увлекаясь, безалаберно растрачивает свои силы и быстро истощается.

Флегматик – неспешен, невозмутим, имеет устойчивые стремления и настроение, внешне скуп на проявление эмоций и чувств. Он проявляет упорство и настойчивость, оставаясь спокойным и уравновешенным. В работе он производителен, компенсируя свою неспешность прилежанием, способен к большому напряжению, взявшись за дело, доводит его до конца.

Сангвиник – живой, подвижный человек, с частой сменой впечатлений, с быстрой реакцией на все события, происходящие вокруг него, довольно легко примиряющийся со своими неудачами и неприятностями, быстро запоминает учебный материал, адаптивен к изменчивым условиям среды. Он очень продуктивен в работе, когда ему интересно, если работа не интересна, он относится к ней безразлично, ему становится скучно.

Меланхолик – склонный к постоянному переживанию различных событий, он остро реагирует на внешние факторы. Свои переживания он зачастую не может сдерживать усилием воли, он повышенно впечатлителен, эмоционально раним. К положительным чертам меланхолика следует отнести высокую чувствительность органов чувств, восприимчивость к воспитательным воздействиям, душевность, он может тонко понимать людей, уметь выслушивать, посочувствовать, помочь товарищу.

В чистом виде охарактеризованные темпераменты, как правило, встречаются редко. В реально жизни мы имеем дело с сочетанием данных черт, но по преобладающей тенденции в поведении судят о том или ином типе темперамента.

Каждая военная профессия предъявляет свои требования к человеку, и от темперамента зависит многое. Его особенности важно учитывать в учебном процессе. Знание этих особенностей поможет преподавателю выбрать из арсенала учебно-воспитательных средств наиболее верные.

Особенности поведения студентов, определяемые их темпераментом и другими психическими образованиями, под воздействием социальной среды превращаются в устойчивые черты характера.

Характер - это психологическое свойство личности, определяющее линию поведения человека, его поступки и выражающееся в его отношении к окружающему, труду, другим людям, к самому себе. В характере наиболее полно выражаются индивидуальные особенности человека. Характер является своеобразным выражением психических познавательных процессов, чувств, воли, направленности, темперамента и способностей.

Направленность личности, ее убеждения, интересы, потребности, мотивы деятельности определяют содержание характера, его цельность или противоречивость, устойчивость. От характера в свою очередь, зависит, какие мотивы деятельности станут главными, ведущими. Способности определяют интеллектуальные черты характера. Темперамент является его динамической стороной. В то же время характер оказывает сильное влияние на проявление темперамента, на его изменение и выражение в деятельности. Главное различие между ними состоит в том, что темперамент обусловлен преимущественно врожденными биологическими свойствами, а в становлении характера определяющую роль играют социальная среда и воспитание.

Нравственное воспитание студентов – это, в первую очередь, активная работа по формированию у них положительных черт характера. Сильный характер не только воспитывается, но и проявляется в борьбе с трудностями, через преодоление препятствий, которых в военном деле огромное количество.

Устойчивый интерес к военной профессии, как правило, перерастает в склонность, проявляющуюся в виде постоянного стремления к совершенствованию знаний по всей воинской специальности.

Важное значение имеют также знание и учет преподавателями уровня сформированности военно-политических и профессиональных убеждений у студентов.

Психологическая подготовка студентов – это целенаправленное формирование у них таких особенностей психических процессов и черт личности, которые нужны им как военнослужащим и будущим командирам. Целостное выражение этих особенностей и черт: психологическая готовность к службе, то есть сочетание устойчивых психологических качеств и мобилизованности сил, настроя на активные, целеустремленные действия в условиях войны и в мирное время.

Успех морально-политической и психологической подготовки обучаемых непосредственно зависит от психолого-педагогической подготовленности преподавателей и обеспечивается четким определением целей и задач; глубоким уяснением требований, которые предъявляют к личности

командира, в условиях боевой обстановки; последовательной и творческой реализацией воспитательных возможностей общественных, общенаучных и военных дисциплин.

Большое влияние на развитие направленности личности будущего офицера оказывает крепкий, сплоченный военно-учебный коллектив. Здесь в совместной деятельности у студентов развиваются близкие по содержанию стремления, интересы, высокоидейные мотивы поведения, упрочивается военно-профессиональная направленность. Если же кто-либо из студентов не проявляет настойчивости в достижении поставленной цели, не добивается высоких результатов в своей деятельности, то коллектив, как правило, осуждает его и силой общественного мнения побуждает не только ставить высокие цели, но и добиваться их осуществления, развивается взаимопомощь и взаимовыручка. И чем больше сплочен коллектив, тем сильнее он оказывает положительное влияние на каждого человека.

Библиографический список

1. Есаян, М.Л. Психологическая профилактика дезадаптивных форм поведения у курсантов высших военных заведений: дис. … канд. психол. наук / М.Л. Есанян. – Ставрополь, 2006.

2. Калюжный, А.С. Психология коллектива воинского подразделения учеб. пособие / А.С. Калюжный. – Н. Новгород: НГТУ, 2004.

3. Краткий психологический словарь / Л.А. Карпенко, А.В. Петровский, М.Г. Ярошевский. – Ростов-н/Д.: «ФЕНИКС», 1998.

4. Маклаков, А.Г. Общая психология. Учебник для вузов / А.Г. Маклаков. – М., СПб.: Изд. Питер, 2005.

5. Небылицын, В.Д. Темперамент / В.Д. Небылицын // Психология индивидуальных различий. Тексты / Под ред. Ю.Б. Гиппенрейтер, В.Я. Романова. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – С. 153–159.

К содержанию

ФИЛИАЛ В г. АША

УДК 669.18:658.3+628.5

ОСНОВНЫЕ ВРЕДНЫЕ И ОПАСНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.В. Мохова

Проанализированы опасные и вредные факторы электросталеплавильного производства. Совокупное воздействие всех факторов определяет условия труда работающих как вредные. Необходимо внедрение мероприятий по уменьшению влияния неблагоприятных производственных факторов.

Ключевые слова: безопасность электросталеплавильного производства, опасный фактор, вредный фактор.

Важной задачей электросталеплавильного производства является обеспечение безопасных условий труда. Необходимо проводить анализ всех негативных факторов, влияющих на работающего, и осуществлять мероприятия по устранению их вредного воздействия.

К опасным производственным факторам сталеплавильного производства, воздействие которых на работающего в определенных условиях может привести к травме или к смерти, следует отнести:

– электрический ток определенной силы;

– раскаленные тела, искры и брызги расплавленного металла, электрическая дуга;

– возможность падения с высоты самого работающего либо различных деталей и предметов;

– грузоподъёмные механизмы (электромостовые краны) и грузозахватные приспособления (клещи, лебёдки, тросы, специальные крюки);

– движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования.

Вредным производственным фактором считается такой фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности. Заболевания, возникающие под действием вредных производственных факторов, называются профессиональными [1].

К вредным производственным факторам сталеплавильного производства относятся:

– неблагоприятные метеорологические условия;

– запыленность и загазованность воздушной среды;

– воздействие шума, инфразвука, вибрации;

– наличие электромагнитных полей;

– повышенная яркость света [1].

Необходимо учитывать также тяжесть и напряженность труда. Тяжесть трудового процесса оценивают по ряду показателей, выраженных в эргометрических величинах, характеризующих трудовой процесс, независимо от индивидуальных особенностей человека, участвующего в этом процессе. Основными показателями тяжести трудового процесса являются:

– физическая динамическая нагрузка;

– масса поднимаемого и перемещаемого груза вручную;

– стереотипные рабочие движения;

– статическая нагрузка;

– рабочая поза;

– наклоны корпуса;

– перемещение в пространстве.

Напряженность труда – характеристика трудового процесса, отражающая нагрузку на центральную нервную систему, органы чувств и эмоциональную сферу работника.

К факторам, характеризующим напряжённость труда, относятся:

– интеллектуальные, сенсорные и эмоциональные нагрузки (длительность наблюдения и число наблюдаемых объектов, работа с видеодисплейными терминалами);

– степень монотонности нагрузок;

– режимы работы.

Рассмотрим основные источники вредных и опасных факторов электросталеплавильного производства и мероприятия по устранению вредного воздействия этих факторов.

Источниками шума и вибрации в сталеплавильном цехе являются:

– технологическое оборудование электросталеплавильного отделения;

– насосно-компрессорное и вентиляционное оборудование, располагаемое внутри производственных помещений;

– краны промышленные и строительные;

– путевые машины, напольный производственный транспорт.

Для профилактики вибрационной болезни наряду с гигиеническим нормированием устраняется вибрация машин, оборудования и инструментов путем уравновешивания сил, вызывающих колебания. Проводятся мероприятия по уменьшению передачи вибрации при помощи упругих элементов и виброгашения, вводятся технологические процессы, ограничивающие или полностью исключающие контакт работающего с вибрирующей поверхностью.

Необходимо соблюдение рабочим рационального режима труда и отдыха и использование средств индивидуальной защиты, таких как виброгасящие рукавицы и обувь.

В металлургическом цехе шум возникает при загрузке шихты в печь, вследствие ударов кусков шихты о стенки печи, при работе воздуходувных установок (вихревой шум, шум от неоднородности потока).

Шум оказывает вредное воздействие на центральную нервную систему, вызывая переутомление и истощение клеток коры головного мозга, оказывает вредное влияние на зрительный и вестибулярный анализаторы, которое может привести к нарушению координации движений и равновесия тела.

Вредное воздействие шума во время работы на шумных производствах можно избежать различными методами и средствами. Значительное уменьшение производственного шума достигается применением специальных технических средств шумогашения.

Мероприятия и средства защиты от шума подразделяются на коллективные и индивидуальные, причем последние применяются лишь тогда, когда мерами и средствами коллективной защиты не удается снизить уровни шума на рабочих местах до допустимых значений. Назначение средств индивидуальной защиты от шума – перекрыть наиболее чувствительные каналы проникновения звука в организм – уши. Средства коллективной защиты от шума делятся по следующим направлениям:

– уменьшение шума в самом источнике;
– уменьшение шума на пути его распространения;
– организационно-технические мероприятия;
– лечебно-профилактические мероприятия.

Уменьшение шума в самом источнике – наиболее радикальное средство борьбы с шумом, создаваемым оборудованием. Необходимо стремиться к максимальному снижению шума в источнике еще на стадии проектирования оборудования. Это достигается с помощью следующих мероприятий и средств: совершенствование кинематической схемы и конструкций оборудования, проведение статического и динамического уравновешивания и балансировки, изготовление корпусных деталей из неметаллических материалов (пластмасс, текстолита, резины), чередование металлических и неметаллических деталей, повышение точности изготовления деталей и качества сборки узлов и оборудования, уменьшение зазоров в соединениях уменьшения припусков, применение смазки трущихся деталей.

Организационно-технические средства защиты от шума включают: применение малошумных технологических процессов и оборудования, оснащение шумного оборудования средствами дистанционного управления, соблюдения правил технической эксплуатации, проведения планово-предупредительных осмотров [2].

Источником инфразвука – звуковых колебаний с частотами, лежащими ниже полосы слышимых частот (20 Гц) – являются турбулентные процессы при движении больших потоков газов или жидкостей.

Для организации защиты от инфразвука необходимо использовать комплексный подход, включающий конструктивные меры снижения инфразвука в источнике образования, планировочные решения, организационные, медицинские меры профилактики и средства индивидуальной защиты [2].

Электросталеплавильное производство является источником выбросов большого количества пыли и других загрязняющих веществ. Величина этих выбросов зависит от применяемого сырья, технологического режима плавки, способа отвода газов от печи.

Выход технологических газов из электросталеплавильных печей определяется сгоранием углерода шихты и электродов, разложением необожженной части известняка и подсосом атмосферного воздуха в печь.

Мелкодисперсная пыль образуется в результате испарения металла в районе действия электрических дуг, пары которого конденсируются и взаимодействуют с кислородом и азотом, имеющимися в рабочем пространстве печи. Более крупные фракции пыли образуются из шлакообразующих и раскислителей. В период расплавления чистой и крупногабаритной шихты образуется небольшое количество пыли. В период кипения выбросы достигают максимальных значений в результате действия кислородных струй и активного кипения металла, в период доводки выбросы снижаются до минимума. При выплавке стали на грязном, ржавом и малогабаритном скрапе количество пыли увеличивается. Пыль, выбрасываемая электросталеплавильными печами, состоит преимущественно из оксидов железа. В период расплавления в пыли появляются оксиды марганца, в период доводки – оксиды кальция и магния.

Высокая температура и действие электрической дуги в рабочем пространстве печи вызывает образование оксида углерода, оксидов азота и серы, цианидов и фторидов, которые выбрасываются из печи вместе с газами [3].

В борьбе с образованием и распространением пыли наиболее эффективны технологические мероприятия. Большое значение имеет рациональная утилизация пыли, использование местной и общей вентиляции, средств индивидуальной защиты – противопылевых респираторов.

Профилактические санитарно-гигиенические мероприятия по борьбе с производственной пылью разнообразны и направлены на максимальное снижение запыленности воздуха: проведение механизации и автоматизации производства, организация общей и местной вентиляции, герметизация производственного оборудования, замена сухих способов работы на влажные.

Источником теплового излучения сталеплавильного производства является нагретый до температуры плавления металл в печи и шлак. Возможен выброс металла из сталеразливочного ковша во время слива плавки. Это представляет большую опасность для обслуживающего персонала.

Требуемое состояние воздуха рабочей зоны может быть обеспечено выполнением определенных мероприятий, к основным из которых относятся:

– механизация и автоматизация производственных процессов, дистанционное управление ими;

– устройство вентиляции, кондиционирования, отопления.

Источниками электромагнитного излучения в сталеплавильном цехе являются: понижающие трансформаторы; электроды дуговой печи; кабели, подводящие электроэнергию к дуговым печам.

К организационным мероприятиям по защите от воздействия электромагнитного поля относят: выбор режимов работы, ограничение время местонахождения в зоне действия электромагнитного излучения. Защита временем применяется в случае, если нет возможности изменить уровень интенсивности излучения в данной точке до допустимого.

Выявленные вредные и опасные факторы электросталеплавильного производства могут привести к травматизму и профессиональным заболеваниям работающих. В связи с этим актуальным является разработка и внедрение мероприятий по уменьшению влияния неблагоприятных производственных факторов.

Библиографический список

1. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Госстандарт, 1978.

2. Боровик, С.И. Безопасность жизнедеятельности. Учебное пособие с элементами самостоятельной работы студентов. Ч.1 / С.И. Боровик, Л.М. Киселева, И.С. Окраинская и др.; под ред. А.И. Сидорова. – Челябинск. Издательство ЮУрГУ, 2004. – 200 с.

3. Гудим, Ю.А. Производство стали в электропечах. Конструкции, технология, материалы: монография / Ю.А. Гудим, И.Ю. Зинуров, А.Д. Киселёв. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2010. – 547 с.

К содержанию

УДК 621.771.01

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКИ ТОЛСТЫХ ПОЛОС

Е.Е. Чванова

Установление закономерностей изменения деформированного состояния и энергосиловых параметров при прокатке толстого листа с задачей полосы под углом – одна из малоизученных задач. В данной работе разработана и приведена методика проведения эксперимента, графически показаны закономерности, полученные в ходе исследований. Установлены зависимости между углом задачи полосы в валки и относительной деформацией, энергосиловыми параметрами прокатки, углом изгиба полосы на выходе из валков.

Ключевые слова: несимметрия, прокатка, деформация, полоса, закономерности.

В настоящее время известно достаточно много работ [1, 2, 3], посвященных теоретическому анализу процесса несимметричной прокатки. Под несимметричным процессом прокатки в двух валках понимают такой случай прокатки, когда схемы действия сил на прокатываемую полосу, условия на контакте и скоростные условия в зонах обжатия, относящихся к каждому валку, различны. Это наиболее общий случай процесса прокатки, при котором соответствующие параметры со стороны верхнего и нижнего валков неравны. Несимметрию при прокатке необходимо учитывать, т.к. она оказывает влияние на изменение параметров процесса прокатки, на ход самого процесса.

Одним из малоизученных видов несимметрии является задача полосы в валки под углом. Такой способ применяется, в частности, на станах трио Лаута. У клетей трио Лаута горизонт прокатки изменяется после каждого прохода, поэтому они оснащены подъемно-качающимися столами, которые приподнимаются только со стороны рабочей клети, а другой конец опирается на шарниры.

Некоторые авторы в своих работах [7, 8, 9] обращают внимание на прокатку в валках неравного диаметра с задачей полосы под углом, но делают лишь теоретические выводы, не приводя каких-либо закономерностей.

В связи с этим была поставлена задача: Установить закономерности изменения деформированного состояния и энергосиловых параметров при прокатке толстого листа с задачей полосы под углом.

Для проведения эксперимента применялось следующее оборудование: экспериментальная установка для исследования процесса продольной прокатки, устройство для задачи полосы под углом, устройство-транспортир для замера угла задачи, 9 свинцовых образцов размером 15х100х100, видеокамера для съемки процесса.

Образцы для проведения экспериментов были изготовлены методом отливки свинца в оправку. При определении размеров образцов ориентировались на обеспечение геометрического подобия цеховых и лабораторных условий. Для этого, принимая размеры реального сляба за 240х1600х1600, установив коэффициент подобия равным 16 (исходя из возможности изготовления образцов и длины бочки рабочих валков лабораторного стана), получили размер образцов, равный 15х100х100 мм. На боковую поверхность образцов нанесли координатная сетка с помощью проволочно-вырезного станка Sodick с линейными двигателями AQ300L. Для определения размеров насечек использовали следующую методику:

Приняли, что идеальные насечки имеют форму квадрата, т.е. Δx=Δy.

Определили величину обжатия с учетом коэффициента подобия:

$$\Delta h_{\text{эксп}} = \frac{\Delta h_{\text{реальное}}}{K_{\text{п}}}.$$

Реальное обжатие в первых проходах на толстолистовом стане «2850» ОАО «АМЗ» составляет Δh реальное = 27мм.

Тогда:

$$\Delta h_{\text{эксп}} = \frac{27}{16} = 1{,}68.$$

Уточнили размеры (1,68→2,0мм).

Для определения Δx=Δy, нашли длину очага деформации при прокатке на лабораторном стане:

$$L_{\text{эксп}} = \sqrt{R \cdot \Delta h_{\text{эксп}}},$$

где R – радиус валка (в данном случае 260/2=130мм).

Тогда:

$$L_{\text{эксп}} = \sqrt{130 \cdot 1{,}68} = 14{,}78.$$

Уточнили размеры (14,78→15,0мм).

Т.к. насечки имеют форму квадрата, то по длине очага деформации умещается 5 насечек, тогда:

$$\Delta x = \Delta y = \frac{L_{\text{эксп}}}{5} = 2{,}96.$$

С учетом погрешности, размер насечек составил 3х3 мм. На рисунке 1 показан внешний вид одного из образцов.

Образцы под прокатку были условно разделены на 3 группы, каждая из которых, замаркированная соответствующим образом, задавалась в валки под определенным углом, а именно: 0, 15, 30. Для задачи заготовки в валки было изготовлено устройство, позволяющее менять угол задачи. В соответствии с коэффициентом подобия была рассчитана и величина обжатия, которая составила 2 мм. Таким образом, получилось по 3 образца из каждой группы.

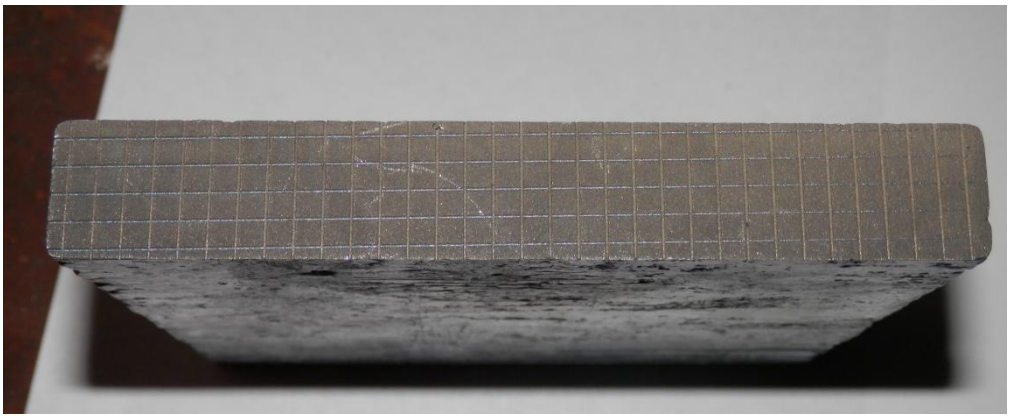


Рис. 1. Внешний вид образцов

По 2 образца из каждой группы прокатали полностью, 1 образец, замаркированный № __.1 прокатали до половины и останавливались на отметке $2h_0$=30мм для получения недоката. Для более подробного анализа процесса, он был заснят на видеокамеру.

В ходе проведенного исследования удалось получить некоторые закономерности. А именно:

1.Чем больше угол задачи полосы в валки, тем больше угол изгиба полосы на выходе из валков. Это наглядно видно на прокатанных образцах.

2. Как видно из рисунка 2, увеличение угла задачи полосы в валки может существенно снизить величину усилия прокатки – в этом случае такая асимметрия может благотворно повлиять на процесс прокатки в целом. Хотя, бесконтрольный процесс может привести к поломке валков.

Рис. 2. Зависимость величины усилия прокатки
от угла задачи полосы в валки

Развивая полученные результаты исследований, можно наметить определенные мероприятия для конкретного технологического процесса с целью устранения причин появления несоответствий в прокатном производстве при условии несимметрии процесса.

Библиографический список

1. Выдрин, А.В. Усилие при существенно несимметричной прокатке листов / А.В. Выдрин, Е.Е. Чванова // Вестник ЮУрГУ. – 2008.
2. Синицын, В.Г. Несимметричная прокатка листов и лент / В.Г. Синицын. – М.: Металлургия, 1984. – 166 с.
3. Грудев, А.П. Теория прокатки / А.П. Грудев. – М.: Металлургия, 1988. – 240 с.
4. Салганик, В.М. Асимметричная тонколистовая прокатка: развитие теории, технологии и новые решения / В.М. Салганик, А.М. Песин. – М.: МИСиС, 1997. – 192 с.
5. Процесс непрерывной прокатки / В.Н. Выдрин, А.С. Федосиенко, В.И. Крайнов и др. – М.: Металлургия, 1970. – 456 с.
6. Кузема, И.Д. Скольжение и опережение при прокатке на стане трио Лаута / И.Д. Кузема // Материалы по теории прокатки, ч.VI. – М.: Металлургиздат, 1960. – С. 30–36.
7. Кузема, И.Д. Условия захвата в станах трио Лаута / И.Д. Кузема // Материалы по теории прокатки, ч.V. – М.: Металлургиздат, 1960. – С. 23–35.
8. Чекмарев, А.П. Изгиб полосы при прокатке в валках неравного диаметра / А.П. Чекмарев, А.А. Нефедов // Материалы по теории прокатки, ч.V. – М.: Металлургиздат, 1960. – С. 356–363.

К содержанию

ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ В г. ЗЛАТОУСТ

УДК 62-135

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА РОТОРНЫХ ИНЕРЦИОННЫХ ВИБРОПРИВОДОВ

С.В. Сергеев, Б.А. Решетников, А.А. Микрюков

Исследована форма траектории движения рабочего органа с использованием кинематических параметров в векторной форме.

Ключевые слова: форма траектории; ротор; матрица преобразования.

Решение задач сложного движения тела, таких как совокупность вращательного и колебательного движения тела вокруг пересекающихся осей, к которым относится процесс обкатывания тарелки ротора по контролеру в роторных инерционных вибропривода [1], можно значительно упростить, используя векторную форму представления кинематических параметров движения, а также матрицы преобразования декартовых координат.

Рассмотрим ротор длинной l, находящийся в состоянии покоя (рис. а). Стержень ротора 1 диаметром d установлен в подшипниковом узле 2. На конце стержня ротора установлена тарелка ротора *3* с плоским основанием ($\psi = 180°$) диаметром $D_р$ и массой $m_р$. Центр тяжести её (точка $O_р$) лежит на продольной оси симметрии ротора на расстоянии $l_р$ относительно основания. Тарелка ротора поджата контртелом 4 с тарированным усилием $P_{ос} > 0$.

Объектом исследования являются параметры движения двух характерных точек ротора: точки T_1, лежащей на оси ротора, и точки T_2, принадлежащей тарелке ротора. При этом точка T_1 является частным случаем точки T_2 ($l_{T2} = l_{T1}$, $r_T = 0$). Следовательно, выявленные зависимости для точки T_2, с некоторыми уточнениями, будут справедливы и для точки T_1.

Исследование кинематических параметров точки T_1 будет полезно при проектировании вибропривода, колебания с которых снимаются непосредственно со стержня ротора, а точки T_1, если тарелка ротора совершает полезную работу или она жестко связана с исполнительным органом вибрационной машины. Для исследований формы траектории движения точек ротора введем подвижную систему координат, центр которой находится в подшипниковом узле. Ось z_1 проходит через проекцию точки T_2 на ось ротора – точку C_T, а ось x_1 – через центр мгновенных скоростей (точка K). При составлении матриц линейного преобразования координат, построении траектории и визуализации движения точек ротора необходимо учитывать, что элементами матрицы являются направляющие косинусы между осями подвижной и неподвижной систем.

В нашем случае подвижная система вращается вокруг оси ротора, то есть матрица обратного преобразования координат в относительном движении является функцией угла поворота ротора вокруг собственной оси – $\varphi_р$:

$$Mr = \begin{pmatrix} \cos\varphi_р & -\sin\varphi_р & 0 \\ \sin\varphi_р & \cos\varphi_р & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Когда ось ротора поворачивается вокруг оси *z* (переносное движение оси ротора), матрица обратного преобразования координат точки C_T является функцией угла φ_K:

$$Me = \begin{pmatrix} \cos & -\sin\varphi_K & 0 \\ \sin\varphi_K & \cos\varphi_K & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Чтобы учесть отклонение оси ротора от оси *z* используем матрицу обратного преобразования координат являющейся функцией угла β:

$$Mo = \begin{pmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{pmatrix}.$$

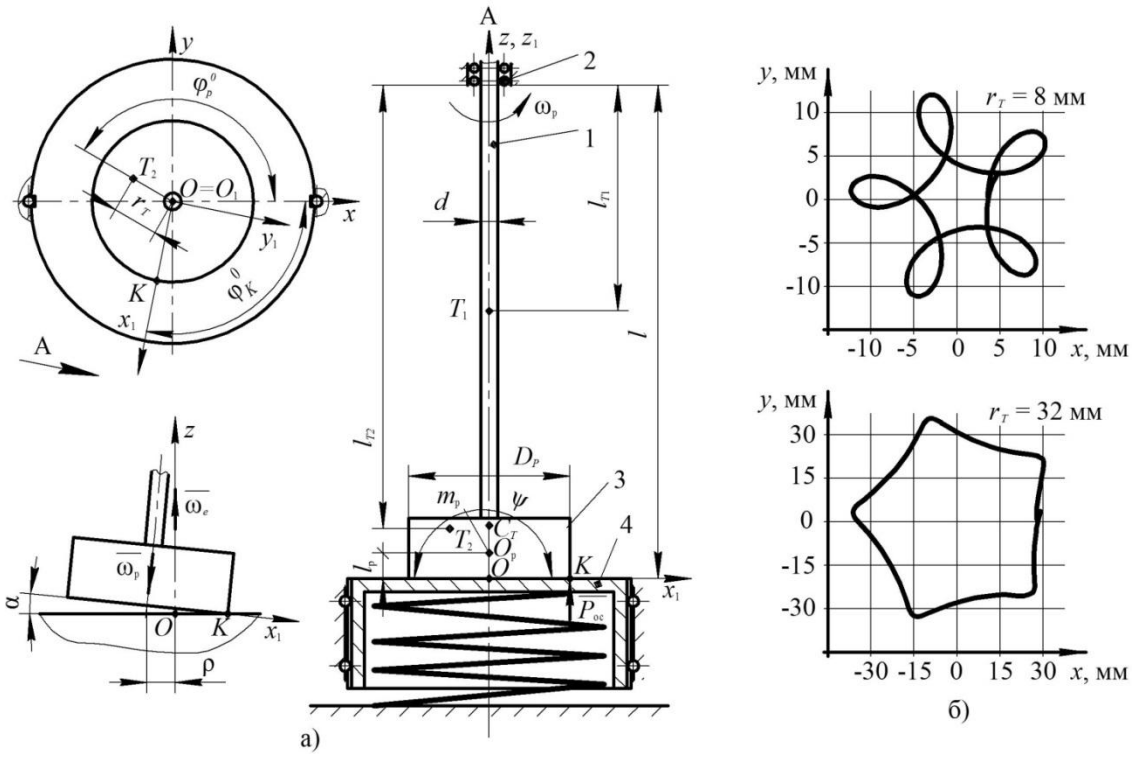
Чтобы осуществить визуализацию движения точек необходимо выполнить преобразование координат точки T_2, выраженных в подвижной системе отсчета связанной с осью ротора в их координаты относительно неподвижной системы отсчета с использованием матриц преобразования координат:

$$\bar{r}_{T2} = Me \cdot Mo \cdot l_{T2} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} + Mr \cdot r_T \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Полученные уравнения можно использовать для построения графиков зависимостей координат точек T_1 и T_2 от времени, а также траектории движения этих точек. Для расчета амплитудно-частотных характеристик колебания ротора разработано *Windows*-приложение в среде программирования *Delphi* основной алгоритм которого основан на методе перебора. В качестве примера рассмотрим движение ротора с параметрами: l = 250 мм, $l_р$ = 5 мм, d = 4 мм, $D_р$ = 40 мм, $m_р$ = 0,4 кг, ψ = 180°, $P_{ос}$ = 8 Н, $\omega_р$ = 100 об/мин.

Форма траектории движения точки T_2 носит сложный характер, который зависит в первую очередь от величины r_T (рис. б). При r_T = 0 точка T_2 в процессе возбуждения ротором колебаний перемещается в плоскости параллельной плоскости *xOy* по круговой траектории радиусом ρ_{T2}. С возрастанием значения r_T траектория приобретает петлеобразный характер. Размер

петель близок к диаметру круговой траектории данной точки. С возрастанием значения r_T размер петель уменьшается. Количество петель за один оборот ротора равно отношению частоты возбуждаемых колебаний ω_e к частоте вращения ротора $\omega_р$. С дальнейшим увеличением значения r_T форма траектории движения точки T_2 возвращается к круговой. При значении $r_T \approx 0{,}5D_р$, размер петель сходит на нет. Также было замечено, что при $r_T \approx 1{,}5D_р$ и кратном отношении частоты возбуждаемых колебаний ω_e к частоте вращения ротора $\omega_р$ форма траектории близка к правильному многоугольнику.



Исследование формы траектории движения точки T_2 (l_{T2} = 230 мм):
а) роторный инерционный вибропривод (ψ = 180°); 1 – стержень ротора, 2 – подшипниковый узел, 3 – тарелка ротора, 4 – контртело;
б) примеры форм траектории движения точки T_2

Таким образом, решение задачи исследования процесса возбуждения колебаний роторным инерционным виброприводом посредством представления кинематических параметров в векторной форме позволило наглядно представить положение ротора в определенный момент времени и траекторию движения заданных точек ротора.

Библиографический список

1. Сергеев, С.В. Вибрационные роторные приводы машин: монография / С.В. Сергеев, Б.А. Решетников, Р.Г. Закиров. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 133 с.

К содержанию

УДК 621.91.02

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ СВЕРЛА С МНОГОГРАННЫМИ НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫМИ ПЛАСТИНКАМИ

И.П. Дерябин, С.Ю. Головачёв

В результате теоретических исследования разработана методика расчета жесткости сверл с многогранными неперетачиваемыми пластинами (МНП) с применением теории сопротивления материалов и в программной среде Solid Works Simulation. Проведена проверка адекватности теоретических результатов с экспериментальными исследованиями, показавшая, что погрешность расчетных значений не превышает 14 %.

Ключевые слова: сверло с МНП; жёсткость твердых тел, расчеты в среде Solid Works Simulation.

При расчете точности обработки отверстий сверлами с многогранными неперетачиваемыми пластинами (МНП) необходимо определить жесткость сверла [1].

Определим жёсткость сверла с МНП, имеющего прямые стружечные канавки.

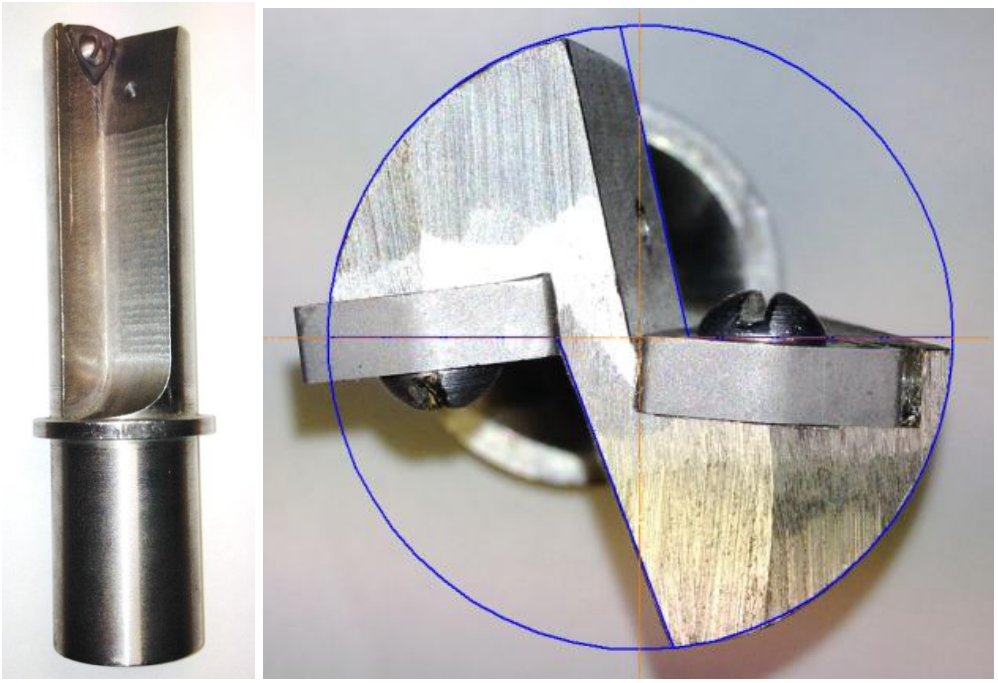


Рис. 1. Сверло с прямыми стружечными канавками

Зная формулу жесткости спирального сверла [2]:

$$j_{св.спир.} = \frac{0,033 \cdot D^4 \cdot E}{L^3}, \quad (1)$$

можно предположить, что формула жёсткости сверла с МНП будет иметь схожий вид. Расчёт на жёсткость будем проводить как для консольно – закреплённой балки:

$$j = \mathrm{I}_p \cdot G, \tag{2}$$

где I_p – полярный момент инерции круглого сечения;

G – модуль упругости 2 рода.

$$G = \frac{E}{2} \cdot (1 + m), \tag{3}$$

где E – модуль Юнга, m – коэффициент Пуассона.

$$j_{св.МНП} = \frac{C}{L^3} = \frac{\mathrm{I}_p \cdot G}{L^3} = \frac{\mathrm{I}_p \cdot \left(0{,}5E \cdot (1+m)\right)}{L^3}. \tag{4}$$

Коэффициент Пуассона для сталей: m ≈ 0,3, таким образом, формула жёсткости сверла с МНП будет иметь вид:

$$j_{св.МНП} \approx \frac{0{,}7 \cdot \mathrm{I}_p \cdot E}{L^3} \tag{5}$$

Определим полярный момент инерции поперечного сечения сверла.

Поперечное сечение сверла разбивается на 4 элемента (рис. 2), полярный момент инерции сечения определяется как сумма полярных моментов инерции всех элементов.

$$\mathrm{I}_p = \mathrm{I}_{p_1} + \mathrm{I}_{p_2} + \mathrm{I}_{p_3} + \mathrm{I}_{p_4}. \tag{6}$$

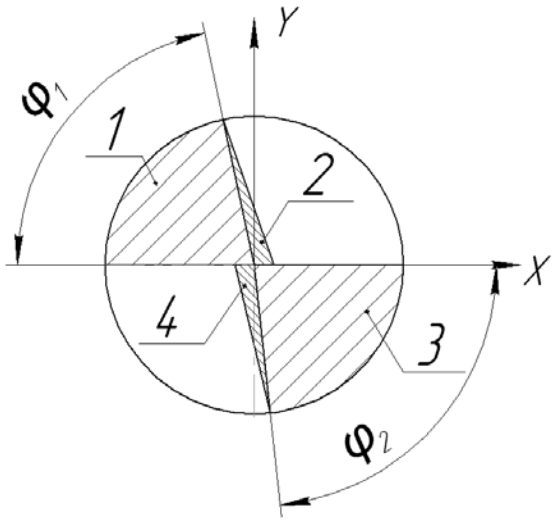


Рис. 2. Схема разбивки поперечного сечения сверла на элементы

Для элементов 1 и 3, рассматриваемых в полярной системе координат, полярный момент инерции равен:

$$\mathrm{I}_p = \int_F \rho^2 dF \,. \tag{7}$$

Для элемента 2 и 4 полярный момент инерции:

$$\mathrm{I}_{p_2} = \mathrm{I}_X^{(2)} + \mathrm{I}_Y^{(2)} \,. \tag{8}$$

Сделав необходимые вычисления, получаем, что полярный момент инерции сверла будет равен:

$$\mathrm{I}_p = \frac{\varphi_1 \cdot r^4}{4} + \left(\frac{a \cdot \left(r \cdot \cos\beta\right)^3}{12} + \frac{a \cdot (a^3 + r^3 \cdot \sin^3\beta)}{12 \cdot tg\alpha} \right) + \frac{\varphi_2 \cdot r^4}{4} + \left(\frac{a \cdot \left(r \cdot \cos\beta_1\right)^3}{12} + \frac{a \cdot (a^3 + r^3 \cdot \sin^3\beta_1)}{12 \cdot tg\alpha_1} \right) \tag{9}$$

$$\mathrm{I}_p = \frac{\varphi_1 \cdot r^4}{4} + \frac{\varphi_2 \cdot r^4}{4} + \frac{a \cdot r^3 \cdot \cos^3\beta}{12} + \frac{a^4 + a \cdot r^3 \cdot \sin^3\beta}{12 \cdot tg\alpha} + \frac{a \cdot r^3 \cdot \cos^3\beta_1}{12} + \frac{a^4 + a \cdot r^3 \cdot \sin^3\beta_1}{12 \cdot tg\alpha_1} \,. \tag{10}$$

Введем упрощение:

$$a \approx a_1 \approx a_2 \qquad \beta \approx \beta_1$$
$$a = r \cdot \sin\beta \qquad \alpha \approx \alpha_1$$

Тогда:

$$\mathrm{I}_p = D^4 \cdot \left(\frac{\varphi_1}{8} + \frac{\varphi_2}{8} + \frac{\sin\beta \cdot \cos^3\beta}{12} + \frac{\sin^4\beta}{6 \cdot tg\alpha} \right). \tag{11}$$

По измерениям в среде КОМПАС-3D, определяем что:

$$\varphi_1 \approx 1{,}3$$
$$\varphi_2 \approx 1{,}5$$
$$\beta \approx 5^0 - 10^0$$
$$\alpha \approx 10^0 - 15^0$$
$$\sin\beta \approx 0{,}1305$$
$$\cos\beta \approx 0{,}9914$$
$$tg\alpha \approx 0{,}2679$$

Тогда полярный момент инерции сечения будет равен:

$$\mathrm{I}_p \approx D^4 \cdot 0{,}036 \,. \tag{12}$$

Подставим полученное уравнение (12) в (5) и получим конечную формулу жёсткости сверла, которая будет иметь вид:

$$j_{св.МНП} \approx \frac{0{,}252 \cdot D^4 \cdot E}{L^3} \,. \tag{13}$$

Аналогичным способом определим жёсткость сверла с МНП, имеющего винтовые стружечные канавки фирмы Sumitomo WDX (рис. 3).

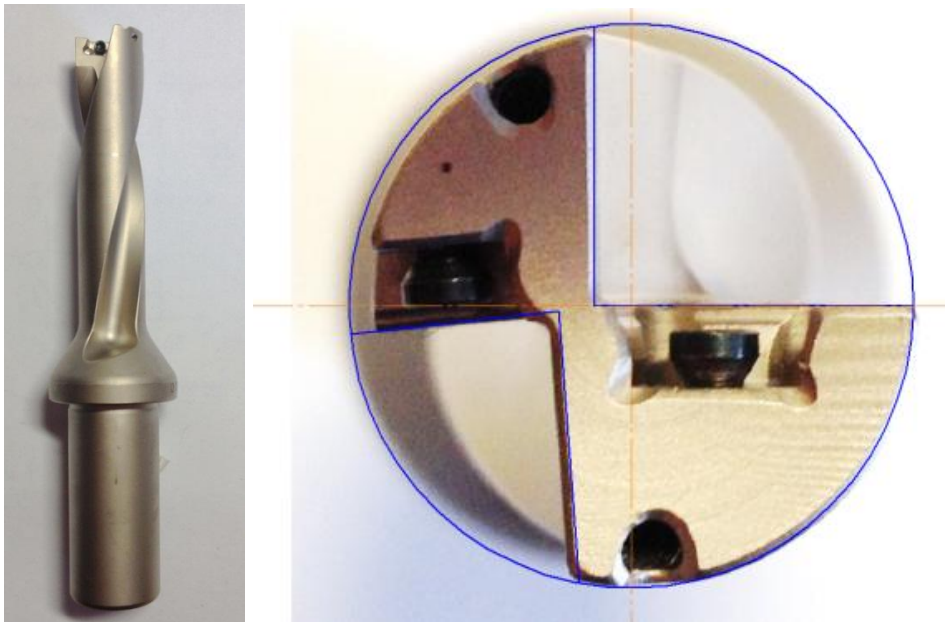


Рис. 3. Сверло с винтовыми стружечными канавками

Расчёты будем проводить аналогично как и для сверла с прямыми стружечными канавками. Сначала определим полярный момент инерции поперечного сечения сверла.

Сечение разбивается на 3 элемента (рис. 4), полярный момент инерции сечения определяется как сумма полярных моментов всех элементов:

$$\mathrm{I}_p = \mathrm{I}_{p_1} + \mathrm{I}_{p_2} + \mathrm{I}_{p_3}. \qquad (14)$$

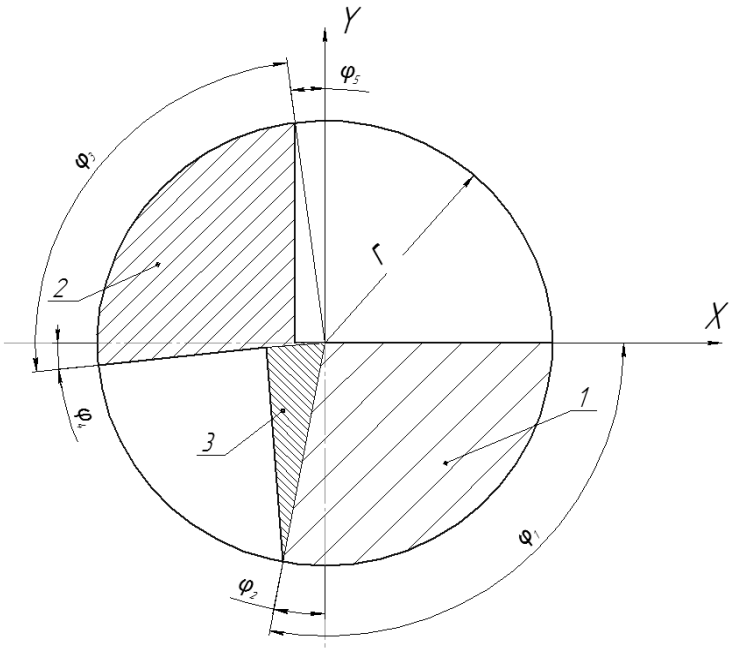


Рис. 4. Схема разбивки поперечного сечения сверла на элементы

Найдем полярный момент сечения:

$$\mathrm{I}_p = D^4 \cdot \left[\frac{\varphi_1}{4} - \frac{\sin\varphi_5 \cdot \cos^3\varphi_5 + \sin(\varphi_3+\varphi_4)\cdot\cos^3(\varphi_3+\varphi_4)}{24} + \frac{\cos(\varphi_3+\varphi_4)\cdot\sin^3(\varphi_3+\varphi_4) + \cos\varphi_5 \cdot \sin^3\varphi_5}{8} \right] \quad (15)$$

По измерениям в среде КОМПАС-3D, определяем что:

$$\sin\varphi_5 \approx 0{,}1219$$
$$\cos\varphi_5 \approx 0{,}9925$$
$$\sin(\varphi_3+\varphi_4) \approx 0{,}9961$$
$$\cos(\varphi_3+\varphi_4) \approx -0{,}0871.$$

Тогда полярный момент инерции сечения будет равен:

$$\mathrm{I}_p \approx D^4 \cdot 0{,}034. \quad (16)$$

Подставим полученное уравнение (16) в (5) и получим конечную формулу жёсткости сверла, которая будет иметь вид:

$$j_{св.МНП} \approx \frac{0{,}238 \cdot D^4 \cdot E}{L^3}. \quad (17)$$

Для проверки адекватности полученных уравнений (13) и (17) была разработана следующая экспериментальная установка (рис. 5).

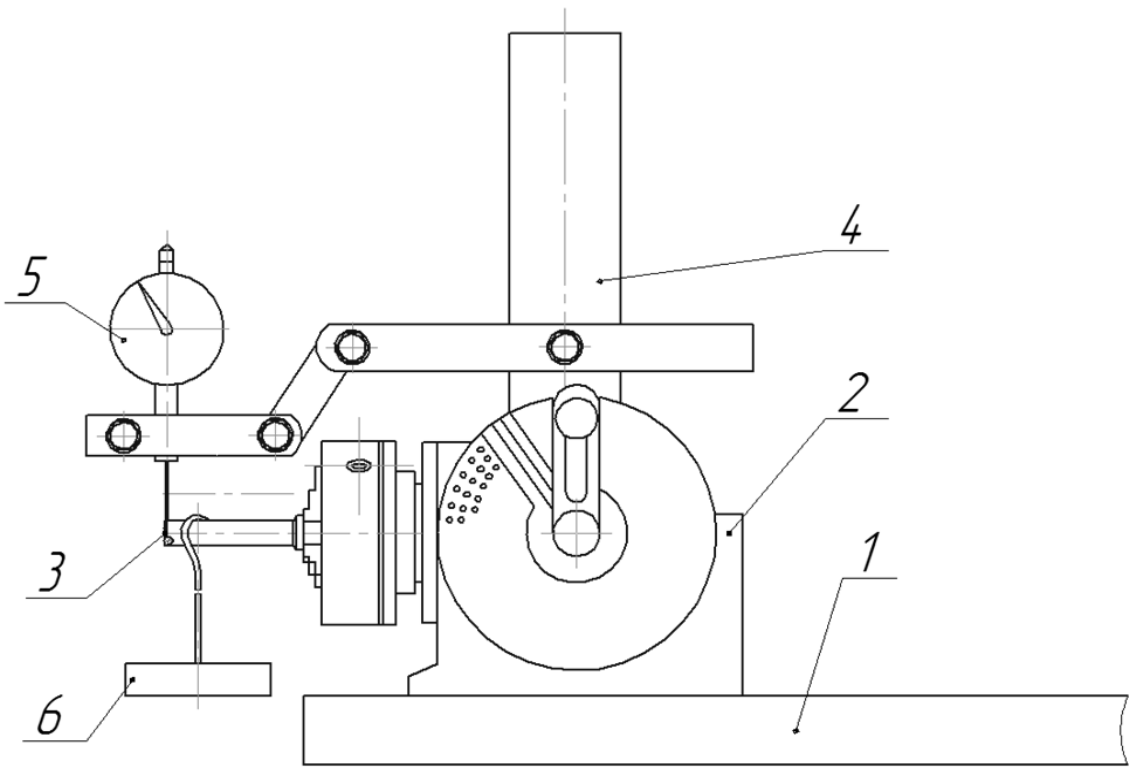


Рис. 5. Схема экспериментальной установки

На столе фрезерного станка (1), была закреплена универсальная делительная головка УДГ Д-160 по ГОСТ 8615-89 (2), в которую было закреплено сверло фирмы Sumitomo WDX 150D2S20 (3), на стол станка так же была установлена стойка ГОСТ 10197-70 (4) с индикатором часового типа ИЧ 10 кл. 1 по ГОСТ 577-68 (5). На край сверла поочерёдно подвешивались грузы (6).

Было проведено 4 измерения с поворотом сверла на 90°, и получены следующие результаты:

Таблица 1

Результаты практических измерений

№	Нагрузка P, кг	Отклонение Δx, мм	Жёсткость, j кг/мм
1	5	0,05	100
	6	0,06	100
	10	0,14	71,429
2	5	0,04	125
	6	0,05	120
	10	0,10	100
3	5	0,06	83,333
	6	0,08	75
	10	0,12	83,333
4	5	0,04	125
	6	0,05	120
	10	0,10	100

Жёсткость сверла определялась по следующей формуле:

$$j = \frac{P}{\Delta x} \tag{18}$$

Таким образом, среднее арифметическое значения жёсткости сверла Sumitomo диаметром 15 мм и длиной 60 мм будет равно: $j_Э \approx 100,2579$, теоретическое значение вычислим по формуле (17), подставив значение диаметра и длину сверла:

$$j_T = \frac{0,238 \cdot 15^4 \cdot 2,6 \cdot 10^5}{60^3} = 114,909 .$$

Для определения адекватности теоретически полученных и экспериментальных данных воспользуемся формулой (19):

$$\Delta j = \frac{|j_T - j_Э|}{j_Э} \cdot 100\% . \tag{19}$$

И получим погрешность: $\Delta j \approx 14\%$, что можно считать допустимым отклонением.

Рассмотрим расчет жесткости сверла в среде Solid Works Simulation [3]. Сначала построим сверло с МНП (рис. 6), затем в модуле Simulation проведем анализ на жесткость (рис. 7).

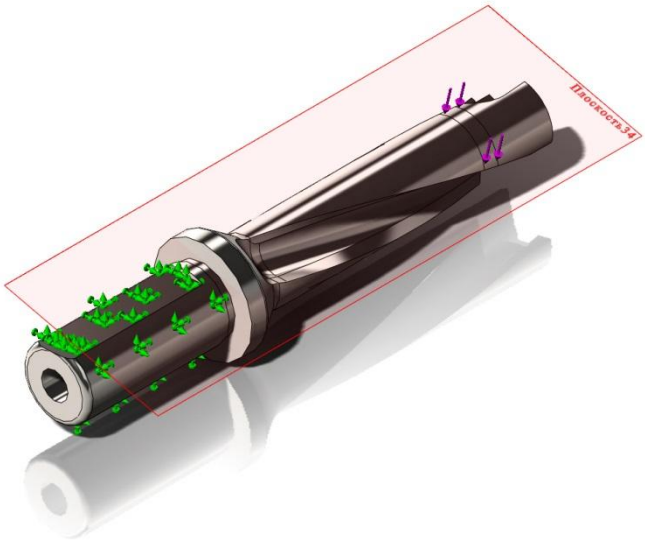


Рис. 6. Фиксация и нагрузка на сверло

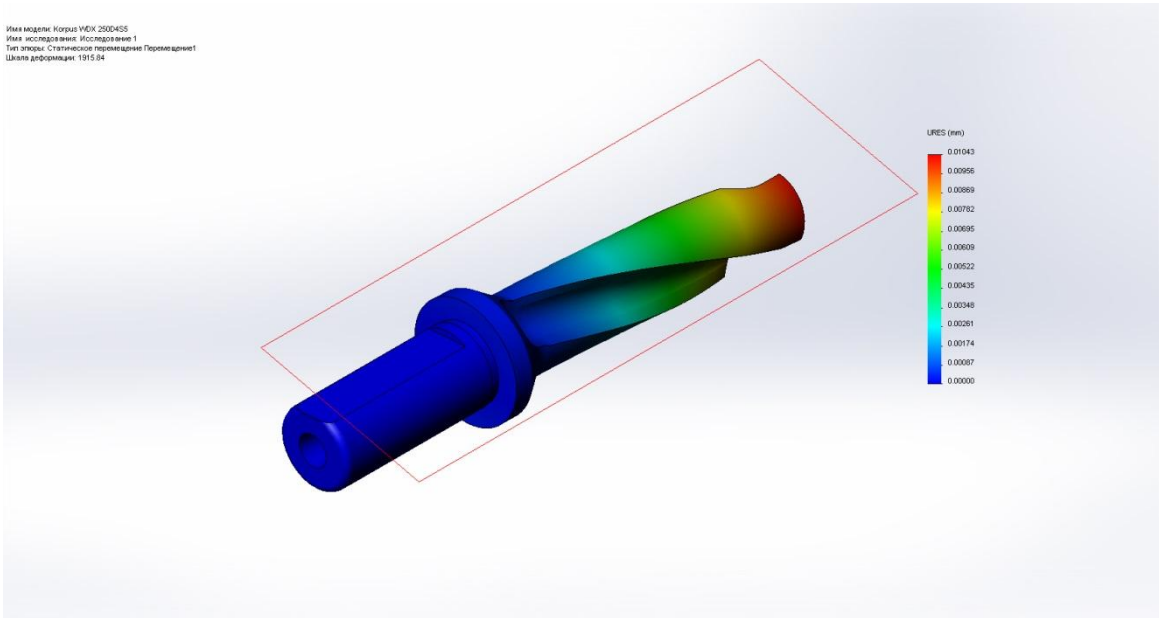


Рис. 7. Исследование на изгиб

На хвостовик сверла накладываем жёсткую фиксацию, на конец сверла прикладываем нагрузку в 50Н, 60Н и 100Н.

Было проведено 4 измерения с поворотом сверла на 90°, и получены следующие результаты:

Таблица 2

Результаты измерений в модуле Solid Work Simulation

№	Нагрузка P, кг	Отклонение Δx, мм	Жёсткость j, кг/мм
1	5	0,0103	485,437
	6	0,0124	483,870
	10	0,0206	485,437
2	5	0,0212	235,850
	6	0,0254	236,220
	10	0,0424	235,850
3	5	0,0104	480,769
	6	0,0125	480
	10	0,0209	478,468
4	5	0,0215	232,558
	6	0,0257	233,463
	10	0,0430	232,558

Таким образом, среднее арифметическое значение жёсткости сверла Sumitomo диаметром 25 мм и длиной 177 мм составляет $j_Э \approx 358,369$,

теоретическое значение вычислим по формуле (17), подставив значение диаметра и длину сверла:

$$j_T = \frac{0,238 \cdot 25^4 \cdot 2,6 \cdot 10^5}{177^3} = 359,017 .$$

Погрешность теоретического значения и полученного в среде Solid Work составляет $\Delta j = 0,18$ %.

Разработанная методика расчета жесткости сверл с МНП позволяет определять жесткость по полученным уравнениям и в среде Solid Works. Погрешность расчетных значений не превышает 14 %.

Библиографический список

1. Дерябин, И.П. Особенности формообразования отверстий свёрлами с МНП / И.П. Дерябин, С.Ю. Головачёв // Вестник УГАТУ. Серия «Математическое моделирование и программирование». – 2014. – Т. 18, № 2(63). – С. 36–40.

2. САПР в технологии машиностроения: учебное пособие / В.Г. Митрофанов, О.Н. Калачёв, А.Г. Схиртладзе и др. – Ярославль: Яросл. гос. техн. ун-т, 1995. – 298 с.

3.Алямовский, А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с.

К содержанию

УДК 621.9.015

МОДЕЛИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ ДВУХЛЕЗВИЙНЫМИ КОНЦЕВЫМИ МЕРНЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

С.П. Пестов

Предложены модели точности формообразования отверстий двухлезвийными концевыми мерными инструментами типа спиральных, перовых и т.п. свёрл в виде уравнений, учитывающих формирование отверстия режущими лезвиями, которые срезают переменные площади в зависимости от их реальной геометрии, предшествующих положений лезвий, осевых биений шпинделя и жесткости элементов технологической системы.

Ключевые слова: модели; точность, формообразование; отверстия; концевые мерные инструменты; двухлезвийные инструменты; свёрла.

Ранее в работе [1] отмечалось, что процесс формообразования отверстий концевыми мерными инструментами целесообразно исследовать с помощью системы частных моделей точности для отдельных переходов, основанных на общем научно-методическом подходе к моделированию. Этот подход базируется на разработке математических моделей в виде уравнений с запаздывающим аргументом и учётом условия обеспечения точности концевыми мерными инструментами – копирования размера инструмента на обрабатываемое отверстие.

Для целей моделирования точности формообразования отверстий концевыми мерными инструментами на станках с ЧПУ в работе [2] была предложена структура системы частных математических моделей. Согласно этой структуре, в зависимости от применяемого режущего инструмента и вида обработки, модели подразделяются на группы. Площади слоев, срезаемых режущими лезвиями, а следовательно, и силы резания, как будет показано ниже, существенно зависят от соотношения подачи на зуб инструмента S/z и осевого сдвига лезвий или осевого биения режущих лезвий инструмента τ. Исходя из этого, модели каждой группы подразделяются на следующие подгруппы:

– с относительно большими подачами, когда $S \geq \tau z$ (z – число лезвий или зубьев режущего инструмента);

– с относительно малыми подачами, когда $S < \tau z$.

С учётом принятого подхода рассмотрим модели формообразования при черновой обработки отверстий в сплошном материале (модели сверления двухлезвийными свёрлами) или модели группы А (модели А1, А2).

Расчётные схемы моделей А1 и А2 приведены соответственно на рис. 1 и 2. Эти схемы одинаково применимы для любых двухлезвийных сверл, независимо от типа сверла (спиральное, перовое и т.п.).

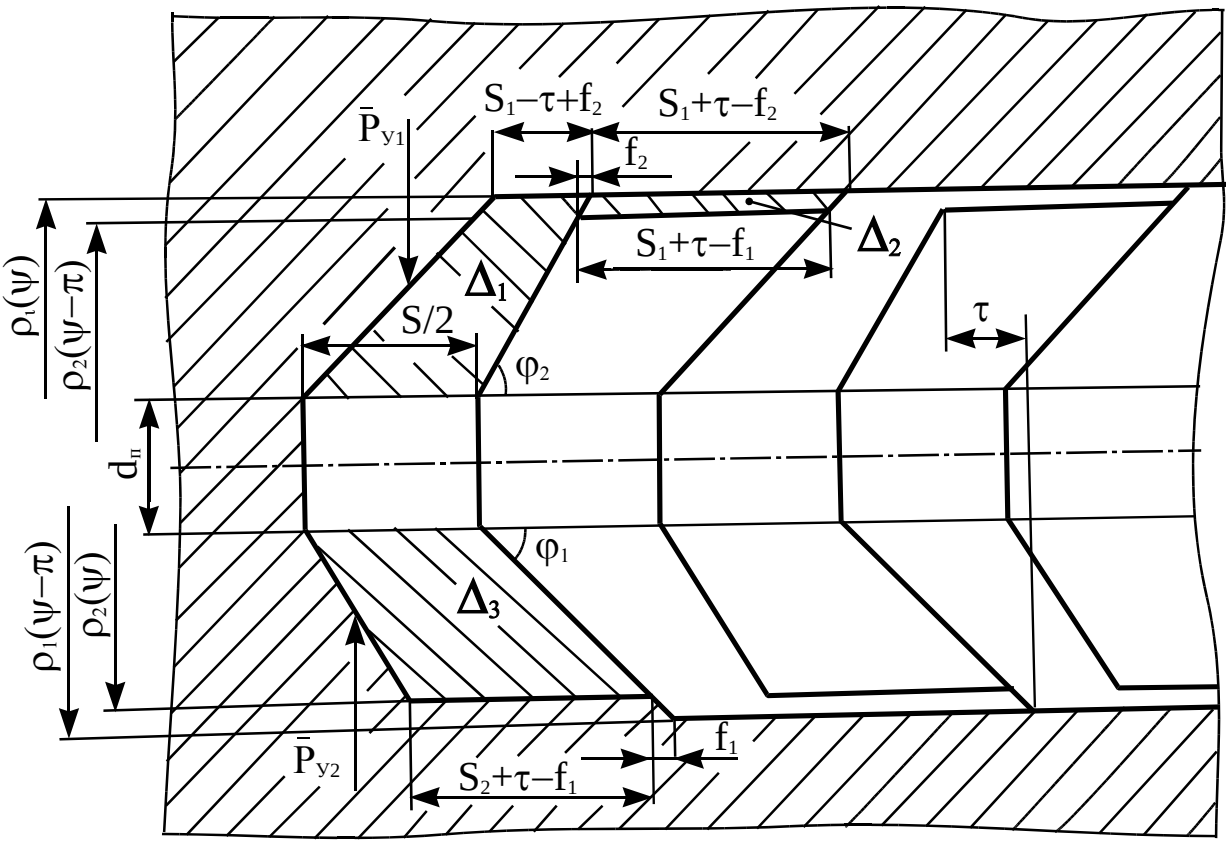


Рис. 1. Расчётная схема формообразования отверстий двухлезвийными сверлами в сплошном металле с относительно большими подачами $S \geq 2\tau$ (модель А1)

Обозначив текущие радиус-векторы вершин каждого режущего лезвия рассматриваемых двухлезвийных инструментов как $\rho_1(\psi)$ и $\rho_2(\psi)$, где ψ – текущий угол поворота режущего инструмента от начала обработки, можно с помощью этих радиус-векторов описать положение каждого режущего лезвия в любой момент времени. При движении двухлезвийного инструмента с осевой подачей S каждое лезвие снимает суммарные площади среза $\Delta_{(1)} = \Delta_1 + \Delta_2$ и $\Delta_{(2)} = \Delta_3$.

Тогда модель формообразования отверстия двухлезвийным концевым мерным инструментом при сверлении описывается системой:

$$\begin{cases} \left| K_2\Delta_{(2)} - K_1\Delta_{(1)} \right| = J\delta(\psi), \\ \rho_1(\psi) = \dfrac{D_u}{2} + \delta(\psi), \\ \rho_2(\psi) = \dfrac{D_u}{2} - \delta(\psi), \end{cases} \qquad (1)$$

где $\rho_1(\psi)$ и $\rho_2(\psi)$ – радиус-вектора текущего положения вершин соответственно первого и второго лезвия; ψ – текущий угол поворота инструмен-

та; $\Delta_{(1)}$ и $\Delta_{(2)}$ – суммарные площади срезаемого слоя соответственно первым и вторым лезвиями; D_u – диаметр режущего инструмента; K_1 и K_2 – коэффициенты пропорциональности сил резания площадям срезаемых слоев соответственно первым и вторым лезвиям; $\delta(\psi)$ – смещение оси инструмента при формообразовании; J – радиальная жесткость инструмента (в общем случае – жесткость элементов технологической системы).

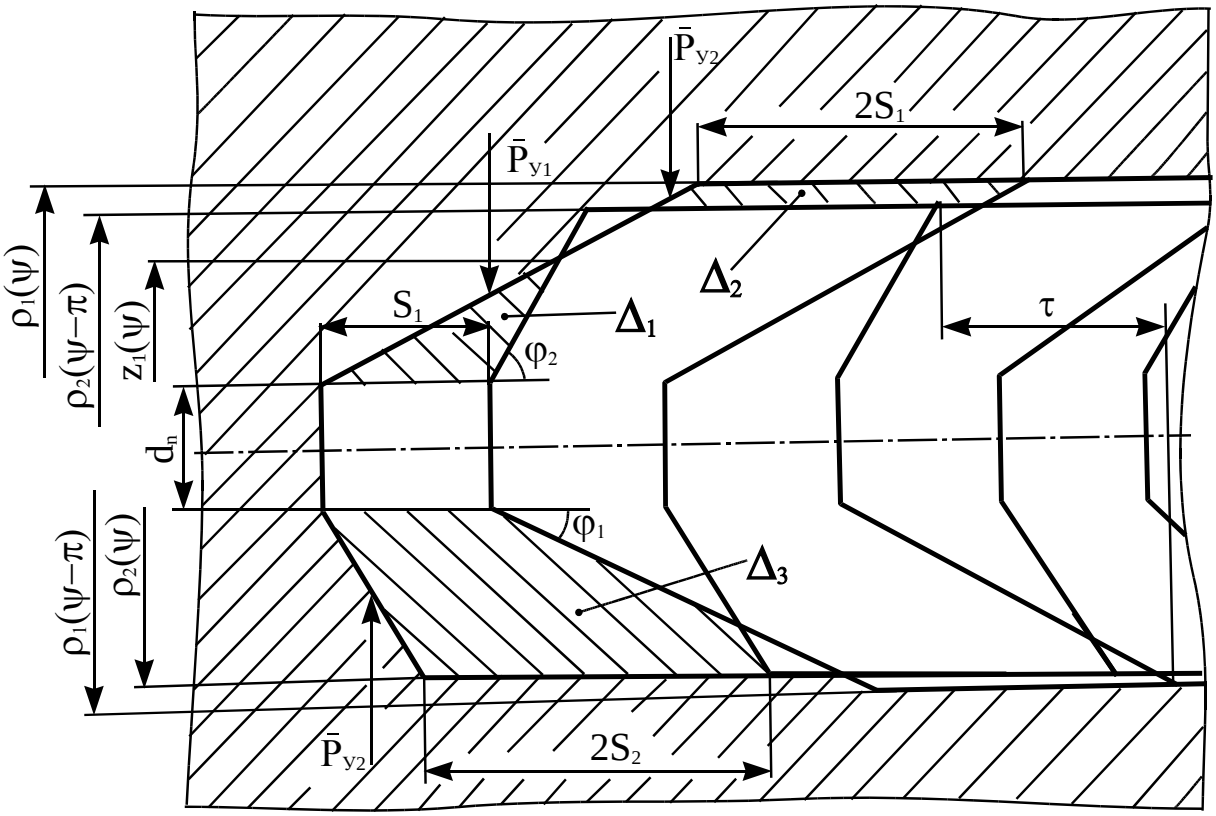


Рис. 2. Расчётная схема формообразования отверстий двухлезвийными сверлами в сплошном металле с относительно малыми подачами S < 2τ (модель А2)

Первое уравнение системы (1) учитывает равновесие инструмента в процессе обработки под действием радиальных сил, действующих на каждое лезвие и сил упругости инструмента $J\delta(\psi)$ или сил упругости элементов технологической системы.

Далее подробно рассмотрим вычисление площадей срезаемых слоёв для различных моделей, т.к. параметры площадей, при данном подходе к моделированию, являются определяющими. Из-за различия площадей срезов на этапе врезания заборным конусом инструмента и на этапе дальнейшей обработки следует выделить соответственно два случая:

а) врезание инструмента на длине заборного конуса;

б) последующая обработка после врезания заборного конуса (установившийся процесс резания).

Определим сначала площади срезаемых слоёв при врезании заборного конуса инструмента в металл при $\psi < 360°$.

Для двухлезвийных свёрл с относительно большими подачами $S \geq 2\tau$ (см. рис. 1):

$$\Delta_{(1)} = \left(S_1 - \frac{\tau}{2} \right) \left(\rho_1(\psi) - \frac{d_n}{2} \right),$$

$$\Delta_{(2)} = \left(S_2 + \frac{\tau}{2} \right) \left(\rho_2(\psi) - \frac{d_n}{2} \right),$$

где S_1 и S_2 – подачи на зуб с учетом осевых биений шпинделя (рассмотрено ниже), определяющие толщины срезаемых слоев; τ – осевое биение режущих лезвий; d_n – диаметр перемычки ($d_n \approx 0{,}13\, D_u$); $\rho_1(\psi), \rho_2(\psi)$ – радиус-векторы вершин соответственно первого и второго лезвий.

Для двухлезвийных свёрл с относительно малыми подачами $S < 2\tau$ (см. рис. 2)

$$\Delta_{(1)} = \left(z_1 - \frac{d_n}{2} \right) \frac{S_1}{2},$$

$$\Delta_{(2)} = 2S_2 \left(\rho_2(\psi) - \frac{d_n}{2} \right) - \Delta_1(\psi - \pi),$$

где z_1 – радиус-вектор вершины первого срезаемого слоя.

Определим далее площади срезаемых слоёв после врезания заборного конуса инструмента в металл при $\psi > 360°$ (установившийся процесс).

Для двухлезвийных свёрл с относительно большими подачами (см. рис. 1):

$$\Delta_{(1)} = \Delta_1 + \Delta_2 = \left(\rho_1(\psi) - \frac{d_n}{2} \right) \left(S_1 + \frac{f_2 - \tau}{2} \right) +$$

$$+ \left(\rho_1(\psi) - \rho_2(\psi - \pi) \right) \left(S_1 + \tau - \frac{f_1 + f_2}{2} \right),$$

$$\Delta_{(2)} = \Delta_3 = \left(\rho_2(\psi) - \frac{d_n}{2} \right) \left(S_2 + \frac{\tau - f_1}{2} \right),$$

где параметры:

$$f_1 = \frac{\rho_1(\psi - \pi) - \rho_2(\psi)}{tg\varphi_1},$$

$$f_2 = \frac{\rho_1(\psi) - \rho_2(\psi - \pi)}{tg\varphi_2}.$$

Для двухлезвийных свёрл с относительно малыми подачами (см. рис. 2):

$$\Delta_{(1)} = \Delta_1 + \Delta_2 = \left(z_1 - \frac{d_n}{2} \right) \frac{S_1}{2} + 2S_1\left(\rho_1(\psi) - \rho_2(\psi - \pi)\right),$$

$$\Delta_{(2)} = \Delta_3 = 2S_2 \left(\rho_2(\psi) - \frac{d_n}{2} \right) - \Delta_1(\psi - \pi),$$

где:

$$z_1 = \frac{S_1}{2(ctg\varphi_1 - ctg\varphi_2)} + \frac{d_n}{2} = \frac{S_1 (D_u - d_n)}{4\tau} + \frac{d_n}{2}.$$

Обработка отверстий концевыми мерными инструментами сопровождается осевыми биениями шпинделя металлорежущего станка. Осевые биения шпинделя станка вызваны перекосом его опорных подшипников, не зависят от подачи механизма станка и определяются конкретной моделью станка. При учёте осевых биений шпинделя подача на зуб режущего инструмента, т.е. толщина срезаемого слоя изменяется, что приводит к изменению площадей срезаемых слоев. Проанализируем влияние осевых биений шпинделя на подачу для двухлезвийного инструмента.

Пусть подача $S_1(\psi)$ для первого лезвия инструмента:

$$S_1(\psi) = \frac{S}{2} + \frac{O_S}{2}(\cos(n\psi)),$$

где S – номинальная осевая подача механизмом станка; O_S – амплитуда осевого биения шпинделя станка; n – число осевых биений за один оборот шпинделя.

Тогда подача для второго лезвия $S_2(\psi)$:

$$S_2(\psi) = \frac{S}{2} + \frac{O_S}{2}(\cos(n(\psi + \pi))),$$

где π – угол между лезвиями.

Если подача $S_1(\psi) < 0$, то $S_1(\psi) = 0$, т.е. первое лезвие не режет, так как второе лезвие уже срезало его припуск. Если же $S_2(\psi) < 0$, то $S_2(\psi) = 0$, т.е. второе лезвие не режет, так как первое лезвие уже срезало припуск. Таким образом, для инструмента должно выполняться условие:

$$S_1(\psi) + S_2(\psi - \pi) = S.$$

При компьютерном решении предлагаемых уравнений моделей формообразования отверстий двухлезвийными концевыми мерными инструментами необходимо определить радиус-векторы вершин лезвий. Нормируемые параметры точности отверстий (позиционное отклонение, отклонение от перпендикулярности, отклонение от круглости) определяются из числового массива координат точек профиля отверстия, формируемых радиус-

векторами ρ_i вершин лезвий инструмента в любом продольном и поперечном сечениях. Методика оценки нормируемых параметров точности отверстий при компьютерном моделировании этапа формообразования описана в работе [3].

В соответствии с этой методикой, например, оценку позиционных отклонений оси отверстия производят на стадии врезания режущего инструмента, а за номинальное положение оси принимают наладочное положение оси шпинделя. В этом случае в расчётах используются только площади, срезаемые заборным конусом инструмента, причём, позиционное отклонение вычисляется на последнем повороте при его полном врезании. По физическому смыслу позиционное отклонение определяют начальное смещение оси отверстия. Если разделить оборот (в 360°) при вращении сверла (число лезвий $z=2$) на равные углы $\Delta\psi$, например, на $\Delta\psi=1°$, то можно определить массив радиус-векторов ρ_i' отверстия, формируемых каждым лезвием инструмента на последнем обороте при его врезании:

$$\left\{\rho_i'\left[\psi-\pi(i-1)\right],\ i=\overline{1,2},\ \psi=\overline{1°,360°}\right\}.$$

Далее учитывая функцию копирования концевых мерных инструментов при обработке, из массива находятся наибольшие радиус-вектора ρ_0' для углов поворота 0° и 180° (по координате X); 90° и 270° (по координате Y) каждого лезвия, т.е., соответственно, $\rho_0'(0°), \rho_0'(180°), \rho_0'(90°), \rho_0'(270°)$. Тогда позиционное отклонение $x_\oplus$, $y_\oplus$ по координатным осям можно определить следующим образом:

$$\begin{cases} x_\oplus = \dfrac{\rho_0'(0°)+\rho_0'(180°)-D_u}{2}, \\ y_\oplus = \dfrac{\rho_0'(90°)+\rho_0'(270°)-D_u}{2}, \end{cases}$$

где D_u – диаметр инструмента.

Полное позиционное отклонение $\Delta_\oplus'$ вычисляется по формуле:

$$\Delta_\oplus' = 2\sqrt{x_\oplus^2+y_\oplus^2}\ .$$

Разработанные математические модели формообразования для двухлезвийных концевых мерных инструментов позволяют учесть влияние подачи, осевых биений шпинделя, параметров заточки режущих лезвий инструментов, жесткости элементов технологической системы на обеспечение точности отверстий и могут быть использованы, например, в CAM/CAPP-системах.

Библиографический список

1. Пестов, С.П. Особенности моделирования обработки отверстий на станках с ЧПУ / С.П. Пестов // Наука ЮУрГУ: материалы 66-й научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. 2014. – С. 1483–1486.

2. Пестов, С.П. Система математических моделей формообразования отверстий концевыми мерными инструментами на станках с ЧПУ / С.П. Пестов, О.О. Беляев, П.Г. Мазеин // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. - 2003. – № 4 (21). – С. 83–87.

3. Пестов, С.П. Оценка нормируемых параметров точности отверстий при компьютерном моделировании на этапе формообразования / С.П. Пестов // Информатизация и автоматизация в машиностроении: тематический сб. науч. тр. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – С. 66–70.

К содержанию

УДК 621.91.02

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОДТОЧКИ ПЕРЕМЫЧКИ СПИРАЛЬНЫХ СВЕРЛ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

И.П. Дерябин, С.И. Павлючук, С.В. Чернышев

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния подточки перемычки по передней поверхности спирального сверла на точность диаметрального размера, формы и расположения оси отверстия. Показано, что подточка перемычки снижает погрешности диаметра на 25 %, формы на 55 % и расположения оси отверстия на 43 %.

Ключевые слова: спиральное сверло, подточка перемычки, точность обработки отверстий.

Основным недостатком конструкции спирального сверла является неблагоприятная геометрия его режущей части, которая выражается в изменении геометрических параметров по длине режущих кромок, что приводит к чрезвычайно интенсивному изменению сил резания в процессе обработки отверстий. Одной из особенностей конструкции спирального сверла является наличие поперечной режущей кромки (перемычки), на которой резания не происходит, а в центре, где проходит ось сверла, скорость резания равна нулю. В современной научной литературе очень много написано о влиянии поперечной режущей кромки на силы резания и стойкость инструмента, приводятся различные формы её подточки, однако влияние этих мероприятий на точность обработки отверстий и, в особенности, на увод

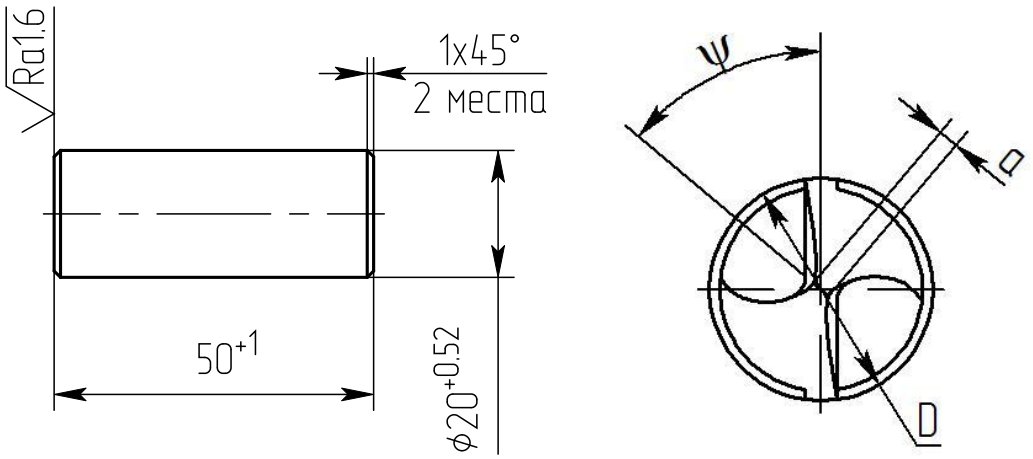
оси очень мало изучены. Поэтому выявление степени влияния перемычки спирального сверла на точность получаемых при сверлении отверстий является актуальной задачей в настоящее время. Практика применения спиральных сверл показывает, что при разных сочетаниях одних и тех же параметров геометрии режущей части инструмента, режимов обработки, параметров оборудования, вида технологической оснастки и др., погрешность обработки может различаться очень существенно. Следовательно, необходимо не столько определить оптимальные параметры обработки, сколько их оптимальное сочетание для достижения заданной точности [1].

Для оценки влияния подточки перемычки на точность обработки отверстий были проведены экспериментальные исследования. В экспериментах участвовали сверла с подточкой перемычки и без подточки.

Было обработано 40 деталей из материала сталь 40ХА. Длина детали 50 мм (рис. 1а), отверстие сверлилось на всю длину детали. Сверло: материал режущей части – быстрорежущая сталь Р6М5, диаметр – 8 мм. 20 деталей обработано сверлом с подточкой перемычки и 20 без подточки. Режимы резания: скорость резания V=10 м/мин, подача 0,1 мм/об.

Сверла были заточены одинаково. На первом сверле подточка перемычки не выполнялась, на втором подточка перемычки была выполнена по передней поверхности (рис. 1б). Геометрические параметры сверл приведены в таблице 1.

Измерения разбивки (разность между диаметрами инструмента и обработанного отверстия), отклонения от круглости и отклонения от прямолинейности проводились на координатно-измерительной машине (КИМ) «Global activ» фирмы «Brown&Sharpe». Замер диаметра производился в трех сечениях на расстоянии 5 мм, 30 мм и 45 мм от торца, со стороны которого выполнялось сверление. Полученные результаты экспериментов в виде средних значений приведены в таблице 2.



а) б)

Рис. 1. а) эскиз заготовки, б) вид подточки перемычки

Таблица 1

Геометрические параметры сверл

Перемычка	D, мм	a, мм	2φ	ψ	l_1, мм	l_2, мм
С подточкой	7,962	0,72	127°45′	60°	4,08	4,27
Без подточки	7,97	1,27	125°41′	57°	3,97	4,16

D – фактический диаметр сверла,
a – длина поперечной режущей кромки,
2φ – угол при вершине,
ψ – угол наклона поперечной кромки,
l_1, l_2 – длины режущих кромок первого и второго лезвий.

Таблица 2

Средние значения результатов экспериментов

Сверло с подточкой перемычки	Отклонение от круглости, мм	Разбивка, мм	Отклонение от прямолинейности, мм
	0,025	0,117	0,079
Сверло без подточки перемычки	0,055	0,155	0,138

На рисунках 2, 3 и 4 приведены результаты статистической обработки измерений обработанных отверстий.

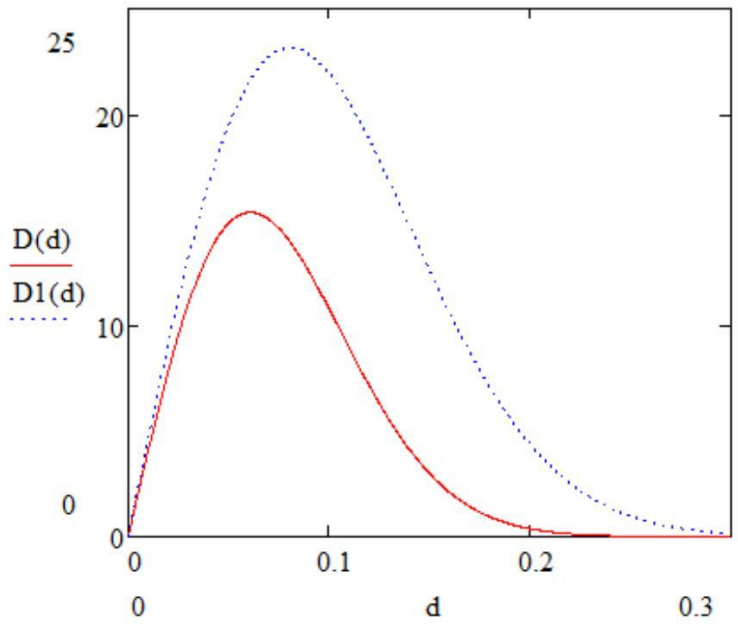


Рис. 2. Разбивка отверстия: D(d) с подточкой перемычки,
D1(d) – без подточки

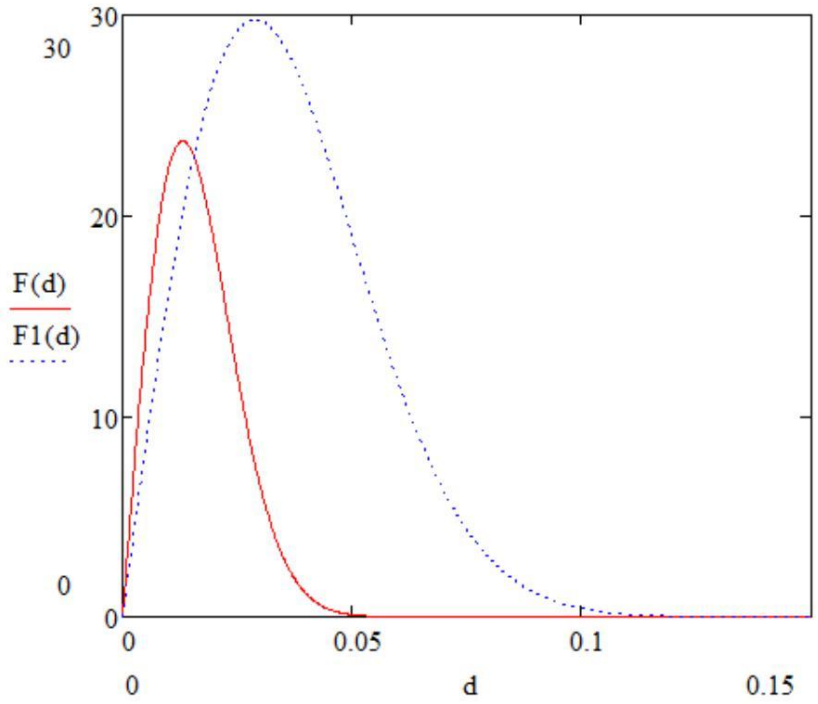


Рис. 3. Отклонение от круглости:
F(d) с подточкой перемычки, F1(d) – без подточки

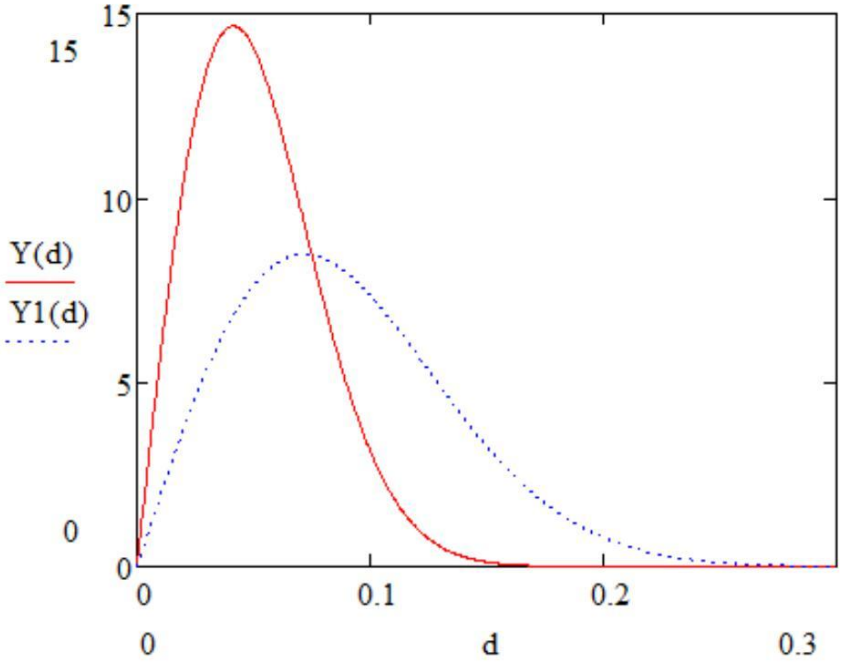


Рис. 4. Отклонение от прямолинейности:
Y(d) с подточкой перемычки, Y1(d) – без подточки

Анализ полученных результатов экспериментальных исследований показывает, что применение подточки перемычки по передней поверхности снижает отклонение от круглости на 55 %, разбивку на 25 % и увод оси отвер-

стия на 43 %. Таким образом, можно сделать вывод о существенном влиянии подточки перемычки на точность обработки и необходимости уточнения моделей формообразования отверстий, приведенных в работах [1, 2].

Библиографический список

1. Дерябин, И.П. Прогнозирование параметров точности при обработке отверстий / И.П. Дерябин, В.И. Гузеев // Технология машиностроения. – 2006. – № 4(46). – С. 9–14.
2. Дерябин, И.П. Исследование процессов формообразования отверстий мерными инструментами: монография / И.П. Дерябин, А.В. Козлов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 251 с.

К содержанию

УДК 681.518

ПРОБЛЕМЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ *CALS*-ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Ю.С. Сергеев, С.В. Сергеев, Л.С. Шильберт, А.Г. Медведева

В статье проанализированы главные причины, тормозящие широкое продвижение *CALS*-технологий в промышленное производство. Определен круг решаемых задач и предложены пути их решения для развития отечественных промышленных предприятий в условиях импортозамещения.

Ключевые слова: проблемы; *CALS*-технологии; круг решаемых задач; отечественные системы автоматизированного проектирования.

Одной из главных проблем практической реализации *CALS*-технологий является отсутствие прямых связей между программными продуктами, потому, что на первых этапах создания автоматизированных систем управления производством особое внимание уделялось расчетным задачам нормативного характера и бухгалтерского учета. В то же время осуществлялись первые попытки автоматизации расчетов некоторых участков конструкторско-технологической подготовки производства. С ростом возможностей средств вычислительной техники и коммуникаций изменялась идеология построения систем управления производством. К настоящему времени в области информационных технологий ведущими разрабатывающими фирмами созданы системы, обеспечивающие процессы конструирования изделий (*CAD*-системы), расчетные системы (*CAE*-системы), системы проектирования обработки изделий на программных станках и обрабатывающих

центрах (*CAM*-системы). Независимо от создаваемых *CAD*/*CAE*/*CAM*-систем развивались системы технологической подготовки производства (САПР ТП-системы), которые предназначались для формирования технологических данных об изделии и выпуска технологической документации. Как видно, между конструкторскими и технологическими САПР изначально не было единой идеологической и информационной платформы, поскольку разработку конструкторских и технологических САПР вели разные независимые фирмы.

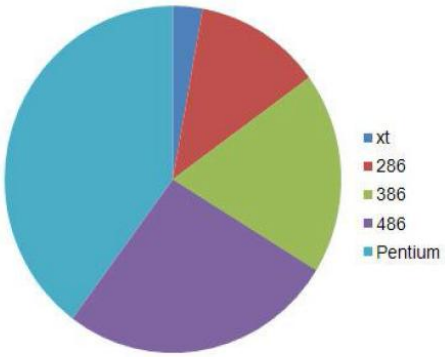
Но уже к 2000 году в мире появилась новая идеология построения информационных систем управления производством, суть которой заключается в создании единого информационного пространства (ЕИП) для функционирования САПР различного назначения [1]. С целью реализации идеологии ЕИП ведущие производители программных продуктов перешли к созданию систем, поддерживающих информационные технологии от проектирования изделия к его производству, эксплуатации и вплоть до утилизации, то есть обеспечивающих поддержку на протяжении всего жизненного цикла изделия (ЖЦИ) [2, 3].

Однако следует отметить, что единое информационное пространство, формируемое программными продуктами, доступно только программным модулям, разработанным конкретным производителем, и недоступно программным модулям других производителей без серьезных переделок. Как правило, программные продукты одного производителя хорошо внедряются на предприятиях, занимающихся либо только разработкой документации на изделия, либо разработкой документации на изделия и их изготовлением, то есть процессы разработки и производства подчинены единой идеологии. Предприятия, изготавливающие изделия по документации внешних разработчиков, находятся в более сложном положении, поскольку документация на производство изделий может быть выполнена как на разных носителях (на бумаге или в электронном виде), так и с помощью различных *CAD*-систем. То есть построение конструкторской документации у разных разработчиков может иметь различия как по синтаксису документов, так и по семантике содержимого.

Тормозит внедрение *CALS*-технологий и слабый компьютерный парк на производстве. Промышленные предприятия среднего уровня плохо оснащены техникой (1 современный компьютер на 10 конструкторов и технологов). Автоматизированные системы управления (АСУ) на большинстве предприятий работают на базе устаревших компьютеров уровня конца 80-х гг. Отсутствуют базы данных и средства управления конструкторскими данными, из-за чего нет порядка в их хранении. Это приводит к потере электронной информации, а вместе с ней и имеющихся наработок. Если посмотреть на структуру и объем сегодняшнего компьютерного парка предприятий (рис.) можно увидеть, что их количество на всю отрасль составляет не более 10000 шт., что означает около 4 % от необходимого [4].

Состав по типам PC		
Тип	Кол-во	Процент
xt	671	2,9%
286	2860	12,1%
386	4406	18,7%
486	6208	26,5%
Pentium	9357	39,8%

PC по частям производства	
Часть производства	Процент
Разработка изделия	31%
Изготовление изделия	26%
Управление	43%



Структура компьютерного парка

Остальные компьютеры можно не учитывать, так как невозможно создать интегрированную полноценную систему из компьютеров разных поколений. С течением времени компьютеры морально устаревают и требуют дополнительных вложений не реже, чем через три года. Размеры вложений при этом составляют около 30 %, или до 10 % ежегодно, так чтобы система через 10–12 лет полностью обновлялась. А это для машиностроительной отрасли каждый год еще около 2 млрд рублей, а для одного предприятия – 20 млн рублей.

Вместе с тем, необходимо решать проблему комплексности кадрового сопровождения. *CALS*-технологии фокусируют в себе достижения и возможности трех базовых технологий: производственной, организационной и информационной. Это обстоятельство в конечном итоге определяет требования к специалистам в этой области. Знания по конструкторско-технологическим дисциплинам, программированию, сетевым технологиям, автоматизации производственных процессов, организации производства, логистики и др. – вот далеко не исчерпывающий перечень знаний, необходимых специалистам в области *CALS*-технологий. В настоящее время в нашей стране многоцелевой подготовкой специалистов по этим дисциплинам начали активно заниматься в научных школах в области автоматизации производства, управления качеством, многие из которых получили мировое признание. Поскольку *CALS*-технологии решают широкий круг задач, то специалисты, так или иначе связанные с моделированием и выполнением чертежно-графических работ, не могут обойтись без современной системы автоматизированного проектирования. Такой, например, как отечественная *CAD*/*CAM*/*CAPP*/*CAE* система *ADEM* разработки компании «АДЕМ Технолоджиз». Организация и поддержка процесса сквозного проектирования – вот основное преимущество данного программного комплекса. Различные стадии подготовки производства определяют круг задач [5], решаемых в общей системе:

– плоское и объемное моделирование внешнего облика изделия с возможностью импорта и экспорта в стандартных файловых форматах;

– ведение инженерных расчетов при помощи подключаемых модулей;

– получение и передача управляющей программы на конкретную стойку с ЧПУ;

– отработка технологии изготовления до получения изделия в металле;

– разработка технологического процесса на изделие с выпуском необходимого комплекта документации по ЕСТД.

CAD/*CAM*/*CAPP*/*CAE ADEM* – глубоко интегрированная система, условно она разделена на три основных модуля *CAD* (*Computer Aided Design*) системы позволяют производить двух- и трехмерное проектирование деталей и сборочных единиц, *CAM* (*Computer Aided Manufacturing*) системы – разрабатывать технологические процессы, моделировать процессы обработки, *CAE* (*Computer Aided Engineering*) системы – производить инженерные расчеты, анализ, моделирование и оптимизацию проектных решений, *PDM* (*Product Data Management*) системы позволяют осуществлять управление проектом. Для генерации постпроцессоров для всех типов стоек с ЧПУ используется модуль *GPP*. Ведение и структурирование создаваемых документов производится модулем *Vault*. Поэтому, с точки зрения управления, система *ADEM* поддерживает единый структурированный конструкторско-технологический объект. *CAD*/*CAM*/*CAPP*/*CAE ADEM*-система сквозного проектирования, решающая широкий спектр задач от формирования облика изделия до подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ. Система одинаково эффективно обеспечивает подготовку конструкторской и технологической документации, создание и импорт из других САПР объемных моделей изделия и формирование управляющих программ на станки с ЧПУ, как для плоской, так и для объемной обработки. Важно отметить, что параметризация 2-х типов, работа со сканированными изображениями, адаптация созданных УП для любого оборудования с ЧПУ, трехмерная динамическая симуляция обработки, отлаженный обмен данными с другими системами – все это делает *ADEM* мощным инструментом конструктора – технолога.

В настоящее время система *ADEM* успешно внедряется на предприятиях России, стран СНГ, Германии, Греции, Швейцарии. На предприятиях Челябинской области внедрению *ADEM* в производство способствуют подготовка молодых специалистов ведущим вузом ЮУрГУ (НИУ). С этой целью в учебный процесс внедрено комплексное учебное пособие, содержащее материалы как для теоретического, так и для практического освоения системы *ADEM*.

Библиографический список

1. Судов, Е.В. Концепция развития *CALS*-технологий в промышленности России / Е.В. Судов, А.И. Левин. – М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2002. – 131 с.

2. ГОСТ Р 50.1.031 – 2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции: Терминологический словарь. Часть 1. Стадии жизненного цикла продукции. – М.: Госстандарт РФ, 2001. – 36 с.

3. ГОСТ Р 50.1.028 – 2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. – М.: Госстандарт РФ, 2001. – 78 с.

4. Концепция развития ИПИ-технологий в промышленности России. – М.: ВИМИ. 2002.

5. Сергеев, С.В. Принципы математического моделирования процессов проникания и движения вращающихся твердых тел в сплошных средах / С.В Сергеев // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2009. №4. – С. 65.

К содержанию

УДК 621.01 + 62-83 + 62-868 + 621.92.06-8

УНИВЕРСАЛЬНОЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СНЯТИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВИБРАЦИЕЙ В СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Ю.С. Сергеев, С.В. Сергеев, А.В. Кононистов

Предложена конструкция устройства для снятия напряжений в металле вибрацией. Новизна конструкции состоит в том, что она может работать на резонансных частотах с автоматической синхронизацией технологических параметров вибропривода.

Ключевые слова: вибрация, остаточные напряжения, сварные конструкции, автоматизация процесса синхронизации колебаний.

Значительная часть металлоконструкций эксплуатируется в условиях сложного напряженно-деформированного состояния, при воздействии природных и технологических сред, вызывающих необратимые физико-химические изменения в металле, снижающие эксплуатационную надежность конструкции. Свойства металлических конструкций, в первую очередь, зависят от создаваемой структуры сварных соединений. При сварке в зоне сварного шва от воздействия концентрированного источника тепла происходит неравномерный нагрев металла. Такой нагрев вызывает образование временных и остаточных сварочных напряжений, и деформаций. Остаточные сварочные напряжения возникают в результате сопротивления

расширению и сжатию металла при его нагреве и охлаждении. Из-за этого сварная конструкция может даже изменить форму и размеры, т.е. деформироваться. В итоге, наличие остаточных напряжений и деформаций приводит к снижению работоспособности сварных конструкций или даже к разрушению, поскольку при их работе остаточные напряжения складываются с напряжениями от внешних нагрузок.

Одной из основных проблем, возникающих при вводе в эксплуатацию высоконагруженных сварных конструкций, является проблема снятия остаточных напряжений в таких конструкциях. Для повышения работоспособности сварных конструкций необходимо применять методы, снижающие величину сварочных деформаций и напряжений. На сегодня известно несколько методов снятия механических напряжений после, или непосредственно в процессе сварки. Все они имеют свои преимущества и недостатки. Существует две группы методов снятия остаточных напряжений в сварных конструкциях: термические и механические. К термической группе методов относится отжиг после сварки, являющийся наиболее эффективным способом уменьшения остаточных напряжений и одновременно позволяет улучшить пластические свойства и однородность структуры металла в различных зонах сварных соединений. Отжиг может быть общим, при котором нагревается все изделие, и местным, когда нагреву подвергается лишь часть его в зоне сварного соединения.

Недостатком данного метода является нецелесообразность применения к конструкциям, изготовленных из разнородных материалов, когда в результате отжига не происходит уменьшения остаточных напряжений. Также, отжиг не применим в тех случаях, когда жесткость частей конструкции сильно отличается. Вдобавок ко всему, возникают трудности обработки тяжеловесных конструкций и конструкций с большими габаритными размерами. К механической группе методов относят такие методы снятия остаточных механических напряжений, как проковка, прокатка, вибрация, ультразвуковая обработка, обработка взрывом и другие способы, основанные на создании пластической деформации противоположного знака, приводящей к снижению или полному устранению растягивающих остаточных напряжений в сварной конструкции. Проковка швов в процессе сварки заметно уменьшает деформации. Проковка уплотняет шов путем расплющивания остывающего слоя наплавки и в результате уменьшает действие усадки шва. Проковка швов осуществляется высокоскоростным ударным пневматическим устройством.

К недостаткам данного метода можно отнести неэффективность снятия остаточных напряжений в сварных конструкциях, полученных из высокопрочного материала. Ещё одним недостатком метода проковки является малый запас пластических свойств наплавленного металла, что может привести к образованию трещин и разрывов в сварных швах в процессе обработки. Также, не всегда возможно производить процесс проковки, из-за труднодоступности сварочных швов.

Прокатка шва и околошовной зоны узкими стальными роликами под давлением создает местное равномерное статическое осаживание металла по толщине, которое приводит к удлинению шва в зоне прокатки и снижению остаточных напряжений и деформаций от сварки во всем изделии. Прокатка в основном устраняет деформации, вызванные продольной усадкой. Пластические деформации от прокатки в поперечном направлении невелики и не компенсируют поперечную усадку от сварки. Главным недостатком этого метода, является возможность снятия остаточных напряжение исключительно в листовых металлах, что в значительной степени ограничивает номенклатуру современных сварных конструкций. Поэтому, наиболее приемлемым и востребованным на сегодняшний день, является метод вибрационной обработки сварных конструкций (искусственного старения), относящийся к механическим методам снятия остаточных напряжений. Метод вибрационной обработки является относительно простым, экономичным, процесс снятия напряжений протекает сравнительно быстро, а главным достоинством метода является отсутствие в металле и поверхности конструкции заметных физико-механических повреждений.

В свою очередь, современные устройства, выполняющие вибрационную обработку после сварки, являются не универсальными, а узкоспециализированными, то есть на определенные типы сварных конструкций.

Для устранения выявленных недостатков на машиностроительных предприятиях Урала, в условиях импортозамещения возникла необходимость в разработке собственного универсального автоматизированного устройства для снятия остаточных напряжений вибрацией в сварных конструкциях (УСОН). Преимуществами проектируемого устройства является, во-первых универсальность, то есть возможность обработки конструкций с разными массогабаритными параметрами. Во-вторых, возможность мониторинга параметров вибрации, и автоматизированного поддержания технологических параметров источника колебаний.

Проектируемое устройство (УСОН) представляет из себя вибрационную платформу (рис. 1), состоящую из монтажной плиты с Т-образными пазами. Монтажная плита, как и вибропривод соединяются с основанием, которое в свою очередь установлено на виброизолирующих опорах. Каркас виброплатформы составляют металлические профили.

Необходимым условием для достижения эффективного снятия остаточных напряжений является работа на резонансных или около резонансных частотах в течение определенного промежутка времени [1]. В связи с этим, при проектировании устройства, была разработана система управления процессом вибрационной обработки. Ее преимущество в том, что она включает в себя сбор у виброприводов параметрической информации, ее автоматическую обработку и поднастройку устойчивой синхронной работы системы посредством электрической обратной связи. Это достигается за счет того, что последняя непосредственно электрически интегрирована в систему виброприводов.

Рис. 1. Общий вид УСОН

Разработанная установка (рис. 2) отличается от известных тем, что позволяет производить мониторинг вибраций, возбуждаемых виброприводами, посредством измерения частоты вращения самосинхронизирующихся электровиброприводов, а затем после настройки автоматически поддерживать требуемый режим своей работы.

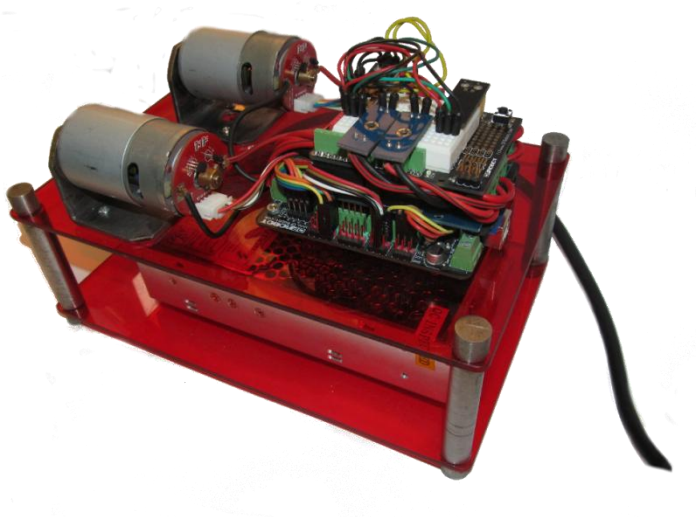


Рис. 2. Система мониторинга и поддержания
технологических параметров

Разработанная АСМ позволяет в автоматизированном режиме контролировать работу виброприводов, как связанных принудительно, например, посредством электрической или кинематической передачи, так и имеющих физическую (неголономную) связь. Кроме того, предлагаемая система позволяет даже контролировать работу принципиально новых приводов са-

мовозбуждаемых колебаний, обладающих модулируемыми свойствами. Для функционирования АСМ была разработана специальная программа для ЭВМ (свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ №2014660855 от 20.08.2014 г.).

Практический интерес разработанной системы управления был подтвержден при участии в 10-ой Уральской выставке научно-технического творчества молодежи «Евразийские ворота России». Результаты были удостоены диплома первой степени за лучшую изобретательскую разработку с вручением медали выставки, и диплом лауреата Российской научно-социальной программы для молодежи и школьников «Шаг в будущее» за высокие результаты в научных исследованиях

Библиографический список

1. Сергеев, С.В. Вибрационные роторные приводы машин: монография / С.В. Сергеев, Б.А. Решетников, Р.Г. Закиров. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 133 с.

К содержанию

УДК 621.941.2-529

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ МНОГОГРАННЫХ НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫХ ПЛАСТИН ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

И.П. Дерябин, И.Н. Миронова, С. В. Пантелеев

По разработанной методике проведения экспериментов определена сравнительная стойкость режущих пластин фирм SANDVIK, SUMITOMO, MITSUBISHI и SECO для токарных резцов при обработке титановых сплавов ОТ4, ВТ6, ВТ20, ВТ22. Исследования показали, что для сплавов ОТ4 и ВТ6 большую стойкость имеют пластины SUMITOMO, для сплава ВТ20 стойкость пластин примерно одинакова, для сплава ВТ22 наибольшую стойкость дает пластина фирмы SECO.

Ключевые слова: стойкость инструментальных материалов, методика экспериментальных исследований стойкости материалов.

В металлообрабатывающей промышленности изготавливается огромное множество деталей из самых различных материалов. Современное машиностроение требует повышения эксплуатационных качеств базовых деталей машин и механизмов. Эти задачи могут быть решены в результате применения высоколегированных дорогостоящих сталей и сплавов, например титановых. При наличии таких достоинств как механическая и

удельная прочность, высокая коррозионная стойкость, титановые сплавы имеют и ряд недостатков, к которым относится плохая обрабатываемость, аналогичная обрабатываемости нержавеющих сталей аустенитного класса.

В настоящее время в отечественной металлообработке все большее распространение получают инструменты, оснащенные импортными пластинами фирм SANDVIK, SUMITOMO, MITSUBISHI и SECO. На сегодняшний день режимы резания для обработки титановых сплавов нуждаются в значительном уточнении. Существующие справочники по обработке металлов резаниям либо не содержат такой информации, либо дают ее не в полном объеме [1]. Кроме этого, рекомендуемые режимы, приведенные в таблице 1, как правило, даются для определенной фиксированной стойкости пластин, например, 7 минут.

Целью данного исследования является определение стойкости многогранных неперетачиваемых пластин фирм SECO, MITSUBISHI, SUMITOMO, SANDVIK при токарной обработке титановых сплавов.

Таблица 1

Режимы резания титановых сплавов (рекомендуемые производителем)

Наименование пластины	Режимы резания		
	V, м/мин	S, мм/об	t, мм
SECO CNMG 12408 MR4 TS2500	25…35	0,18…0,4	0,5…4,0
MITSUBISHI CNMG 12408 MS MP9015	25…80	0,1…0,25	0,5…4,0
SUMITOMO CNMG120408 NEG EH510	35…55	0,15…0,3	1…4
SANDVIK CNMG 120408 SM 115	35	0,18…0,30	0,96…4,0

Испытания проводились на токарном станке с ЧПУ 200НТ. В качестве инструмента применялись пластины: SECO – CNMG 120408 – MR4 TS 2500; Mitsubishi – CNMG 12408 MS MP9015, SUMITOMO – CNMG120408 N-EG EH510; SANDVIK – CNMG 120408 SM 115, материал заготовок – ОТ4, ВТ6, ВТ20, ВТ22, обработка велась с охлаждением эмульсией Adrane A2859. Режимы резания: V=130; 110; 90; 70 м/мин; S=0,15 мм/об; глубина t=1 мм.

Порядок обработки следующий: вначале устанавливалась скорость 130 м/мин; затем 110 м/мин; затем 90 м/мин и соответственно 70 м/мин при соблюдении остальных режимов резания. Заготовка обтачивалась до достижения износа пластины по задней поверхности $h_з$ от 0,3 до 0,4 мм. Износ контролировался через каждые 10 мм прохода резцом на инструментальном микроскопе МБС-10М.

Результаты, полученные в ходе эксперимента, представлены: для материала заготовки ОТ4 – в таблицах 2–4; для материала ВТ6 – в таблицах 5–8; ВТ20 – в таблицах 9–11; для материала ВТ22 – в таблицах 12–14.

Обрабатываемый материал ОТ4

Таблица 2

Пластина SECO – CNMG 120408 – MR4 TS 2500

V, м/мин	70	90	110	130
T, мин	40,7	14,5	8,2	–

Таблица 3

Пластина Mitsubishi – CNMG12048 – MS MP9015

V, м/мин	70	90	110	130
T, мин	47,4	4,6	6,8	3

Таблица 4

Пластина SUMITOMO – CNMG120408 N – EG EH510

V, м/мин	70	90	110	130
T, мин	54,4	16,9	5,2	4,5

Обрабатываемый материал ВТ6

Таблица 5

Пластина SECO – CNMG 120408 – MR4 TS 2500

V, м/мин	70	90	110	130
T, мин	45,1	8	2	1,7

Таблица 6

Пластина MITSUBISHI – CNMG 120408MS – MP9015

V, м/мин	70	90	110	130
T, мин	6,4	1,8	2,7	1,5

Таблица 7

Пластина SUMITOMO – CNMG120408 N–EG EH510

V, м/мин	70	90	110	130
T, мин	112,6	13,3	5,7	1,4

Таблица 8

Пластина SANDVIK – CNMG 120408 432–QM H13A

V, м/мин	70	90	110	130
T, мин	43,6	11,6	3,6	3,4

Обрабатываемый материал ВТ20

Таблица 9

Пластина Mitsubishi – CNMG 120408MS–MP9015

V, м/мин	70	90	110	130
T, мин	13,2	13,1	0,5	0,1

Таблица 10

Пластина SANDVIK – CNMG 120408 432–QM H13A

V, м/мин	70	90	110	130
T, мин	10,2	3,7	1,5	0,4

Таблица 11

Пластина SUMITOMO – CNMG120408N–EG EH520

V, м/мин	70	90	110	130
T, мин	12,5	1,3	0,3	–

Обрабатываемый материал ВТ22

Таблица 12

Пластина SECO – CNMG 120408 MR4 TS 2500

V, м/мин	70	90	110	130
T, мин	3,9	3,3	0,2	–

Таблица 13

Пластина MITSUBISHI – CNMG 120408MS MP9015

V, м/мин	70	90	110	130
T, мин	1,3	–	0,2	0,1

Таблица 14

Пластина MITSUBISHI CNMG120408 MS MT9015

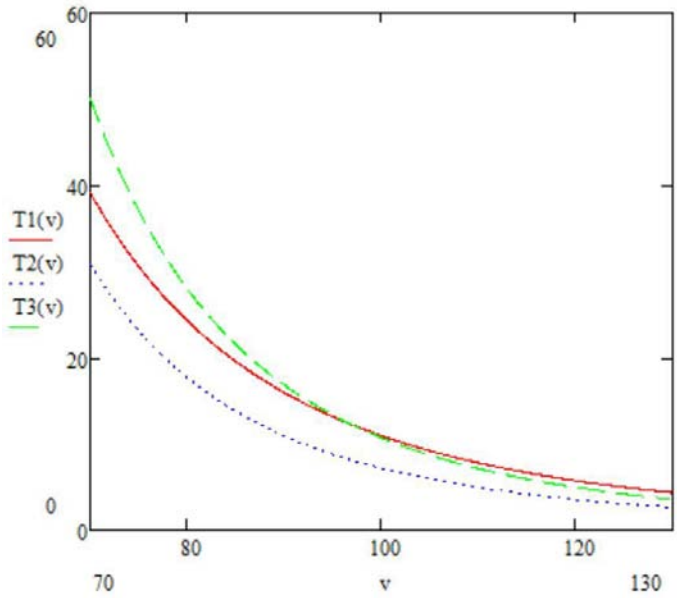
V, м/мин	70	90	110	130
T, мин	2,1	0,9	0,2	0,1

Для обработки полученных экспериментальных данных применялась методика аппроксимации функций на основе зависимости:

$$T=A\cdot V^{B}e^{CV},$$

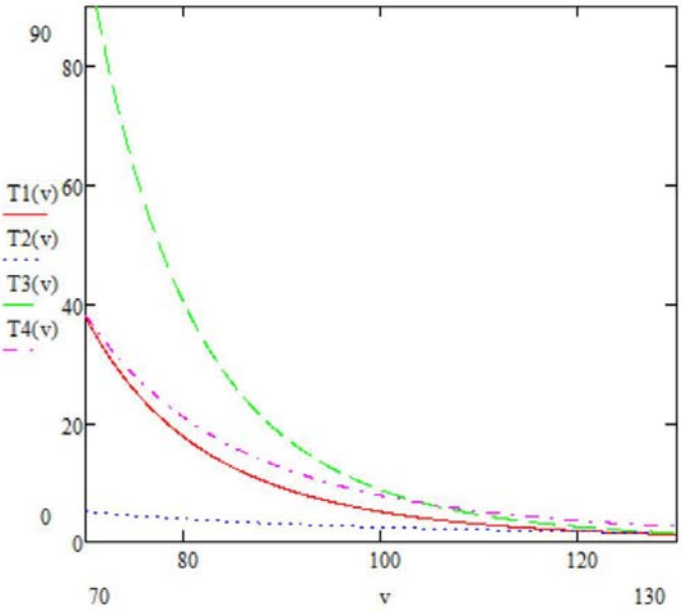
где A, B и C – коэффициенты аппроксимации.

На основе полученных функций построены графики зависимостей стойкости T от скорости резания V, приведенные на рисунках 1–4.



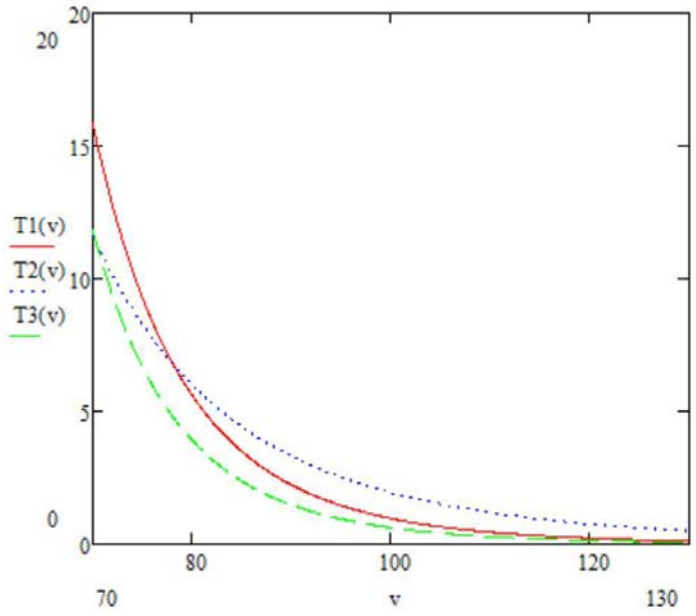
T1 – Пластинка SECO – CNMG 120408 – MR4 TS 2500
T2 – Пластинка Mitsubishi – CNMG12048 – MS MP9015
T3 – Пластинка SUMITOMO – CNMG120408 N – EG EH510

Рис. 1. Зависимость стойкости материала пластин
от скорости резания для сплава ОТ4



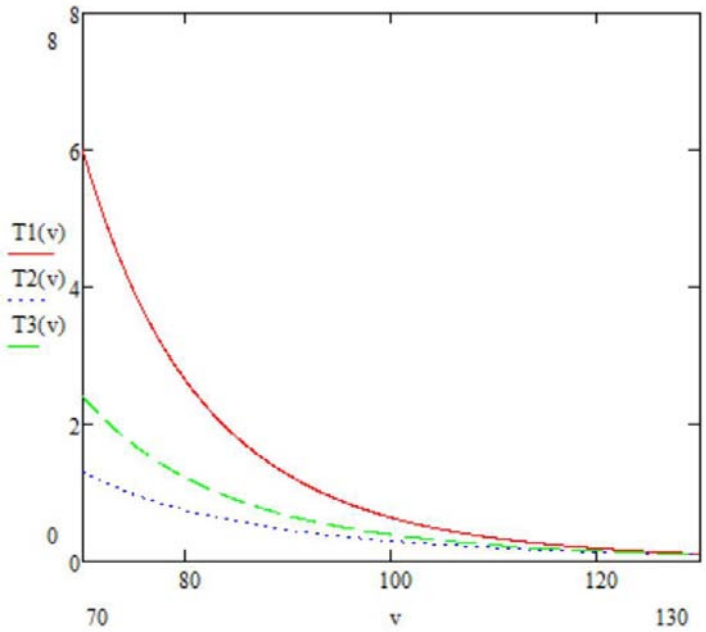
T1 – Пластинка SECO – CNMG 120408 – MR4 TS 2500
T2 – Пластинка Mitsubishi – CNMG12048 – MS MP9015
T3 – Пластинка SUMITOMO – CNMG120408 N – EG EH510
T4 – Пластинка SANDVIK – CNMG 120408 432-QM H13A

Рис. 2. Зависимость стойкости материала пластин
от скорости резания для сплава ВТ6



T1 – Пластинка Mitsubishi – CNMG 120408MS – MP9015
T2 – Пластинка SANDVIK – CNMG 120408 432-QM H13A
T3 – Пластинка SUMITOMO – CNMG120408 N – EG EH520

Рис. 3. Зависимость стойкости материала пластин
от скорости резания для сплава ВТ20



T1 – Пластинка SECO – CNMG 120408 – MR4 TS 2500
T2 – Пластинка Mitsubishi – CNMG12048 – MS MP9015
T3 – Пластинка MITSUBISHI CNMG120408 MS MT9015

Рис. 4. Зависимость стойкости материала пластин
от скорости резания для сплава ВТ22

Результаты экспериментальных исследований показали, что для сплавов ОТ4 и ВТ6 большую стойкость имеют пластины SUMITOMO, для сплава ВТ20 стойкость пластин примерно одинакова, для сплава ВТ22 наибольшую стойкость дает пластина фирмы SECO.

Библиографический список

1. Гуревич, Я.Л. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник / Я.Л. Гуревич, М.В. Горохов, В.И. Захаров и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.

К содержанию

УДК 621.833.001.2

ФОРМИРОВАНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ЭВОЛЬВЕНТНО-КОНИЧЕСКИХ КОЛЕС

В.В. Бружас, Б.А. Лопатин

В статье описываются способы получения твердотельных моделей эвольвентно-конических зубчатых колес при помощи эмуляции нарезания профиля зуба производящим реечным контуром и дальнейшей обработкой в Autodesk Inventor, и схемы формирования цилиндро-конических зубчатых передач.

Ключевые слова: программа Autodesk Inventor, эвольвентно-конические колеса, трехмерная модель, напряженно-деформированное состояние, схемы цилиндров.

Формирование твердотельных трехмерных моделей эвольвентно-конических колес необходимо для последующего формирования цилиндро-конической эвольвентной зубчатой передачи и исследования этой передачи на напряженно-деформированное состояние.

Напряженно-деформированное состояние – совокупность внутренних напряжений и деформаций, возникающих при действии на неё внешних нагрузок, температурных полей и других факторов. Напряженно-деформированное состояние определяется расчётными и экспериментальными методами в виде распределения напряжений, деформаций и перемещений в конструкции и является основанием для оценки статической прочности и ресурса конструкций на всех этапах жизненного цикла.

Оценивать напряженно-деформированное эвольвентно-конических передач целесообразно с помощью метода конечных элементов.

Эвольвентно-коническим колесом (ЭКК) называют зубчатое колесо с переменным, линейно-изменяющимся по ширине зубчатого венца коэффициентом смещения x [1].

Эвольвентные цилиндро-конические передачи можно сформировать при любом расположении осей колес в пространстве (рис. 1).

На рис. 1а показана схема передачи на скрещивающихся осях. Она работает плавно, менее чувствительна к погрешностям межосевого расстояния, чем передача с цилиндрическими колесами. Для одного из направлений вращения возможен линейный или близкий к линейному контакт. Это позволяет использовать такие передачи в высокоскоростных и тяжелонагруженных приводах. При $\delta_1=0$; $\beta_1\neq0$; $\beta_2\neq0$ передача вырождается в винтовую передачу (рис. 1б). На рис. 1в представлена схема цилиндро-конической эвольвентной передачи на пересекающихся осях. Такие передачи целесообразно применять при малых межосевых углах, когда изготовление обычных конических колес с большим конусным расстоянием затруднено. Передачи малочувствительны к погрешностям межосевого угла.

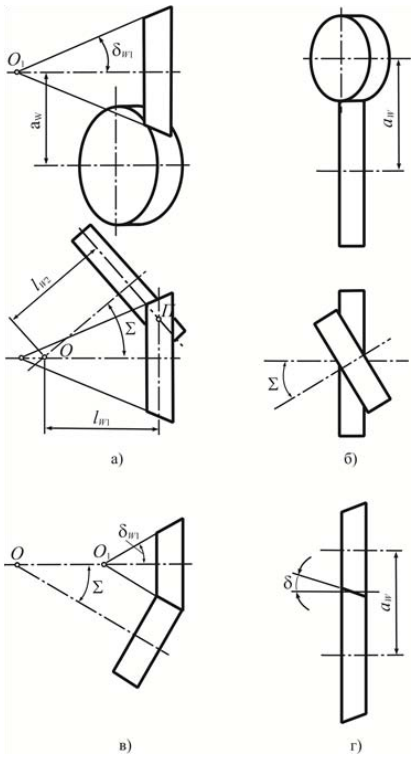


Рис. 1. Схемы цилиндро-конических передач:
а) на скрещивающихся осях; б) винтовая цилиндрическая передача;
в) на пересекающихся осях; г) на параллельных осях

В передачах между параллельными осями (рис. 1г) два эвольвентно-конических колеса, установленные вершинами конусов навстречу друг другу, позволяют осевыми перемещениями регулировать боковой зазор или межосевое расстояние. В такой передаче $\delta_1=\delta_2$ и $\beta_1= -\beta_2$. Если в этой схеме принять угол $\delta=0$, то передача преобразуется в обычную цилиндрическую передачу на параллельных осях.

Целью исследования явилась разработка твердотельных моделей, точно отражающих форму рабочих поверхностей, полученных при их профилировании реечным инструментом различного исходного контура.

В основу получения рабочих поверхнотей зубьев положен программный комплекс эмуляции нарезания зубчатого колеса производящим реечным контуром. Разработанная программа позволяет реализовать процесс обработки цилиндрических зубчатых колес с различными параметрами исходного контура (α, h_a^*, h_f^*, c^*, ρ^*) и различными коэффициентами смещения x производящего реечного контура. Для дальнейшего построения трехмерной модели используется программа Autodesk Inventor, с помощью которой на основе полученного профиля можно создать модели эвольвентно-конических зубчатых колес.

Эвольвентно-коническое зубчатое колесо (ЭКК) – это колесо, нарезаемое инструментом реечного типа (зуборезная гребенка, червячная фреза, шлифовальный круг) с переменным вдоль оси колеса смещением инструмента [2]. Особенностью таких колес является то, что в каждом торцовом сечении получается профиль с определенным коэффициентом смещения, который изменяется в каждом сечении на величину

$$\Delta x = s \cdot tg\delta / m,$$

где s – шаг;

x – приращение коэффициента смещения;

δ – угол конусности ЭКК;

m – модуль.

Для получения твердотельной модели ЭКК с помощью программы эмуляции профиля зуба инструментом реечного типа [3] на первом этапе получаем ряд профилей с определенным шагом s. Далее в программе Autodesk Inventor создаем рабочие плоскости на расстоянии друг от друга, равном шагу s, создаем в них 2D-эскизы и копируем туда соответствующие профили зубьев. Твердотельную модель ЭКК (рис. 2) получаем из набора 2D-эскизов с помощью приложения *Лофт*, задав направляющие линии.

Рис. 2. Твердотельная модель
эвольвентно-конического зубчатого колеса

Таким образом, при помощи программного комплекса «Эмуляция нарезания эвольвентного цилиндрического зубчатого колеса производящим реечным контуром» и программы Autodesk Inventor можно получить твердотельные модели эвольвентно-конических зубчатых колес и в дальнейшем сформировать передачи описанные выше, и исследовать их на напряженно-деформированное состояние.

Библиографический список

1. Безруков, В.И. Некоторые вопросы геометрии конических передач, составленных из прямозубых эвольвентно-конических колес / В.И. Безруков // Машиностроение. – 1965. – № 4. – 254 с.

2. Лопатин, Б.А. Зубчатые передачи с эвольвентно-коническими колесами / Б.А. Лопатин. – Статья в настоящем сборнике.

3. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 6853. Эмуляция нарезания эвольвентного цилиндрического зубчатого колеса производящим реечным контуром / Б.А. Лопатин, С.А. Хаустов // Б.И. – 2006.

К содержанию

УДК 621.833.001.2

ОСОБЕННОСТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ С ЭОЛЬВЕНТНО-КОНИЧЕСКИМИ КОЛЕСАМИ НА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ОСЯХ

Б.А. Лопатин, В.В. Бружас

В работе рассматривается нетрадиционная цилиндрbческая передача, составленная из эвольвентно-конических колес. Представлены основные достоинства таких передач перед обычными цилиндрическими. Показана целесообразность использования таких передач как в силовых, так и в кинематических приводах различного назначения.

Ключевые слова: зубчатые эвольвентно-конические колеса, эвольвента, цилиндрические передачи.

Эвольвентно-коническим колесом (ЭКК) называют зубчатое колесо с переменным, линейно-изменяющимся по ширине зубчатого венца коэффициентом смещения *x*.

Эвольвентно-коническое колесо нарезается инструментом реечного типа. Геометрия производящей рейки в нормальном сечении (в сечении плоскостью, нормальной к линии ее зуба) тождественна геометрии производящего реечного контура, используемого для нарезания цилиндрических колес.

В отличие от нарезания цилиндрического колеса, где средняя плоскость производящей рейки параллельна оси нарезаемого колеса, при нарезании эвольвентно-конического колеса средняя плоскость производящей рейки наклонена к оси колеса на угол δ – угол конусности колеса. Движение обкатки при нарезании эвольвентно-конического колеса сохраняется таким же, как и при нарезании цилиндрического колеса [1].

Геометрия зуба эвольвентно-конического колеса в его торцовом сечении определяется геометрией сечения производящей рейки плоскостью перпендикулярной оси колеса. Профиль рейки в торцовом сечении оказывается несимметричным. Поэтому у зуба ЭКК различают левую и правую стороны.

Согласно принятым в работах [1, 2] обозначениям, считают левой стороной зуба ту, которая встречается первой, если обходить зубья со стороны большого торца по часовой стрелке. Сторону рейки, нарезающую правую сторону зуба также называют правой. Величинам, относящимся к правой стороне зуба, присваивают индекс «П», а к левой – индекс «Л».

Так как коэффициент смещения инструмента различен для различных торцовых сечений колеса (обычно положителен на большем торце и отрицателен на меньшем), зуб эвольвентно-конического колеса стремится к подрезу на малом торце и к заострению на большом. Вследствие этого ширина эвольвентно-конического колеса ограничена [4].

В косозубом эвольвентно-коническом колесе большему подрезу подвержена та сторона, которой соответствует меньший угол давления эвольвенты на делительном цилиндре. Допустимая ширина эвольвентно-конического колеса:

$$[b] = b_{\text{подр}} + b_{заостр} = \frac{m_t}{\text{tg}\delta}\left(x_{t\max} + x_{t\min}\right). \qquad (1)$$

Из эвольвентно-конических колес может быть сформирована передача между параллельными осями. При этом колеса должны иметь одинаковые углы конусности $\delta_1 = \delta_2 = \delta$, установленные вершинами конусов навстречу друг другу, и равные по величине, но противоположные по знаку углы наклона линии зуба инструмента $\beta_1 = -\beta_2$ (рис. 1).

В этом случае боковые поверхности зубьев колес передачи являются эвольвентными геликоидами, имеющими равные по величине и противоположные по знаку углы наклона винтовых линий на основных цилиндрах. Если в передаче нулевые торцевые сечения колес лежат в одной плоскости, то такая передача является передачей без смещения (нулевой). Для нее $\alpha_{tw(\text{п,л})} = \alpha_{t(\text{п,л})}$, начальные цилиндры колес совпадают с делительными. В любом торцовом сечении такой передачи коэффициенты смещения в торцевых сечениях $\text{x}_{\text{t}_1} = -\text{x}_{\text{t}_2}$, а коэффициент суммы смещения $\text{x}_{\text{t}\Sigma} = 0$.

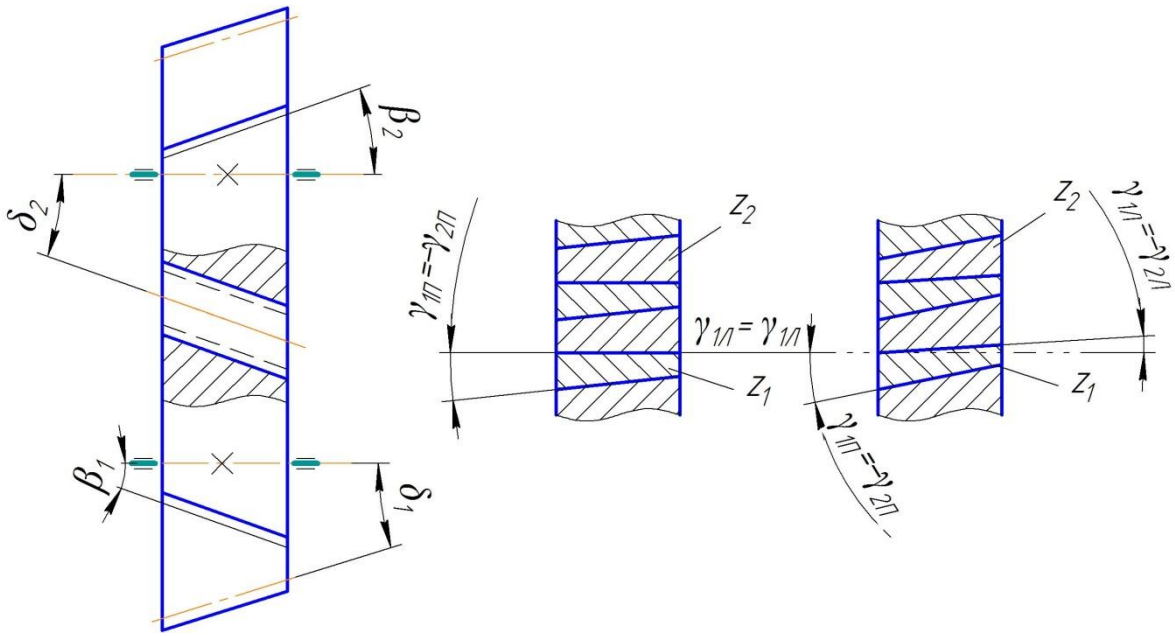


Рис. 1. Цилиндрическая передача из косозубых ЭКК:
а) общая схема передачи; б)развёртки делительных цилиндров прямозубо-косозубой передачи ($\sin\beta = tg\alpha \cdot tg\delta$); в) развёртки делительных цилиндров с одинаковыми знаками углов β для левых и правых сторон зубьев ($\sin\beta > tg\alpha \cdot tg\delta$)

Передача, в которой нулевые сечения колес совпадают, называется нулевой. Образование передачи со смещением можно представить как результат взаимного осевого сдвига колес передачи без смещения. Если колеса нулевой передачи сдвинуть навстречу друг другу на величину:

$$h = \frac{\left(x_{t_1} + x_{t_2}\right) \cdot m_t}{\mathrm{tg}\delta}, \qquad (2)$$

в направлении вершин начальных конусов, то образуется передача, для которой коэффициент суммы смещений:

$$x_{t\Sigma} = x_{t_1} + x_{t_2}.$$

Цилиндрические передачи из ЭКК обладают рядом интересных качеств:

1. Рассматриваемые передачи имеют линейный контакт зубьев, как и обычные цилиндрические косозубые передачи, что позволяет использовать их в качестве силовых [3].

2. При косозубых колесах углы зацепления для левых и правых сторон зубьев $\alpha_{tw_{\text{п}}}$ и $\alpha_{tw_{\text{л}}}$ не равны между собою, и качественные показатели передачи различны для различных направлений вращения. За счёт криволинейных границ поля зацепления коэффициент перекрытия у передачи из

ЭКК выше, чем у обычной цилиндрической передачи. Анализ значений коэффициента перекрытия для ряда конкретных передач показывает, что при небольших значениях углов δ и β использование эвольвентно-конических колес позволяет получить примерно в 1,5 раза больший коэффициент перекрытия, чем в передаче с цилиндрическими колесами. Так, например, для передачи $z_1 = 17, z_2 = 102$ при цилиндрических колесах коэффициент перекрытия $\varepsilon = 1{,}685$. Для такой же передачи при $\delta = 5^0;\ \beta = 0;\ \alpha_{tw} = \alpha_t;\ m = 0{,}6$ и ширине колес $b = 5{,}5$мм $\varepsilon = 2{,}07$, т.е. в обеспечено двухпарное зацепление, что обеспечивает повышенную плавность работы передачи.

3. При определенном выборе значения углов δ и β можно сформировать передачу с осевой силой в зацеплении равной нулю при одном из направлений вращения колес. Это будет так называемая прямозубо-косозубая передача (рис. 1б). Передача формируется при выполнении условия $\sin\beta = tg\alpha \cdot tg\delta$.

4. Назначение углов $\gamma_{Л_{1,2}}$ и $\gamma_{П_{1,2}}$ одного знака для левых и правых сторон зубьев позволяет получить передачу одностороннего действия (рис. 1в), на основе которой можно реализовать легко механизм свободного хода. Эта передача формируется при выполнении условия $\sin\beta > tg\alpha \cdot tg\delta$.

5. Образование ненулевых передач путем осевого сдвига эвольвентно-конических колес позволяет решить две важные практические задачи:

а) регулировать межосевое расстояние в передаче при сохранении постоянства бокового зазора. Эта возможность позволяет значительно упростить монтаж передачи, расширить допуск на межосевое расстояние;

б) регулировать боковой зазор в передаче при сохранении постоянства межосевого расстояния.

Величина осевого сдвига колес $h_{сдв.}$ связана с изменением величины бокового зазора в передаче, измеряемой по дуге делительной окружности, зависимостью:

$$\Delta S_t = 2\frac{h_{сдв.}\,\mathrm{tg}\alpha \sin\delta}{\cos\beta}. \qquad (3)$$

Возможность регулирования бокового зазора в цилиндрической передаче с эвольвентно-коническими колесами позволяет легко обеспечить требуемую величину бокового зазора или сформировать беззазорную передачу, что бывает весьма важно для реверсируемых кинематических передач, к которым предъявляются высокие требования в отношении точности отработки угла поворота [4].

При геометрическом расчете передачи в число исходных данных входят: числа зубьев колес z_1, z_2, параметры инструмента, углы δ и β.

При заданном межосевом расстоянии:

$$a_w = \frac{m_t\left(z_1 + z_2\right)\cos\alpha_{tw(\text{п,л})}}{2\cos\alpha_{t(\text{п,л})}}, \qquad (4)$$

формула решается относительно $\cos\alpha_{tw(\text{п,л})}$.

По найденным углам $\alpha_{tw(n,л)}$ определяются $\text{inv}\alpha_{tw\text{п}}$, $\text{inv}\alpha_{tw\text{л}}$ и уравнение:

$$\text{inv}\alpha_{tw\text{п.}} + \text{inv}\alpha_{tw\text{л.}} = \text{inv}\alpha_{t\text{п.}} + \text{inv}\alpha_{t\text{п}} + 4x_{tw_\Sigma}\frac{\text{tg}\alpha\cos\delta}{\cos\beta\left(z_1 + z_2\right)}, \qquad (5)$$

решается относительно $x_{tw_\Sigma} = x_{tw_1} + x_{tw_2}$.

В каждом торцевом сечении передачи значения коэффициентов x_{t_1} и x_{t_2} различны, но сумма их равна $x_{t\Sigma}$.

Ширина колес в передаче, как правило, ограничивается шириной шестерни, которая зависит от придельных значений коэффициентов смещения на малом и большем торце шестерни.

Для определения рабочей ширины колес, удобно использовать систему координат $x_{t_1} - x_{t_2}$ (рис. 2).

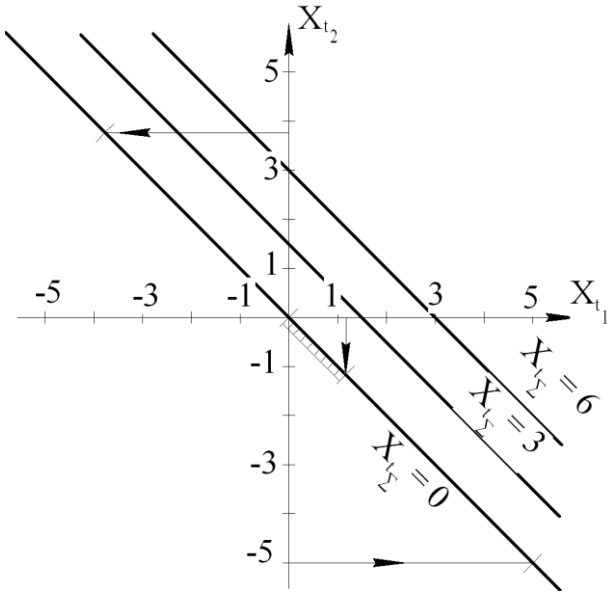


Рис. 2. К определению ширины колёс

В этой системе координат передаче, с коэффициентом суммы смещений $x_{t\Sigma}$, соответствует прямая, наклоненная к осям координат под углом 45° и отсекающая на осях отрезки равные $x_{t\Sigma}$. Если на этой прямой отложить значения $x_{t_{1,2\max}}$, найденные из условия отсутствия заострения, и зна-

чения $x_{t_{1,2\,\min}}$, найденные из условия отсутствия подреза, то будут получены два отрезка прямой, каждый из которых определяет предельно возможную ширину колес. Общий участок этих отрезков определяет рабочую ширину колес в передаче.

Для передачи без смещения ($x_{t\Sigma}$=0) точки, соответствующие предельные значениям коэффициентов смещения, откладываются на прямой, проходящей через начало координат.

Например, для передачи с параметрами $z_1 = 17$, $z_2 = 102$, $\delta = 5^0$, $m = 0{,}6$, $\beta = 0$, $x_{t\Sigma} = 0$, $x_{t1\max} = 1{,}072$, $x_{t2\max} = 3{,}42$, $x_{t1\min} = 0$, $x_{t2\min} = -4{,}92$.

Рабочая ширина колес $b = \dfrac{1{,}072m}{\mathrm{tg}\delta} = 7{,}35$ мм .

6. Достижимая точность изготовления ЭКК не отличается от точности обычных цилиндрических колёс, вследствие однотипности технологии их изготовления.

Выводы

Рассмотренные выше преимущества цилиндрических зубчатых передач, сформированных из ЭКК по отношению к передачам, сформированным из обычных цилиндрических колес, наглядно показывают целесообразность их применения как в силовых, так и кинематических приводах машин различного назначения.

Библиографический список

1. Справочник по геометрическому расчету эвольвентных зубчатых и червячных передач / Под ред. И.А. Болотовского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.

2. Лопатин, Б.А. Цилиндро-конические зубчатые передачи / Б.А. Лопатин, О.Н. Цуканов // Международный журнал экспертного образования. – 2012. – № 11. – С. 34–36.

3. Лопатин, Б.А. Цилиндро-конические зубчатые зацепления в приводах машин / Б.А. Лопатин, О.Н. Цуканов, С.В. Плотникова // Вестник машиностроения. – 2003. – № 8. – С. 7–9.

4. Еремин, В.П. Создание нового поколения электромеханических приводов трансформируемых систем космических аппаратов / В.П. Еремин, Н.В. Еремин, А.Н. Кирилин, Б.А. Лопатин, С.А. Петрищев, Н.П. Родин, В.М. Рублев, Ю.Н. Секисов. – Самара: ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ–Прогресс», 2011. – 563 с.

К содержанию

УДК 621.833.1

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЦЕПЛЕНИЯ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Д.Н. Казарцев

В работе рассматриваются особенности расчёта кинематических характеристик зацепления зубчатых передач со скрещивающимися осями колёс, с целью оценки несущей способности контакта.

Ключевые слова: гиперболоидные зубчатые передачи, эвольвентно-конические колеса, скорость скольжения в контакте.

Для обеспечения кинематической связи между скрещивающимися осями успешно применяются зубчатые передачи с эвольвентно-коническими колесами, или гиперболоидные передачи [1, 5]. Основными кинематическими характеристиками, определяющими условия формирования масляного клина и температурный режим контакта, являются суммарная скорость перемещения контактируемых поверхностей V_Σ и скорость скольжения V_S контактных точек зубьев гиперболоидной передачи [2].

В цилиндрической зубчатой передаче касательные контактные скорости V_1 и V_2 направлены по одной прямой перпендикулярно линии касания (рис. 1а). В этом случае величины суммарной скорости и скорости скольжения определяются

$$V_\Sigma = V_1 + V_2 \quad V_S = V_2 - V_1. \tag{1}$$

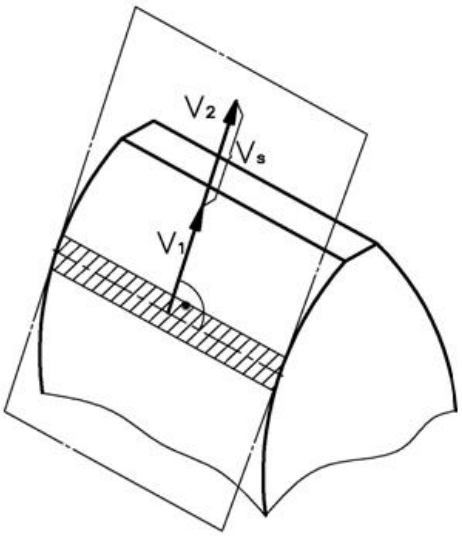
В гиперболоидных передачах касательные контактные скорости V_1 и V_2 составляют некоторые углы Ψ_1, Ψ_2 с большей осью пятна (или линией) контакта в плоскости, касательной к боковой поверхности зуба (рис. 1б). Принято рассматривать проекции этих скоростей на оси пятна контакта:

$$V_1^\tau, V_2^\tau, V_1^t, V_2^t \text{ [2]},$$

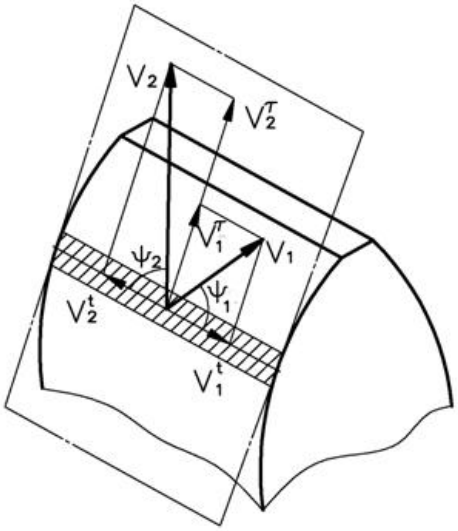
и вычислять суммарную скорость и скорость скольжения в двух ортогональных направлениях по зубу:

$$V_\Sigma^\tau = V_1^\tau + V_2^\tau \; ; \qquad V_\Sigma^t = V_2^t - V_1^t \; ;$$
$$V_S^\tau = V_2^\tau - V_1^\tau \; ; \qquad V_S^t = V_1^t - V_2^t. \tag{2}$$

Вывод формул для определения основных кинематических показателей в точечном пространственном контакте гиперболоидной передачи общего случая подробно изложен в работе [3, 4].



а)



б)

Рис. 1. Положение касательных контактных скоростей:
а) в цилиндрической передаче; б) в гиперболоидной передаче

В плоскости касательной к поверхности зубьев, проекции контактных скоростей вычисляются по формулам:

$$V_1 = \omega_1\{[-Lcos^2\alpha_w\, cos\beta_{w1} cos\delta_{w1} - cos\beta_{w1} sin\alpha_w\, (Lsin\alpha_w\, cos\delta_{w1} + +rw1)C + Lcos\alpha w\, sin\delta w1 \pm sin\delta w1 (Lsin\alpha w\, cos\delta w1 + rw1)S; \quad (3)$$

$$V_2 = \omega_2\{[Lcos^2\alpha_w\, cos\beta_{w2} cos\delta_{w2} + cos\beta_{w2} sin\alpha_w\, (Lsin\alpha_w\, cos\delta_{w2} - -rw2)C - -Lcos\alpha w\, sin\delta w2 \pm sin\beta w2 (Lsin\alpha w\, cos\delta w2 - rw2)S, \quad (4)$$

при вычислении поперечных составляющих скоростей $V_{1,2}^{\tau}$:

$$C = \cos(\lambda + \chi_w), \qquad S = \sin(\lambda + \chi_w);$$

при вычислении продольных составляющих скоростей $V_{1,2}^t$:

$$C = \sin(\lambda + \chi_w), \qquad S = \cos(\lambda + \chi_w);$$

нижние знаки в формулах – для правых сторон;

L – расстояние от полюса до точки, в которой вычисляются касательные контактные скорости. На участке линии зацепления от точки выхода B' до полюса принимается L<0. На участке от полюса зацепления до точки выхода B'' – L>0;

ω_1, ω_2 – частота вращения шестерни и колеса.

Угол между характеристикой шестерни и большей осью эллипса контакта вычисляются по формуле [3]:

$$\lambda_{Л,П} = 0{,}5arctg[\frac{\rho_{r1} sin2\gamma_{Л,П}}{\rho_{r1}+\rho_{r2} sin2\gamma_{Л,П}}]. \quad (5)$$

Остальные величины определяются по формулам, полученным в работах [3, 4].

В случае линейного касания рабочих поверхностей зубьев в каждой точке поля зацепления кинематические характеристики V_Σ и V_S различны. Они могут быть вычислены по следующим формулам:

$$V_\Sigma^\tau = V_1^\tau + V_2^\tau = \omega_1\rho_{T1} + \omega_2\rho_{T2};$$
$$V_S^\tau = V_2^\tau - V_1^\tau = \omega_2\rho_{T2} - \omega_1\rho_{T1}. \quad (6)$$

в полосе зацепления:

$$\rho_{T1} = r_{w1}\sin\alpha_{wT1}; \quad \rho_{T2} = r_{w2}\sin\alpha_{wT2}. \quad (7)$$

Наиболее неблагоприятны условия формирования масляного клина в точках входа и выхода зубьев из зацепления [2]. Для вычисления скоростей в этих точках необходимо определить в них радиусы кривизны эвольвентных геликоидов.

Для частного случая передачи с цилиндрическим косозубым колесом и эвольвентно-конической прямозубой шестерней эта задача была решена в работе В.И. Безрукова [3].

Определим границы поля зацепления гиперболоидной передачи общего случая (рис. 2). Оно ограничено следующими линиями:

АВ – гипербола – линия пересечения конической поверхности вершин зубьев колеса с плоскостью зацепления;

СД – гипербола – линия пересечения конической поверхности вершин зубьев шестерни с плоскостью зацепления;

ВК и ДТ – прямые линии пересечения торцевых поверхностей колеса с плоскостью зацепления;

АТ и КС – прямые линии пересечения торцевых поверхностей шестерни с плоскостью зацепления.

Уравнение этих линий в системах координат, связанных с шестерней X_1OY_1 и с колесом X_2OY_2 имеют вид:

$$y_{2\,AB} = \sqrt{(r_{aw2} + x_2 tg\delta_2)^2 - r_{B2}^2};$$

$$y_{1\,CD} = \sqrt{(r_{aw2} + x_1 tg\delta_1)^2 - r_{B1}^2};$$

$$x_{2\,BK} = a; \quad x_{2\,DT} = a - B_2;$$

$$x_{1\,AT} = \mathrm{H}; \quad x_{1\,KC} = \mathrm{H} - B_1. \qquad (8)$$

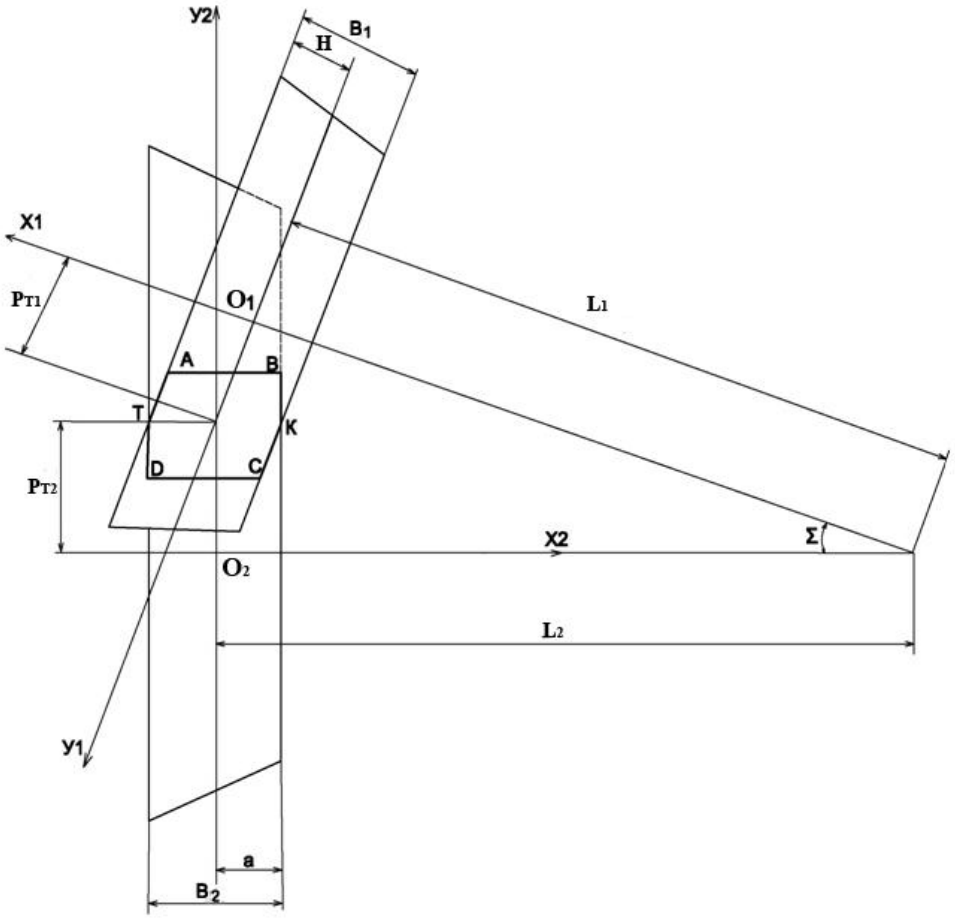


Рис. 2. Поле зацепления передачи

H – расстояние от начального сечения до большего торца шестерни;

a – расстояние от начального сечения до меньшего торца колеса;

B_1, B_2 – соответственно ширина шестерни и колеса

Формулы преобразования координат имеют вид:

$$x_2 = -x_1 cos\Sigma - y_1 sin\Sigma + L_2 - L_1 sin\Sigma,$$
$$y_2 = x_2 sin\Sigma - y_1 cos\Sigma + L_1 cos. \quad (9)$$

Для определения радиусов кривизны в точке B' (вход зубьев в зацепление) необходимо решить совместно уравнение гиперболы AB и прямой BK, предварительно записав их в одной системе, например X_1OY_1 :

$$\begin{cases} a = -x_1 cos\Sigma - y_1 sin\Sigma + L_2 - L_1 cos\Sigma \\ \sqrt{(r_{aw2} + a \cdot tg\delta_2)^2 - r_{B2}^2} = x_1 sin\Sigma - y_1 cos\Sigma + L_1 sin\Sigma, \end{cases} \quad (10)$$

решая систему, получим:

$$x_{1B} = sin\Sigma\sqrt{(r_{aw2} + a \cdot tg\delta_2)^2 - r_{B2}^2} + cos\Sigma(L_2 - a) - L_1;$$
$$y_{1B} = sin\Sigma(L_2 - a) - cos\Sigma\sqrt{(r_{aw2} + a \cdot tg\delta_2)^2 - r_{B2}^2};$$
$$y_{2B} = \sqrt{(r_{aw2} + a \cdot tg\delta_2)^2 - r_{B2}^2};$$
$$\rho_{T1B} = y_{1B}; \quad \rho_{T2B} = y_{2B}. \quad (11)$$

Решая совместно уравнения гиперболы CД и прямой ДТ определим величины радиусов кривизны эвольвентных геликоидов в точке B” (выход зубьев из зацепления):

$$\begin{cases} \sqrt{(r_{aw1} + x_1 tq\delta_1)^2 - r_{B1}^2} = (a - B_2)\sin\Sigma - y_2\cos\Sigma + L_2\sin\Sigma \\ x_1 = -(a - B_2)\cos\Sigma + y_2\sin\Sigma - L_1 + L_2\cos\Sigma. \end{cases} \quad (12)$$

Решение системы приводит к квадратному уравнению вида:

$$Ay_2^2 + By_2 + C = 0, \quad (13)$$

где $A = \sin^2\Sigma(tg^2\delta_1 - 1)$;

$$B = 2\sin\Sigma[tg\delta_1 r_{aw1} - (B_2\cos\Sigma - a\cos\Sigma + L_1 - L_2\cos\Sigma)(tg^2\delta_1 - 1)];$$
$$C = (B_2\cos\Sigma - a\cos\Sigma + L_1 - L_2\cos\Sigma)^2(tq\delta_1 - 1) -$$
$$-(B_2\cos\Sigma - a\cos\Sigma + L_1 + L_2\cos\Sigma)tg\delta_1 2r_{aw1} + r_{aw1}^2 - r_{b1}^2.$$

Откуда:

$$y_{2\Delta} = \min\left\{\frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}\right\};$$

$$y_{1\Delta} = (a - B_2)\sin\Sigma - y_{2\Delta}\cos\Sigma + L_2\sin\Sigma; \qquad (14)$$

$$\rho_{T2\Delta} = y_{2\Delta} \quad ; \qquad \rho_{T1\Delta} = y_{1\Delta}.$$

Далее по формулам:

$$V_{\Sigma}^{\tau} = \omega_1\rho_{T1} + \omega_2\rho_{T2};$$

$$V_{s}^{\tau} = \omega_2\rho_{T2} - \omega_1\rho_{T1}, \qquad (15)$$

вычисляются значения суммарной скорости и скорости скольжения в этих точках.

Величины суммарной скорости и скорости скольжения вдоль линии контакта не меняются при перемещении контактной точки в поле зацепления [3]:

$$V_{\Sigma}^{t} = \omega_1 r_{B1}\sin\beta_{B1} + \omega_2 r_{B2}\sin\beta_{B2};$$

$$V_{S}^{t} = \omega_2 r_{B2}\sin\beta_{B2} + \omega_1 r_{B1}\sin\beta_{B1}. \qquad (16)$$

По результатам проведенных исследований разработана программа расчета кинематических характеристик контакта для случая точечного и линейного касания зубьев в характерных точках фазы зацепления.

Библиографический список

1. Казарцев, Д.Н. Преимущества и особенности пространственных зубчатых передач с эвольвентно-коническими колесами / Д.Н. Казарцев // Научные труды по материалам Международной научно-практической конференции «Современные тенденции в науке и образовании». – М., 2015. – С. 35–36.

2. Казарцев, Д.Н. О влиянии скорости продольного скольжения на толщину слоя смазки в контакте пространственных зубчатых передач / Д.Н. Казарцев, Б.А. Лопатин, А.В. Дерябин // Совершенствование машиностроительных материалов, конструкции машин и методов обработки детали. – Челябинск, 1984. – С. 67–72.

3. Безруков, В.С. Определение кинематических и нагрузочных характеристик контакта в гиперболоидной передаче / В.С.Безруков, Б.А. Лопатин // Совершенствование машиностроительных материалов, конструкции машин и методов обработки детали. – Челябинск 1978 .

4. Казарцев, Д.Н. Геометрические характеристики гиперболоидных зубчатых передач, определяющие несущую способность пространственного эласто-гидродинамического контакта / Д.Н. Казарцев // Наука ЮУрГУ. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014.

5. Ерёмин, В.П. Создание нового поколения электромеханических приводов трансформируемых систем космических аппаратов / В.П. Ерёмин, Н.В. Ерёмин, А.Н. Кирилин и др. – Самара: ФГУП «ГНПРКЦ ЦСКБ-Прогресс», 2011. – 563 с.

К содержанию

УДК 004.9

СОЗДАНИЕ МОДЕЛЕЙ РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

С.В. Плотникова, В.А. Плотников

В статье описывается относительно новый способ создания 3D модели – фотограмметрия, заключающийся в фотографировании реального объекта со всех сторон и последующей обработке полученных фотографий в программе Autodesk 123D Catch.

Ключевые слова: 3D модель, фотограмметрия, Autodesk 123D Catch.

В настоящее время компьютерные технологии всё глубже проникают во все сферы человеческой жизни. Обычному человеку уже достаточно трудно представить свою жизнь без такого источника информации, как Интернет, а инженеру – без САПР. С развитием вычислительной техники расширился и тот объём информации, который она может предоставить. На определённом этапе развития своей вычислительной мощности компьютеры смогли воспроизводить 3D модели, но чем сильнее возрастала вычислительная мощность, тем сильнее возрастало и качество 3D моделей, что в свою очередь увеличивало время их создания.

При создании 3D модели с помощью различных CAD-систем необходимо потратить большое количество часов на её разработку. Что касается методов получения трехмерной модели с реального физического объекта, то тут не все однозначно. Требуются наличие либо дорогостоящего лазерного сканера, либо с помощью лазерного строительного уровня, веб-камеры и специального программного обеспечения.

Относительно недавно появился новый способ создания 3D модели – «сканировать» объект в 3D модель, используя обычный цифровой фотоаппарат. Такая технология называется фотограмметрия. Она заключается в том, что 3D модель строится из фотографий сделанных вокруг объекта. От количества фотографий напрямую зависит качество модели. Так, уже

при 60–70 фотографиях модель получается качественной и требует лишь незначительной доработки. Данная технология очень удобна при создании моделей различных архитектурных сооружений, памятников и т.д.

Для создания 3D модели был выбран непростой по своей форме объект – статуя крылатого коня, находящаяся возле здания Администрации г. Златоуста (рис. 1). Построение модели этого объекта отняло бы значительное количество времени при использовании классического способа построения.

В качестве программы был выбран программный продукт компании Autodesk – 123D Catch [1]. Такой выбор обусловлен тем, что это полностью бесплатный продукт, а также то, что в нашем университете программные продукты данной компании изучаются студентами по многим дисциплинам и их возможности широко изучены. Данная программа использует облачные вычисления, т.е. при создании модели все данные передаются на удалённый сервер для их дальнейшей обработки.

Рис. 1. Реальный объект – статуя крылатого коня

Для создания модели сначала были сделаны 54 фотографии объекта по кругу, для большой точности во время съёмки было выполнено два круга. При выполнении фотографий следует придерживаться некоторых правил:

1. Сначала производится съемка объекта со всех сторон, а затем делаются более детальные виды (если требуется).

2. Объект должен быть неподвижен. Необходимо перемещаться вокруг него, а не вращать объект.

3. Каждый последующий кадр должен накладываться/пересекать предыдущий.

4. Сервис не работает с прозрачными объектами.

5. Количество фотографий не должно превышать 70 штук.

6. Размер фото уменьшается на серверах сервиса до 3 мегапикселей. Для экономии времени закачки фото на сервер, нет смыла делать их большего размера [2].

Следующий этап – это ввод данных в программу и получение первичной модели (рис. 2). Этот процесс полностью автоматизирован и проходит без участия человека. После чего модель обрабатывалась в программе 3ds Max для устранения неточностей.

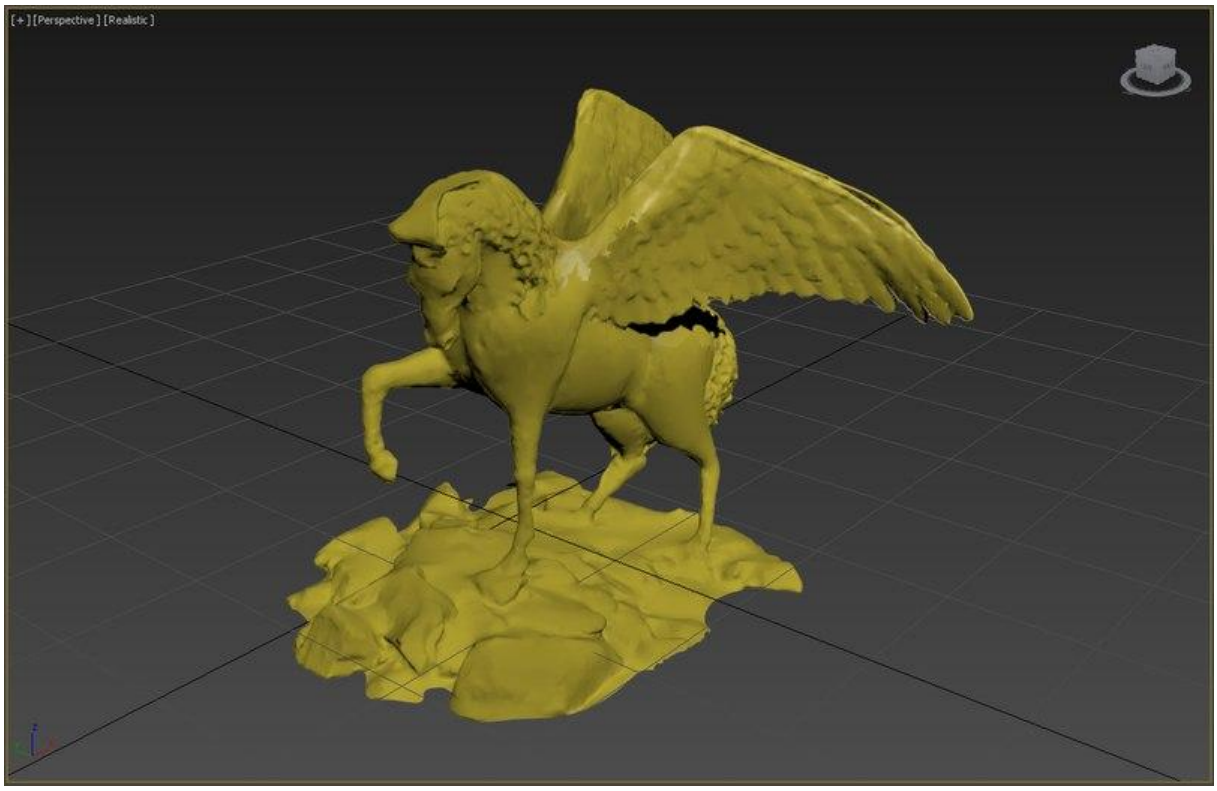


Рис. 2. 3D модель, полученная в программе 123DCatch

Для получения качественной 3D модели необходимо учитывать некоторые нюансы: достаточно хорошее освещение объекта, чистота объекта (отсутствие снега, пыли, грязи и т.д).

Вышерассмотренная технология даёт неоспоримые преимущества при построении 3D моделей реальных объектов и, несомненно, найдёт свою нишу в сфере 3D моделирования, что поможет сохранить драгоценное время.

Библиографический список

1. Официальный сайт программы 123D Catch. – URL: http://www.123-dapp.com/catch.
2. Сканируем в 3D с помощью фотоаппарата или 123D Catch. – URL: http://habrahabr.ru/post/134781.

К содержанию

УДК 004.922

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПУЛЕМЕТА СИСТЕМЫ МАКСИМА (МАКСИМ)

С.В. Плотникова, О.А. Сухарева

В статье описывается способ создания 3D модели объекта в программе Autodesk Inventor Professional с последующей распечаткой на 3D принтере.

Ключевые слова: 3D модель, Autodesk Inventor Professional, 3D-принтер.

Ни для кого не секрет, что на сегодняшний день компьютерные технологии стали неотъемлемой частью нашей жизни, но все же 3D-принтеры – на первый взгляд несколько экзотичное словосочетание. Однако с технологической точки зрения в процессе «трёхмерной печати» нет ничего особенно сверхъестественного и сложного: речь идёт о послойном формировании трёхмерных объектов; печатающий материал – полимеры, в данном случае, накладываются не в один слой на какую-то плоскость, а постепенно – друг на друга. 3D Принтер PICASO DESIGNER как раз один из тех принтеров, который печатает подобным образом. Он компактен и прост в применении.

Процесс изготовления 3D модели пулемета проходил в несколько этапов. Для начала следовало определиться непосредственно с самим объектом, для чего была совершена экскурсия в музей, где была выставлена экспозиция, посвященная 70-летию Победы в Великой Отечественной войне. В качестве объекта был выбран легендарный станковый пулемет системы Максима (рис. 1).

Затем последовало выполнение деталей пулемета в программе Autodesk Inventor Professional. Рассмотрим построение деталей в этой программе на примере деталей «Дуло» и «Щит». При выполнении детали «Дуло» (рис. 2) применялись такие инструменты, как «Выдавливание», «Отверстие», «Круговой массив» и «Сопряжение», множество рабочих плоскостей и 2D эскизов.

Рис. 1. Реальная модель станкового пулемета системы Максима в музее

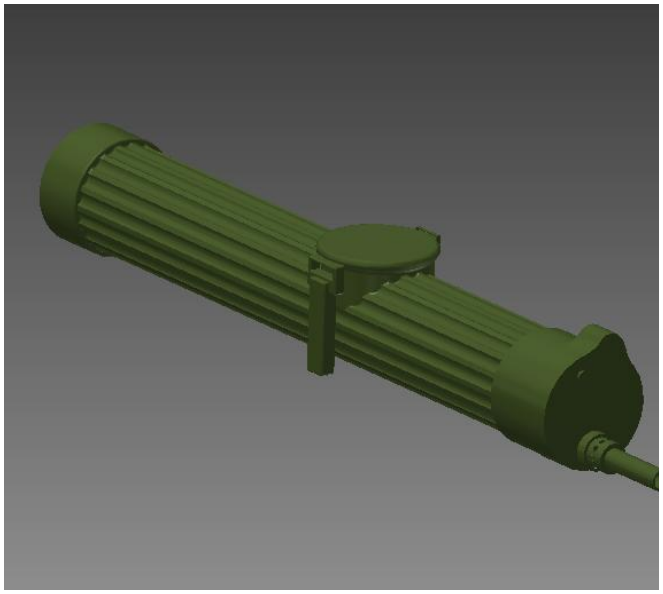


Рис. 2. Деталь «Дуло», выполненная в программе Autodesk Inventor Professional

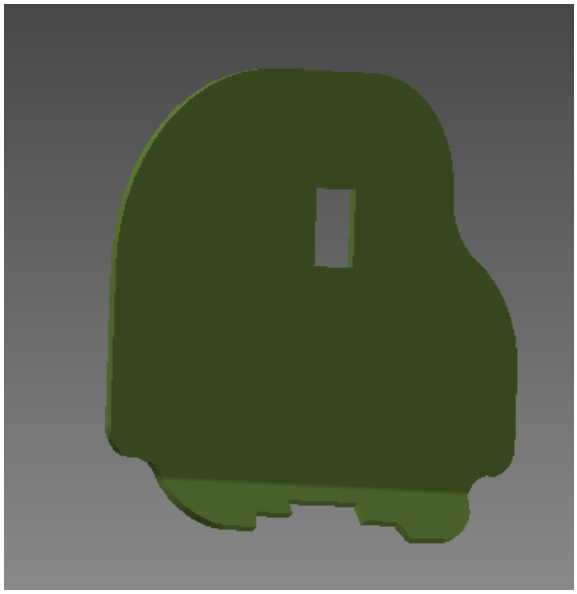


Рис. 3. Деталь «Щит», выполненная в программе Autodesk Inventor Professional

Особенностью построения детали «Щит» (рис. 3) явилось преобразование в листовой материал для придания необходимой формы детали (сгибы, заломы и т.п.).

После того, как все детали пулемета были смоделированы, мы приступили к распечатке деталей на 3D-принтере. 3D принтер PICASO DESIGNER работает с ABS и PLA пластиками. Во время печати материал подается через сопло в 300 или 150 микрон. Платформа, на которой производится печать, прогревается равномерно. Это не позволяет модели разваливаться при создании. Область печати этого принтера равна 20x20x20

сантиметров [1]. Принцип работы PICASO DESIGNER] очень прост. Из любого графического редактора (в данном случае это Autodesk Inventor Professional) нужно импортировать трехмерное изображение подходящих размеров в формат STL. Затем stl-файл при помощи программы PICASO POLYGON FOR DESIGNER размещается нужным образом на платформе, настраиваются качество печати и процент заполнения детали пластиком. Здесь же происходит преобразование stl-файла в gcode-файл. Затем файл посылается в печать. Принтер нагревает полимерную нить, которая подается на платформу при помощи экструдера. После того, как печать завершена, модель сразу можно снимать с платформы. При распечатке мы столкнулись с некоторыми трудностями, например, принтер отказывался печатать сильно мелкие детали. Эта проблема была решена путем увеличения масштаба модели.

Далее последовала сборка отдельно напечатанных деталей, здесь трудностей не возникло, так как пластик легко клеится.

И завершающий этап – это покраска готовой модели. Красили при помощи автомобильной эмали темно-зеленого цвета, предварительно загрунтовав (рис. 3).

Рис. 3. Готовая модель пулемета системы МАКСИМА

Вышеописанная технология позволяет получать 3D модели реальных объектов с последующей их распечаткой на 3D-принтере, что является весьма интересным не только для разнообразия учебного процесса, но и может быть использована в области архитектуры, дизайна, рекламы и др.

Библиографический список

1. Официальный сайт производителя 3D-принтеров PICASO 3D. – URL: http://picaso-3d.ru.

К содержанию

УДК 621.313.3

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В НЕЗАВИСИМЫХ ПРИВОДАХ МАШИНЫ БЕЗОГНЕВОЙ РЕЗКИ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

В.М. Сандалов, Е.А. Полуэктов, Т.Р. Хазиев

Описаны вентильные двигатели независимых приводов машины. Обоснована целесообразность применения двигателей в системе управления независимыми приводами.

Ключевые слова: вентильный двигатель; электромеханический преобразователь; датчик положения ротора; независимые приводы подач.

В современных тенденциях развития нефтепроводов наблюдается увеличение их пропускной способности, что приводит к росту давления в трубопроводе и как следствие увеличению толщин труб и использование высокопрочных материалов с пределом прочности свыше 60кг/мм^2 (такие трубы используются на нефтепроводе «Восточная Сибирь – Тихий океан»). При строительстве и ремонте таких магистральных трубопроводов используются машины для безогневой резки труб большого диаметра (далее МРТ) [1, 2]. К конструкциям этих машин предъявляются достаточно жесткие требования: они должны быть высоконадежными, иметь минимальную стоимость, быть простыми в обслуживании, допускать эксплуатацию в сложных климатических условиях, обеспечивать резку труб в широком диапазоне диаметров. От надёжности и производительности МРТ существенно зависит время и стоимость ремонта трубопровода.

Установленные зависимости изменения нагрузки с течением времени при резке труб разного диаметра и толщины [3] позволяют проанализировать нагруженность приводов. Следующим этапом при проектировании независимых приводов подач является выбор электродвигателей.

Для привода подачи врезания и круговой подачи машины «Волжанка 4» рекомендован к применению вентильный управляемый двигатель серии ДВМ – 100, разработанный кафедрой ЭАПП, общий вид которого представлен на рисунке 1.

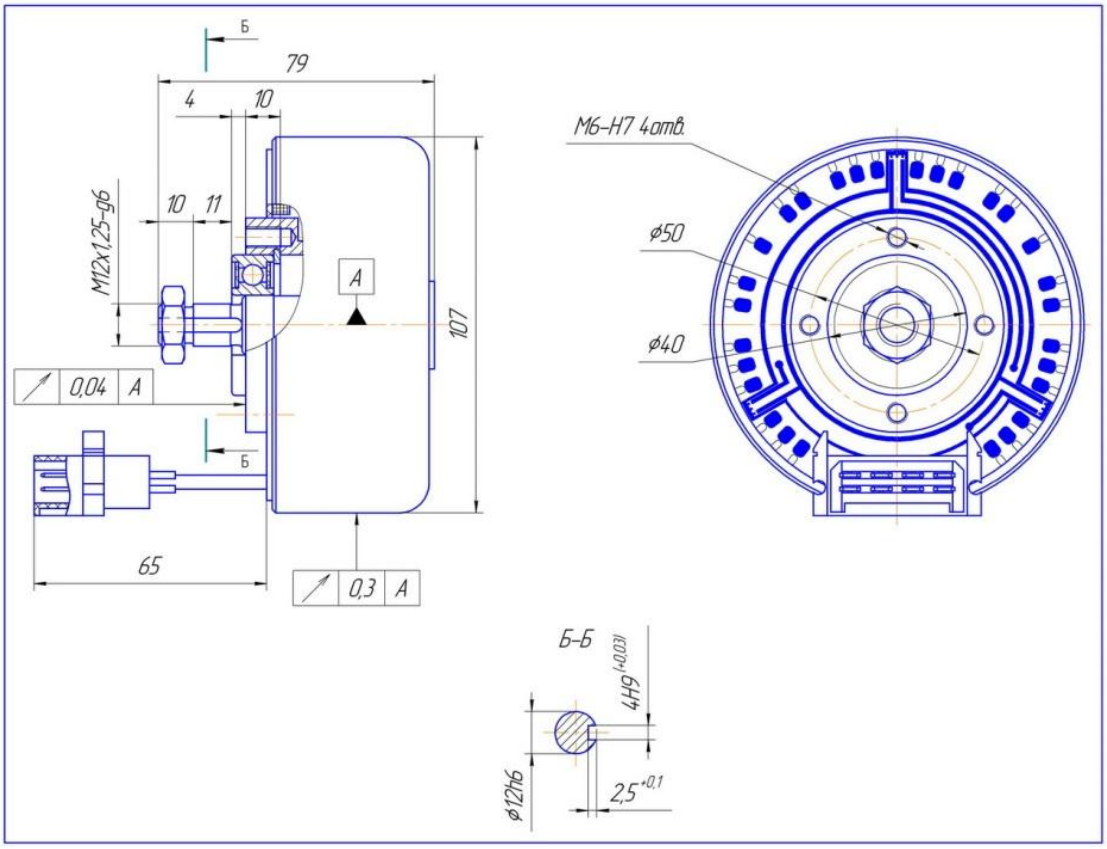


Рис. 1. Общий вид двигателя серии ДВМ – 100

Вентильный двигатель ДВМ – 100 имеет высокие эксплуатационные характеристики, выпускается серийно и используется в приводах дверей и дисковых тормозов трамваев, солнечных батарей и т.д.

Двигатель вентильный моментный ДВМ – 100 предназначен для вращения, поворота и удержания механической нагрузки на выходном валу. Имеет встроенный датчик положения ротора, набранный из трех микросхем Холла TLE4935L. Наружный ротор двигателя выполнен в виде стакана, на внутренней поверхности которого закреплены редкоземельные магниты. Внутри ротора расположен статор с трехфазной обмоткой, соединенной в звезду. Двигатель снабжен валом и подшипниками, но не имеет собственного корпуса. Устанавливается в механизмы со степенью защиты не ниже IP54.

Двигатель выдерживает двукратное превышение момента в течение 1 минуты. Сохраняет свою работоспособность в диапазоне температур окружающей среды ±40 °С. Исполнение выходного вала и тип электрического разъема согласуются с заказчиком.

В состав схемы вентильного двигателя (ВД) входят следующие основные узлы:

- электромеханический преобразователь (ЭМП);
- датчик положения ротора (ДПР);
- полупроводниковый коммутатор (ПК).

Структурная схема вентильного двигателя представлена на рисунке 2.

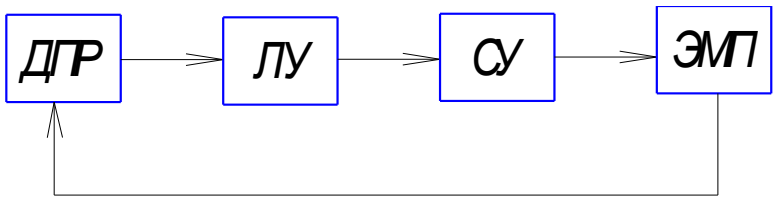


Рис. 2. Структурная схема вентильного двигателя:
ДПР – датчик положения ротора;
ЛУ – логическое устройство;
СУ – система управления;
ЭМП – электромеханический преобразователь

ЭМП представляет собой синхронную машину с возбуждением от постоянных магнитов на роторе и секционированной обмоткой якоря на статоре. Принцип действия ВД соответствует принципу действия классического двигателя постоянного тока независимого возбуждения: при повороте ротора к источнику питания подключаются те секции обмотки якоря, пропускать ток через которые, с точки зрения создания вращающего момента, наиболее выгодно. Отличие сводится к способу питания секций якоря: в классическом двигателе постоянного тока роль коммутирующего элемента выполняет щеточно-коллекторный узел, коммутация секций ВД обеспечивается ПК в зависимости от положения ротора, определяемого ДПР.

Функциональная схема четырехсекционного вентильного двигателя с нереверсивным питанием силовых обмоток и дискретным ДПР на базе элементов Холла, представлена на рисунке 3. В состав схемы входят: ЭМП с обмоткой LM, состоящей из отдельных секций LM1...LM4 на статоре и возбуждением от постоянных магнитов ротора, силовой инвертор (СИ), логическое устройство и ДПР на базе двух элементов Холла ДХ1 и ДХ2. Питание двигателя осуществляется от внешнего источника постоянного напряжения G.

Взаимодействие полей статора и ротора создает вращающий момент двигателя, ротор поворачивается, что вызывает очередное переключение ДПР, и цикл повторяется.

По способу соединения фазных обмоток ВД между собой возможны три варианта: в «звезду» – разомкнутая обмотка (РО), в «кольцо» – замкнутая (ЗО), с независимым подключением – гальванически развязанные фазы (ГР). Наиболее часто применяется разомкнутая обмотка, реже – гальванически развязанные фазы, требующие большого количества силовых ключей. Замкнутая обмотка в ВД используется редко из-за повышенного тока через ключи СИ.

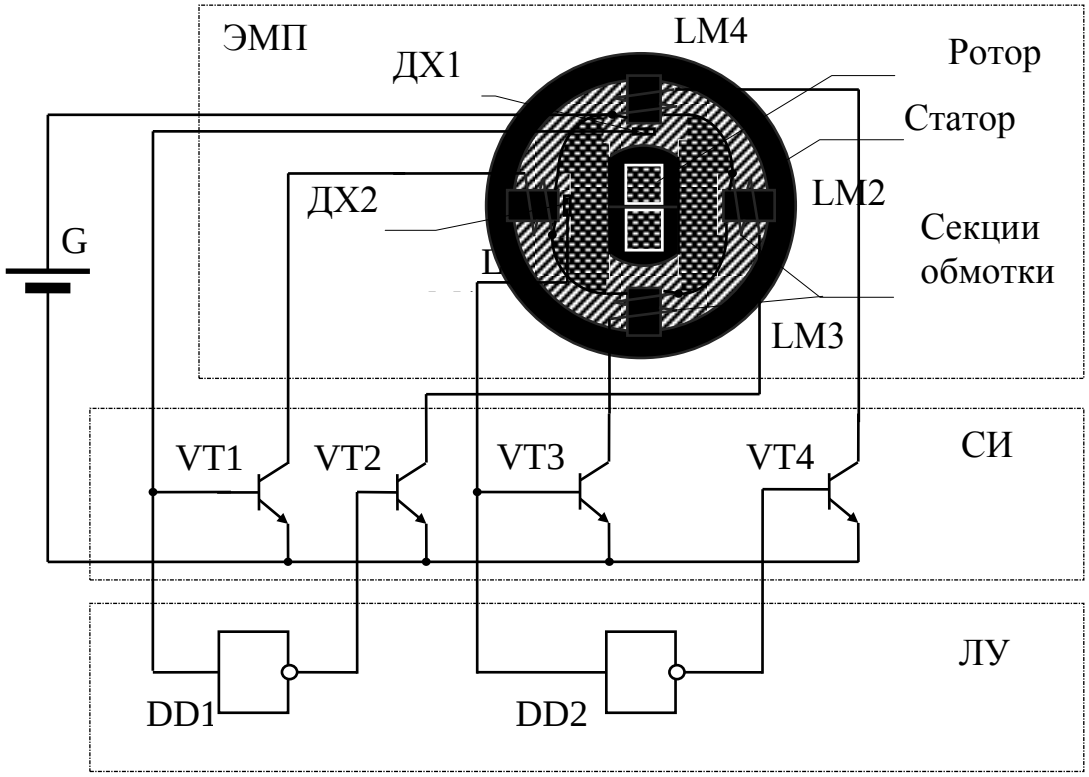


Рис. 3. Функциональная схема вентильного двигателя

В двигателе обмотки сдвинуты относительно друг друга на 120º. Применяется реверсивная схема пульсации момента за счёт дискретной коммутации. Возможна вариация параметров двигателя за счёт изменения параметров обмоток.

Алгоритм коммутации определяет очередность и комбинацию подключения фаз к источнику питания.

При реверсивном питании полная коммутация соответствует подключению к источнику в любой момент времени всех фаз, а любое переключение сводится к реверсу питания одной фазы при нечетном и двух фаз при четном числе фаз. Варианты организации неполной коммутации, предусматривающей отключение от источника питания некоторого числа фаз, более разнообразны. В частности, возможен симметричный алгоритм, когда на каждом такте число фаз, подключенных к источнику питания, сохраняется и несимметричный, с изменением числа включенных фаз. Последний, более сложный алгоритм, требует увеличения числа элементов ДПР и ЛУ.

Способ питания, алгоритм коммутации и число фаз двигателя при использовании позиционной коммутации, когда на выходах ДПР формируются логические сигналы, определяют число тактов коммутации, то есть количество дискретных положений вектора поля якоря на электрический оборот ротора. При симметричном расположении фаз, нереверсивном пи-

тании и симметричном алгоритме коммутации число тактов определяется числом фаз. Число тактов удваивается в случае реверсивного питания при нечетном числе фаз. Дополнительно удвоить число тактов можно за счет перехода к некоторым несимметричным алгоритмам коммутации.

На энергетические и моментные характеристики ВД значительно влияет угол коммутации – фазовый сдвиг между первой гармоникой фазного напряжения и первой гармоникой фазной ЭДС вращения. Нулевой сдвиг соответствует нейтральной коммутации, положительный – опережающей, отрицательный – отстающей или запаздывающей. Опережающая коммутация часто позволяет увеличить момент двигателя, а нейтральная обычно соответствует максимуму КПД. Оптимизация угла коммутации достигается соответствующим смещением чувствительных элементов ДПР относительно оси фазы.

На рисунке 4 представлена механическая характеристика ДВМ-100.

Двигатель вентильный моментный ДВМ-100 трехфазный, 26-полюсный, обращенной конструкции. На неподвижном статоре 1 двигателя размещена секционная обмотка якоря 2, состоящая из 24-х катушек. Схема соединения обмотки – звезда с нейтральным выводом. Посадка статора на вал производится с помощью подшипников качения 3.

Ротор двигателя 4 с расположенными на нем 26-ю постоянными магнитами 5 имеет чашеобразную форму, выполнен за одно целое с валом. Конструкция ротора неявнополюсная, радиальная. Материал магнитов – самарий-кобальт.

На статоре в пазах катушек расположены три датчиков положения ротора 6, выполненные на кристаллах Холла, на расстоянии 30° друг от друга. Кроме того, на статоре расположена печатная плата блока управления 7, которая содержит выводы 8 фаз, датчиков положения ротора. Для крепления двигателя на статоре предусмотрен посадочный фланец 9 с четырьмя отверстиями М6.

На базе ВД ДМВ-100 возможна реализация трех, четырех, шести и двенадцати фазных машин. Соответственно изменяется число ДПР и обмоток.

Сопротивление фазы обмотки ДВМ-100 складывается из 8 катушек двигателя, а сопротивления якоря обмотки ДВМ-100 складывается из двух фаз двигателя.

На рисунке 5 представлен сборочный чертеж двигателя ДВМ-100.

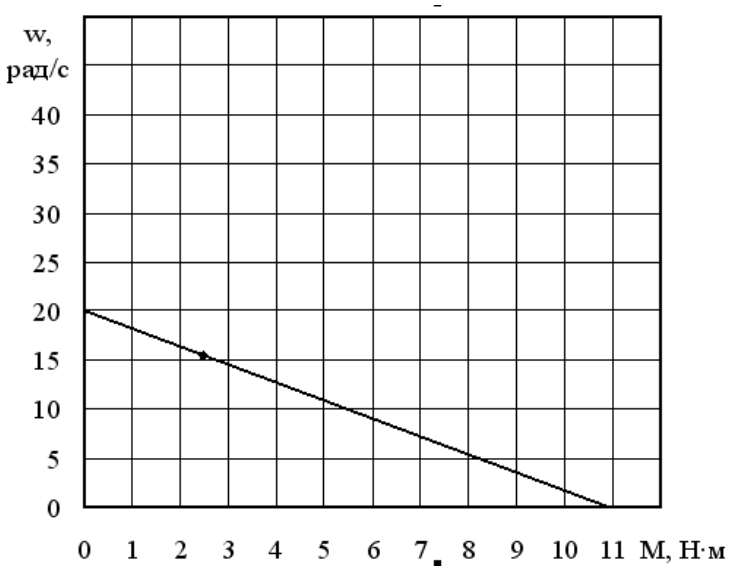


Рис. 4. Механическая характеристика ДВМ-100

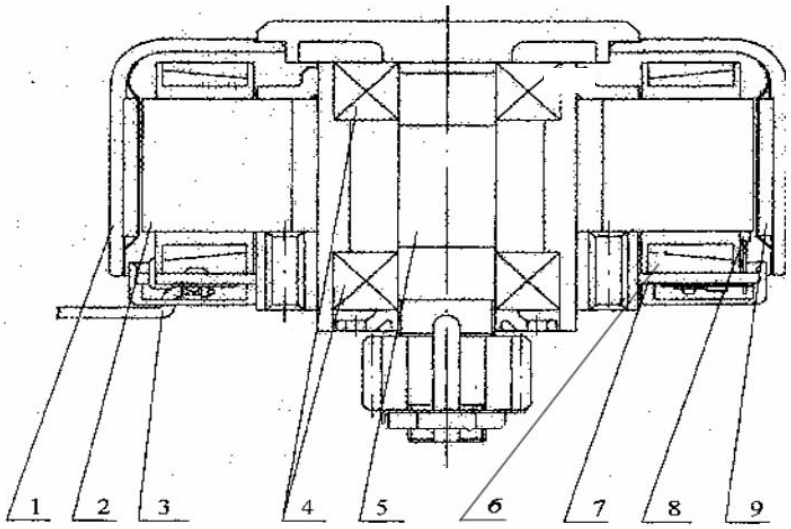


Рис. 5.Сборочный чертеж вентильного двигателя ДВМ-100

Одним из важнейших функциональных элементов схемы ВД является ДПР. ДПР в виде отдельного конструктивного элемента может быть реализован на базе индуктивных, фотоэлектрических и гальваномагнитных чувствительных элементов. Одна из разновидностей последних датчиков, интегральные микросхемы на основе эффекта Холла, используется в ВД наиболее часто. Преимуществами датчиков Холла являются высокая чувствительность, малые габариты, позволяющие размещать датчики непосредственно в пазах двигателя, что, в свою очередь, исключает необходимость настройки датчиков.

По расчетным данным приводов врезки и подачи на механической характеристике двигателя ДВМ – 100 указываются точки номинальных режимов работы электродвигателей: значения угловой скорости и момента.

Механическая характеристика вентильного управляемого двигателя представляет собой прямую линию. Построение характеристики производится по двум точкам: угловой скорости идеального холостого хода, соответствующей моменту равному нулю, и угловой скорости, соответствующей номинальному моменту.

Для построения механической характеристики двигателя ДВМ – 100 используются паспортные данные двигателя, представленные в таблице.

Таблица

Паспортные данные двигателя ДВМ – 100

Параметры	Значение
Напряжение номинальное, В	24
Мощность номинальная, Вт	50
Ток номинальный, А	2,4
Момент номинальный, Н·м	2,3
Скорость номинальная, рад/с	19
Число пар полюсов	13
Сопротивление обмоток $R_{об}$, Ом	1,547
Индуктивность обмоток $L_{об}$, мГн	4,541
Момент инерции J, кг·м^2	0,00049
Габаритные размеры, мм	107×107×80

Механическая характеристика двигателя ДВМ – 100 приводов врезки и подачи представлена на рисунке 6.

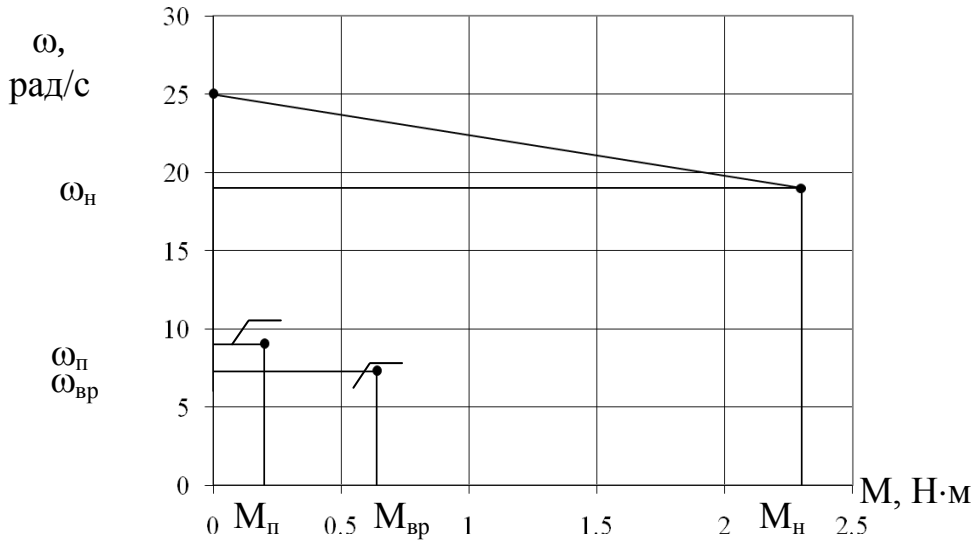


Рис. 6. Механическая характеристика двигателя ДВМ – 100:
1 – точка номинального режима работы двигателя привода врезки;
2 – точка номинального режима работы двигателя привода подачи

Номинальный режим работы двигателя ДВМ – 100 отличается от расчетных номинальных режимов работы двигателей приводов врезки и подачи значительным запасом: двукратным по угловой скорости и четырехкратным по моменту. Запас по скорости для привода врезки позволяет возвращать фрезу в исходное состояние на повышенной скорости. Надежность работы, обусловленная значительным запасом, позволяет использовать данный двигатель в жестких условиях крайнего севера. Благодаря разработанной схеме управления вентильным двигателем, существует возможность обеспечить номинальный режим работы в требуемых точках, регулированием частоты вращения и тока (момента) двигателя.

Библиографический список

1. Грешняев, В.А. Машина для безогневой резки труб «Волжанка – 3М» / В.А. Грешняев // Трубопроводный транспорт нефти. – 2009. – № 8. – С. 18–20.

2. Патент на полезную модель 94497 Российская Федерация, МПК B 23 D21/06. Устройство для резки труб/ Б.А. Лопатин, Д.Б. Лопатин, Е.А. Полуэктов, Т.Р. Хазиев. – № 2010104653/22; заявл. 10.02.2010; опубл. 27.05.2010 Бюл. № 15. – 3 с.

3. Лопатин, Б.А., Исследование нагруженности приводов подач машины для безогневой резки труб большого диаметра / Б.А. Лопатин, Т.Р. Хазиев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 8.

К содержанию

УДК 669.112

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАВАЕМЫМ КОМПЛЕКСОМ МЕХАНИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗА СЧЕТ ВВЕДЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ФАЗ С РАЗЛИЧНОЙ УДЕЛЬНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ

В.И. Чуманов, А.Н. Аникеев, И.В. Чуманов

В рукописи изложены существующие способы создания композиционных материалов на основе железа, основанные на введении мелкодисперсных фаз различной удельной плотности. Приведены результаты анализа преимуществ и недостатков описанных способов.

Ключевые слова: дисперсные фазы; расплавы; введение частиц; композиционный материал.

Проблема стойкости материалов (и, соответственно, деталей машин и механизмов) является одной из самых насущных проблем современного машиностроения. Традиционным методом увеличения различных механических свойств является легирование металлов, либо обработка из поверхности различными способами (наплавки, напайки, лазерной и плазменной

обработки и т.д.). Альтернативой традиционным металлическим материалам являются композиционные материалы, содержащие в своём составе мелкодисперсные частицы карбидов, оксидов или нитридов. Эти материалы называют дисперсно-упрочненными материалами. Одним из самых значительных преимуществ таких материалов является возможность задавать необходимый комплекс механических и физических свойств, за счет использования различных типов частиц [1].

Причиной отсутствия повсеместного распространения дисперсно-упрочненных материалов является разница плотностей вводимых частиц и упрочняемого металла: при введении частиц они либо всплывают на поверхность расплава и ассимилируются шлаком, либо опускаются на дно, либо располагаются хаотично в расплаве, а после разливки, и в объеме закристаллизовавшегося материала. Таким образом, для контролируемого распределения частиц было разработано несколько способов введения, учитывающих природу частиц и расплава.

1. Введение дисперсного порошка в слиток на стадии разливки сверху. Сталь 45Л (0,42 % C; 0,56 % Mn; 0,37 % Si; 0,025 % S; 0,030 % P; 0,032 % Al) для отливки модельных слитков диаметром 145 мм и высотой 600 мм выплавляли в печи ДСП-5 двухшлаковым процессом с раскислением в ковше алюминием (800 г/т). Бесприбыльные слитки массой 70 кг. Отливали из одного ковша со стопором в вертикальные шамотные формы. Половину из слитков модифицировали тонкодисперсной смесью (ТДС) порошков SiO2+C, вводя смесь в струю заливаемой в форму стали через специальную течку, прикрепленную к днищу ковша. Исследование включало определение химического состава металла, выявление его макро- и микроструктуры, снятие серных отпечатков, изучение неметаллических включений в анодно-выделенных осадках и на шлифах, механические свойства (растяжение, ударный изгиб, вязкость разрушения). Исследование химического состава показали, что распределение элементов по высоте и поперечному сечению слитков оказались идентичными, за исключением углерода, содержание которого в модифицированном металле в среднем оказалось больше на 0,03 %. Исследования макроструктуры показали, что модифицирование стали ТДС резко изменяет макроструктуру слитка, почти полностью устраняя крупнодендритную форму кристаллитов и формируя однородное зернистое строение по всему сечению темплетов. Изучение неметаллических включений выявило большое разнообразие форм и размеров алюмосиликатных и сульфидных включений, количество оксидных включений возросло незначительно. Механические испытания показали, что у модифицированного металла возросли на 18 % прочностные и на 37–50 % пластические свойства, в 1,5–2 раза повысились трещиностойкость и ударная вязкость [2].

Несомненными преимуществами данного способа является простота его реализации, однако следует отметить, что при реализации данного метода отсутствует возможность прогнозировать и управлять распределением час-

тиц. Весьма сомнительно, что введенные частицы в полученных слитках расположились равномерно по всему сечению, а неравномерность распределения приводит к непрогнозируемой неравномерности свойств.

2. Введение дисперсных частиц в металл при непрерывной разливке

Подготовленные, закатанные в проволоку модификаторы (Y2O3, TiN, TiCN), вводили в Ст.3сп при разливке на машине непрерывного литья посредством переносного трайб-аппарата, подавая проволоку в кристаллизатор. Исследования полученного экспериментального металла показали, что плотность модифицированного металла увеличилась на 25–56 кг/м3 (0,3–0,7 %) при использовании всех порошковых инокуляторов. Изменилась также структура стали: измельчилось зерно, уменьшилась центральная пористость, осевая химическая неоднородность, общие ликвационные полосы и трещины. Результаты механических испытаний показали улучшение свойств модифицированных непрерывнолитых заготовок относительно не модифицированных [3].

Исследователями было отмечено, что подача нанопорошковых модификаторов в кристаллизатор МНЛЗ не позволяет получить концентрацию инокуляторов в слитке выше 0,005–0,007 % из-за технологических особенностей введения и ограниченных технических возможностей, поэтому повторное модифицирование проводили в ковше. Порошковую ленту с НПИ подавали с помощью трайб-аппарата со скоростью 2,0–7,5 м/мин в приемную ванну промежуточного ковша сортовой МНЛЗ, разливая сталь марки 18Г25С при скорости вытягивания слитка 2,2–2,4 м/мин. Вводили нитрид и карбонитрид титана. Исследование опытного металла показало, что введение модификаторов в ковш, обеспечивает увеличение концентрации НПИ в металле до 0,015–0,047 % и существенное увеличение ряда показателей: повысилась удельная плотность модифицированного металла до 48–82 кг/м3 (в зависимости от вида НПИ); снизилась бальность развития внутренних дефектов на 40–56 %; увеличилась толщина корочки на 25,8–26,9 %; сократились области равноосных кристаллов (на 46,7–53,5 %), сократилась дендритная зона (20,5–25,4 %) и длина первичных осей дендритов (23,9–25,5 %).

Механические испытания образцов модифицированной стали показали увеличение предела текучести, в среднем, на 7,2 %; временному сопротивлению разрыву – 1,0 %; предела прочности – 1,7 %; относительного удлинения – 8,4 %; относительного сужения – 14,8 %. Максимальное улучшение показателей получено при концентрации основного вещества НПИ в металле 0,015–0,025 %, что было достигнуто при подаче порошковой ленты в промежуточный ковш МНЛЗ [4].

Преимущество данного метода получения дисперсно-упрочненного материала в том, что он высокотехнологичен: для получения материала практически не требуется никаких дополнительных механизмов (за исключением трайб-аппарата), при этом получаемый опытный металл значительно превосходит по свойствам не модифицированные образцы сравнения. Од-

нако, при таком методе введения невозможно добиться равномерного распределения вводимых модификаторов по сечению получаемой заготовки, как вследствие кристаллизационных явлений, так и вследствие седиментации по удельному весу: нитрид титана имеет плотность 5,44 г/см³; оксид иттрия Y2O3 – 4,84 г/см³. Таким образом, в жидком металле все вводимые частицы будут всплывать на поверхность расплава, за исключением тех, которые будут захватываться потоками металла (при введении в ковш) или растущими дендритами (при введении в кристаллизатор).

3. Введение дисперсных частиц в металл при вытягивании заготовки в направлении обратном гравитационному полю

Еще одним, интересным и перспективным способом введения дисперсных частиц в расплав является «Способ повышения композиционного материала с повышенной износостойкостью» [8]. Данный способ реализуется на машинах непрерывного литья с вытягиванием формируемой заготовки в направлении обратно гравитационному полю. При данном способе разливки, перед подачей металла в центровую на струю присаживают дисперсные тугоплавкие частицы, металл с инжектированными частицами попадает в центровую, далее в литниковую систему, далее в кристаллизатор, где происходит кристаллизация металла и вытягивание формируемой заготовки (с помощью затравки) в направлении обратном гравитационному полю. Введенные частицы, за счёт разности в плотности по сравнению с упрочняемым материалом, под воздействием Архимедовых сил будут смещаться вверх, и при определённых условиях можно добиться того, чтобы смещение фронта кристаллизации совпадало с направлением движения частиц.

В электросталеплавильном цехе № 3 ОАО «Златоустовский металлургический завод» были проведены опытные плавки: сталь марки У7, выплавленная в индукционной печи, разливалась на модернизированной установке с введением твердофазных частиц. В качестве твёрдой фазы выступал карбид титана (TiC), а для улучшения смачиваемости карбидов в ковш перед разливкой давали металлический титан. Исследование характера распределения введённой в металлическую матрицу дисперсной фазы показали, во всех полученных заготовках с введенной упрочняющей фазой случаях отмечается достаточно равномерное распределение введённого в жидкую металлическую матрицу дисперсного синтетического карбида титана по высоте слитка. Незначительное увеличение содержания дисперсной фазы по высоте слитка, по-видимому, объясняется некоторым всплыванием дисперсных частиц в процессе кристаллизации.

Исследование механических свойств показало увеличение износостойкости опытного металла на 14 % по сравнению с не упрочненной сталью и достижения уровня износостойкости сталей ЭИ 107 и 110Х18М-ШД [5].

Преимуществом данной технологии является то, что в ней учитывается разница плотностей дисперсной фазы и упрочняемого материала, однако для её реализации требуется специфическое оборудование.

4. Введение дисперсных частиц при центробежном электрошлаковом литье

Сущность технологии заключается в электрошлаковом переплаве электрода в плавильной емкости, обеспечивающей накопление жидкого металла и шлака в нужных количествах, и последующей его заливке во вращающуюся форму [6]. Важным преимуществом такой технологии является возможность упрочнения металла заготовок за счет его модифицирования. В качестве модификатора выступали синтетические ультрадисперсные частицами карбонитрида титана и титана в количестве 0,3…0,5 % от массы расплава. Модификатор получали смешиванием порошковых компонентов с последующим холодным прессованием в таблетки диаметром 25…30 мм и толщиной 8…15 мм. Размеры таблеток были выбраны из условия их растворения в модифицируемом расплаве в течение 20…30 с. Модификатор вводили при температуре 1650 °С за 2 мин до слива, что обеспечивало равномерное распределение дисперсных частиц-инокуляторов по всему объему жидкого металла в плавильной емкости. Заливку металла в металлическую литейную форму кокиль проводили при температуре 1600 °С.

Металлографический анализ показал, что введение в металл 0,4 % модификатора приводит к существенному изменению структуры и свойств литого металла. Устраняются зоны транскристаллизации в кольцевых отливках, резко уменьшаются размеры дендритов, которые к тому же приобретают благоприятную форму по всему объему закристаллизовавшегося металла. Исследования механических свойств отливок показали значительное увеличение их показателей: металл по свойствам практически не отличается от свойств кованой заготовки [9].

Несомненным плюсом данной технологии является то, что авторы в качестве способа распределения частиц по объему получаемой заготовки применяют центробежные силы. Однако, описанный способ имеет существенный недостаток: модификаторы вводят в прессованных таблетках в плавильную емкость. Сомнительно, что возможно прогнозировать, насколько равномерно дисперсные частицы распределяться по объему металла. К тому же частицы, находящиеся «на поверхности» «таблеток» будут иметь существенно большее время взаимодействия с расплавом, чем частицы, находящиеся внутри таблеток. Соответственно, даже при условии отсутствия химического взаимодействия частиц с расплавом, частицы будут повергаться температурному воздействию, что приведет к их частичной диссоциации. Это может вызывать изменение гранулометрического состава, что также затруднит прогнозирование распределения частиц по объёму металла.

5. Способ получения градиентного материала путем введения частиц при разливке на машине центробежного литья

На кафедре «Общая металлургия» Южно-Уральского государственного университета был разработан и запатентован «Способ формирования труб-

ной заготовки» и ее упрочнения, путем введения твёрдой тугоплавкой мелкодисперсной фазой карбидов в металл при разливке на машине центробежного литья, с целью получения градиентного металло-керамического материала [8].

Суть способа: при разливке металлического материала на машине центробежного литья на струю металла постоянно, в течение всего времени разливки подаются твердые тугоплавкие мелкодисперсные частицы различной плотности. Если плотность тугоплавкой дисперсной частицы погруженной в расплав отличается от плотности расплава, то сила, действующая на частицу, не уравновешивается их собственной центробежной силой и силой тяжести. Поэтому возникают условия для перемещения частиц в ту или другую сторону, т.е. на внутреннюю или внешнюю поверхность формируемой заготовки. Когда частица соприкоснется с фронтом кристаллизации, то она оказывается прижатой расплавом к фронту кристаллизации и уже не всплывает, а захватывается растущими дендритами. В результате происходит упрочнение поверхности.

Согласно данному способу были проведены эксперименты, и получены заготовки с различным содержанием дисперсных частиц [7] Исследование микро-структур полученных заготовок показало, что с увеличением количества вводимых дисперсных частиц происходит диспергирование структуры заготовок: балл зерна во внешних слоях заготовок может измельчаться до 8–9, а на внутренних слоях в это же время он может составлять 2-3. В результате оценки механических свойств полученных заготовок было выяснено, что увеличение концентрации дисперсных частиц WC в поверхностных слоях центробежно-литой заготовки до 5,1 шт./мкм^2 позволяет увеличить предел прочности на 36–38 %, ударную вязкость на 23–26 %, износостойкость на 29–34 %, твердость на 30–33 % [1, 9].

Несомненным преимуществом данного способа является возможность прогнозирования и управления распределением вводимых частиц [10]. Однако, для внедрения данного способа в производство необходимо решить массу вопросов: как влияет фактор масштабности на распределение частиц, что происходит с частицами при взаимодействии с металлом на микроуровне, каковы условия смачиваемости вводимых частиц и др.

Таким образом, можно сделать вывод, что несмотря на обширные исследования в области создания композиционных материалов, основанных на введении дисперсных частиц, требуются дополнительные эксперименты, конечной целью которых должно стать внедрение разрабатываемых материалов в существующую промышленность.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки (договор № 14.Z56.15.7690-МК), а также поддержана по ГЗ № 11.1470.2014/К.

Библиографический список

1. Аникеев, А.Н. Получение градиентных центробежно-литых стальных заготовок путем введения в кристаллизующийся расплав дисперсных частиц карбидов: дис. … канд. техн. наук / А.Н. Аникеев. – Челябинск, 2013. – 164 с.

2. Шиганов, И.Н. Разработка научных основ технологии сварки плавлением дисперсно-упрочненных металлических композиционных материалов / И.Н. Шиганов. – М., 1999. – 386 с.

3. Исследование влияния нанопорошковых модификаторов на качество сортовой заготовки / В.П. Комшуков, А.Н. Черепанов, Е.В. Протопопов, Д.Б. Фойг и др. – ОАО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия». – 2009. – № 2. – С. 312.

4. Исследование влияния модифицирования металла нанопорошковыми материалами на качество сортовой непрерывнолитой заготовки / В.П. Комшуков, А.Н. Черепанов, Е.В. Протопопов и др. // Известия ВУХов. Черная металлургия. – 2010. – № 8. – 57 с.

5. Повышение износостойкости стали путём ввода карбида титана при кристаллизации слитка / И.В. Чуманов, В.И. Чуманов, Д.А. Пятыгин, Е.Е. Тельянова // Электрометаллургия. – 2008. – № 2. – С. 32–35.

6. Медовар, Б.И. Центробежное электрошлаковое литье / Б.И. Медовар, В.Л. Шевцов, Г.С. Маринский. – Киев: Общество «Знание» УССР, 1983. – 48 с.

7. Еремин, Е.Н. Центробежное электрошлаковое литье фланцевых заготовок с применением инокулирующего модифицирования / Е.Н. Еремин, С.Н. Жеребцов. – 2004. – № 3. – С. 15–17.

8. Патент РФ 2381087 МПК B 22 D 13/02 Способ формирования трубной заготовки №2008128677/02 / В.И. Чуманов, И.В. Чуманов, Д.А. Пятыгин, Р.Р. Гарифулин, О.Ю. Вершинина, А.Н. Аникеев. Заявл. 14.07.2008.; опубл. 10.02.2010. – 5 с.

9. Чуманов, В.И. Упрочнение металлических материалов твердыми тугоплавкими мелкодисперсными частицами: монография / В.И. Чуманов, И.В. Чуманов, А.Н. Аникеев. – Челябинск, 2009. – 100 с.

10. Чуманов, В.И. Математическое моделирование распределения тугоплавких мелкодисперсных частиц при получении заготовки методом центробежного литья / И.В. Чуманов, А.Н. Аникеев, В.А. Иванов // Сталь. – 2011. – № 3. – С. 15–18.

К содержанию

УДК 669-179

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОРОНОК ЭКСКАВАТОРОВ ПУТЕМ ДИСПЕРСНОГО УПРОЧНЕНИЯ КАРБИДОМ ТИТАНА

А.Н. Аникеев, И.В. Чуманов

В рукописи представлен способ упрочнения коронок экскаваторов путем внедрения в газифицированную модель дисперсных частиц карбидов титана. Приведено описание эксперимента, его результатов, а также исследования полученного металла, включающие исследование макро- и микро-структур и механические свойства (твердость и износостойкость).

Ключевые слова: сталь Гадфильда, упрочняющая фаза, дисперсный карбид титана, литье по пенополистирольным моделям, коронка экскаватора, структура, твердость, износостойкость.

Открытая разработка месторождений, благодаря высокой степени извлечения полезных ископаемых из недр, возможности достижения большей производственной мощности предприятия, повышению производительности труда (в 5–8 раз), снижению себестоимости добычи (в 2–4 раза), улучшению условий труда получила преимущественное (по сравнению с шахтной добычей) развитие. При открытой выработке используются различные механизмы, детали которых подвергаются значительному износу, в частности, коронки зубов экскаваторов [1]. Под износом принято понимать постепенное поверхностное разрушение материала взаимодействующих тел, сопровождающееся отделением от них частиц. В результате взаимодействия с грунтом зубья изнашиваются, уменьшаясь в размерах и изменяясь по форме. Наибольший износ наблюдается по задней грани зуба и в меньшей степени – по передней грани и в боковых его частях. Пригодность зуба для дальнейшей работы определяется его степенью износа по задней грани, в результате которого уменьшается его длина, а следовательно, и вылет.

Коронки ковшей экскаваторов традиционно изготовляются из стали 110Г13Л (стали Гадфильда). Эта высокомарганцевая сталь сочетает в себе такие свойства, как износостойкость и вязкость, низкая теплопроводность, достаточно большая линейная скорость кристаллизации и усадки, обладает повышенной склонностью к столбчатой кристаллизации, имеет крупнозернистое строение с карбидами, расположенными преимущественно по границам зерен металла.

Для увеличения стойкости коронок экскаваторов на кафедре «Общая металлургия», одним из основных направлений которой является упрочнение материалов дисперсными частицами, было предложено дополнительно вве-

сти карбиды в формируемые зубья экскаваторов [2–4]. Одной из главных проблем введения карбидов в кристаллизующийся расплав (или модификаторов) связано с проблемой неравномерного распределениея вводимых частиц по объему металла, что приводит к неравномерности химического состава и неравномерности распределения свойств.

На кафедре «Общая металлургия» филиала ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский Государственный Университет» (НИУ) в г. Златоусте, одной из направлений деятельности которой является упрочнение существующих сталей путём введения в кристаллизующийся расплав дисперсных частиц карбидов, был предложен метод внедрения дисперсных частиц непосредственно в модель из пенополистирола. На предприятии «Уралпромдеталь», специализирующемся на выпуске литых деталей для промышленных нужд, был проведен ряд экспериментов по получению коронок экскаваторов с повышенной износостойкостью за счет внедрения карбида титана.

В качестве упрочняемой детали была выбрана коронка зуба марки «1U-3352» (расчетная масса 5,8 кг) для экскаватора «Caterpillar 313», адаптер марки «Cat J350» (рис. 1). Из пенополистирола были изготовлены модели, покрашены антипригарной литейной краской и высушены. В качестве упрочняющей фазы был выбран карбид титана, плотностью 4,92 г/см3 дисперсностью 0,02–0,35мкм. В изготовленных моделях были прорезаны цилиндрические отверстия, в которые засыпался дисперсный карбид в различных количествах, после чего отверстия запечатывались пенополистиролом. Было изготовлено 4 пенополистирольные модели с различным содержанием карбидов: № 1 – 0 гр, № 2 – 29 гр, № 3 – 43,5 гр, № 4 – 58 гр. Расположение моделей с внедренным карбидом титана в опоке отличалось от стандартного – они укладывались в опоку под наклоном в 45 градусов. Такое расположение отливки в опоке было необходимо для того, чтобы дисперсные частицы, после расплавления полистирола, вследствие разницы плотностей карбида и металла, всплывали на одну из рабочих поверхностей коронки экскаватора. Для получения зубов экскаваторов использовалась сталь Гадфильда.

В результате проведения экспериментов было получено четыре отливки коронок зубов экскаваторов, с удовлетворительным качеством поверхности, с различным содержанием карбидов. Внешний осмотр дефектов не выявил.

Исследование микроструктур показало, что все коронки имеют аустенитно-перлитную структуру с избыточными карбидами (Mn, Fe)3C. Оценку изменения размера дендритных ячеек (и, соответственно, балла зерна) производили методом измерения длин хорд окружностей с помощью инвертированного микроскопа «C. Zeizz Observer. D1m», оснащённого комплексом анализатора изображений «Thixsomet. PRO». В результате исследования было выявлено, что в коронках № 1–3 (с внедренными карбидами титана) наблюдается незначительное измельчение структуры в областях рабочей поверхности коронки (1–2 балла) по сравнению коронкой № 0 (без карбидов). Стоит отметить, что по всему объему коронок № 1–3 (помимо рабочих

поверхностей), наблюдаются локальные области структурой неоднородности (измельчение структуры на 1–3 балла по сравнению с исходной структурой), что, вероятно объясняется неравномерным распределение внедренного карбида.

Изучение твердости проводили на твердомерах Роквелла (марка «ТР–5004») и Бринелля (марка «ТБ-5004»). Исследование показало, что разница в твердости между образцами в серединах образцов незначительна и колеблется в пределах 4–30 НВ (1–4 HRC). Однако, разница между внешней и внутренней рабочими областями одной и той же коронки может достигать 128 НВ (13,4 HRC). Определение абразивной износостойкости проводили на лабораторной установке путём замера изменения массы образцов до и после истирания абразивной шкуркой под нагрузкой. На каждый образец проводили по три прохода по абразивной шкурке длиной 1,5 метра, под нагрузкой в 3 кг. Исследование показало, что образец коронки № 1 практически не имеет отличия в износостойкости от образца №0 (без карбида), в то же время образцы коронок № 2–3 обладают абразивной износостойкостью в 1,5–1,9 раза выше, по сравнению с образцом коронки без карбидов.

Таким образом, по проделанной работе можно сделать вывод, что внедрение карбидов титана в пенополистирольную модель в количестве 0,5–1 % (от массы заготовки) способствует измельчению микро-структуры, а также способен увеличить твердость в 2–4 раза, износостойкость в 1,5–1,9 раза.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки (договор № 14.Z56.15.7690-МК), а также поддержана Минобрнауки (соглашение № 14.574.21.0122, уникальный идентификатор RFMEFI57414X0122).

Библиографический список

1. Макушенко, А.В. Разработка наплавочного сплава и технологии упрочнения зубьев ковшей карьерных экскаваторов: дис. … канд. техн. наук / А.В. Макушенко. – Курск, 2008. – С. 132.

2. Патент РФ 2381087 МПК B 22 D 13/02 Способ формирования трубной заготовки № 2008128677/02 / В.И. Чуманов, И.В. Чуманов, Д.А. Пятыгин, Р.Р. Гарифулин, О.Ю. Вершинина, А.Н. Аникеев. Заявл. 14.07.2008.; опубл. 10.02.2010. – 5 с.

3. Preparation of precipitation-strengthened hollow billets for rotary dispersers / I.V. Chumanov, V.I. Chumanov, A.N. Anikeev // Metallurgist, Vol. 2011, Pp. 540–543.

4. Чуманов, И.В. Математическое моделирование распределения тугоплавких мелкодисперсных частиц при получении заготовки методом центробежного литья / И.В. Чуманов, А.Н. Аникеев, В.А. Иванов // Сталь. – 2011. – № 3. – С. 15–18.

К содержанию

УДК 536.712

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА И МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАСПЛАВА

А.Н. Аникеев, И.В. Чуманов

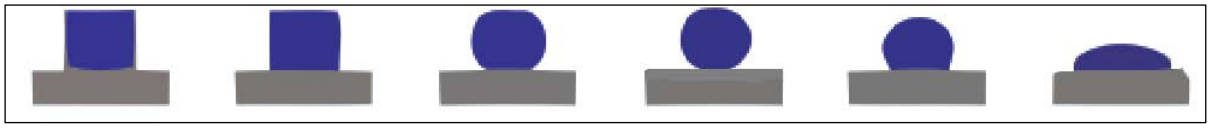
В статье представлены результаты исследований взаимодействия прессованных подложек карбида вольфрама и расплава на основе железа. Приведены результаты исследований микроструктур подложек с электронного микроскопа «Jeol JSM-6460 LV», составы спектров.

Ключевые слова: карбид вольфрама, прессованная подложка, металлический расплав, контактное и бесконтактное нагревание, микро-структура, составы спектров.

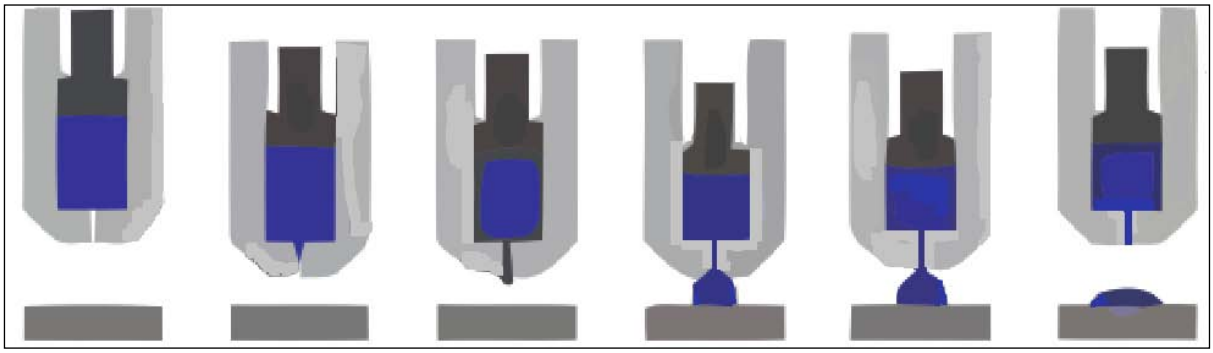
Карбид вольфрама давно и успешно используют для создания материалов, обладающих высокими теплофизическими и механическими свойствами. На его основе созданы целые классы материалов, такие как твердые сплавы и карбидостали. Однако с течением технического прогресса у ученых-исследователей появляется все больше инструментов для изучения научных фундаментальных основ, на которых базируются те или иные постулаты.

Так, в Центре высокотемпературных исследований Научно-исследовательского института литья был сконструирован уникальный исследовательский комплекс, построенный на концепции блоков LEGO. Данный комплекс объединяет в своем составе несколько аппаратов с уникальными возможностями, предназначенными для оценки комплексных характеристик материалов при высоких температурах, различные методы изучения смачиваемости материалов. Данный комплекс позволяет производить испытания различных материалов (металлов, сплавов, стекла, шлаков, керамики и т.д.) в условиях контролируемой температуры (до 2100 °С), под вакуумом (до 10–10 гПа) или в защитной атмосфере [1].

На вышеописанном комплексе, совместно с польскими коллегами Натальей Собчак (руководитель Центра высокотемпературных исследований) и Рафалем Новаком (главный специалист центра), были проведены исследования смачиваемости карбида вольфрама металлическим расплавом, методиками контактного и бесконтактного нагревания. Разница этих двух методик заключается в том, что в одном случае образцы в камере комплекса нагревают совместно (контактное нагревание) (рис. б), а в другом – раздельно (бесконтактное). При реализации методики бесконтактного нагревания металл расплавляют в мини-камере, расположенной непосредственно над образцом подложки, а после расплавления выдавливают каплю на поверхность образца (рис. б). Образцу, полученному методикой контактного нагревания была присвоена маркировка «1к», а полученному с помощью методики бесконтактного нагревания – «2бк».



а



б

Методика исследования взаимодействия пары материалов:
а) кинетика контактного нагревания способом лежачей капли;
б) кинетика бесконтактного нагревания способом лежачей капли

Согласно данным методикам были проведены исследования процессов взаимодействия подложек, спрессованным из карбида вольфрама и низкоуглеродистой стали. Оба эксперимента показали, что формирование капли не происходит – расплавленный металл полностью впитывается в подложку в течение 7–10 с [2–4].

В результате проведения экспериментов были получены две подложки прореагировавшие с расплавом низкоуглеродистой стали. Данные подложки были исследованы на сканирующем электронном микроскопе «Jeol» JSM-6460LV» с целью изучения продуктов взаимодействия карбида и расплава.

Каждая подложка была условно разделена на три области: область впитывания металла (зона 1), область в 3-х мм от область впитывания (область 2) и край образца (область 3). Каждая из областей была изучена и с каждой из них были отобраны спектры, составы которых представлены в таблице.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что при взаимодействии низкоуглеродистой стали и прессованных подложек из карбида вольфрама, независимо от методики исследования происходит растворение карбида в стали. Составы спектров подтверждают, что в местах непосредственного взаимодействия подложек и металла чётко идентифицируются зерна карбида вольфрама, скрепленные между собой расплавом на основе железа. На обоих образцах в области 2 наблюдается частичное покрывание поверхности образцов пленкой железа. Краевые зоны обоих образцов полностью покрыты плёнкой железа, под которой располагаются нерастворенные зерна карбида вольфрама.

Таблица

Состав спектров отобранных с подложек

№ образца, область, спектр	Содержание, масс. %		
	C	Fe	W
№ 1к, область. 1, спектр 1	7,91	-	92,09
№ 1к, область 1, спектр 2	2,97	16,94	80,09
№ 1к, область 2, спектр 1	6,02	21,70	72,28
№ 1к, область 2, спектр 2	1,75	84,72	13,52
№ 1к, область 3, спектр 1	6,28	21,81	71,91
№ 1к, область 3, спектр 2	5,28	25,42	69,09
№ 1бк, область 1, спектр 1	7,06	–	92,94
№ 1бк, область 1, спектр 2	7,29	13,39	79,33
№ 1бк, область 2, спектр 1	10,69	–	89,31
№ 1бк, область 3, спектр 1	1,72	73,46	24,83
№ 1бк, область 3, спектр 2	4,44	24,27	71,29

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки (договор № 14.Z56.15.7690-МК), а также поддержана по договору № 11.1470.2014/К.

Библиографический список

1. Макушенко, А.В. Разработка наплавочного сплава и технологии упрочнения зубьев ковшей карьерных экскаваторов: дис. … канд. техн. наук / А.В. Макушенко. – Курск, 2008. – С. 132.

2. Термодинамический анализ процессов взаимодействия карбида вольфрама с металлическим расплавом на основе железа / А.Н. Аникеев, И.В. Чуманов // Электрометаллургия. – 2012. – № 7. – С. 2–5.

3. Аникеев, А.Н. Исследование смачиваемости карбида вольфрама металлическим расплавом Ч. I. / А.Н. Аникеев, И.В. Чуманов // Электрометаллургия. – 2014. – № 1. – С. 32–35.

4. Аникеев, А.Н. Исследование смачиваемости карбида вольфрама металлическим расплавом Ч. II. / А.Н. Аникеев, И.В. Чуманов // Электрометаллургия. – 2014. – № 2. – С. 34–36.

К содержанию

УДК 669.054.82

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШЛАКОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

И.В. Чуманов, А.Н. Дильдин, Е.А. Трофимов

Исследование направлено на поиск оптимального способа получения металлического расплава последовательным твердо- и жидкофазным восстановлением сталеплавильных шлаков. Результаты работы позволили разработать принципиальную схему переработки отвальных шлаков.

Ключевые слова: восстановление, твердофазное и жидкофазное, сталеплавильные шлаки, технология.

Традиционным направлением использования отвальных шлаков сталеплавильного и доменного производства является применение при изготовлении строительных материалов и изделий. Однако использующиеся в настоящее время схемы, как правило, позволяют лишь частично решить проблему утилизации шлаковых отвалов [1–3].

В последние годы показано, что утилизация шлака может быть организована так, чтобы в результате получать не только стройматериалы, но и металл, пригодный для дальнейшей переработки и использования.

Переработка отвальных шлаков сталеплавильного производства с целью извлечения металлической составляющей должна включать этап высокотемпературного восстановления вещества. Эффективность этапа восстановления зависит от температурных условий и активности компонентов, определяемых составом шлака и вносимых добавок [4–6].

Проведённые ранее исследования процесса извлечения из оксидной составляющей отвальных шлаков железа и ряда легирующих элементов (Mn, Cr, V, Ti и т.п.) [4, 7] позволяют предположить, что перед проведением жидкофазной стадии процесса восстановления может быть полезно проведение процесса твердофазного восстановления предварительно обогащенной составляющей шлаков. Согласно некоторым данным этот вариант является менее энергозатратным по сравнению с процессами жидкофазного восстановления всего объёма шлака без предварительных восстановительных процедур. В то же время анализ шлакового вещества, не поступающего в жидкофазную стадию, демонстрирует значительное содержание не извлеченного железа.

С целью создания наиболее эффективной схемы восстановления металлической составляющей шлаков в рамках настоящего исследования было теоретически и экспериментально изучено влияние параметров проведения этого процесса на его результаты.

Результаты термодинамического моделирования процесса высокотемпературного восстановления сталеплавильных шлаков, а также результаты большого количества лабораторных экспериментов позволили определить ряд условий, выполнение которых будет способствовать созданию технологий глубокой переработки отвалов шлаков такого рода.

В частности, совокупность результатов экспериментальных исследований позволила продемонстрировать, что применение стадии твердофазного восстановления с последующим разделением на немагнитную и магнитную фракцию позволяет значительно снизить расход восстановителя и энергозатраты в ходе последующей стадии жидкофазного восстановления.

Результаты работы позволили разработать принципиальную схему переработки отвальных шлаков.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57414X0090.

Библиографический список

1. Ковалев, В.Н. Металлургический комплекс для получения товарной продукции из материалов техногенного и природного происхождения / В.Н. Ковалев // Сталь. – 2013. – № 4. – С. 78–83.

2. Панишев, Н.В. Переработка мелкозернистых отходов металлургического производства с получением гранулированного чугуна и извлечением цинка / Н.В. Панишев, В.А. Бигеев, А.А. Черняев // Вестник МГТУ. – 2013. – № 4. – С. 26–29.

3. Черноусов, П.И. Рециклинг. Технология переработки и утилизации техногенных образований и отходов в чёрной металлургии: монография / П.И. Черноусов. – М. Изд. Дом МИСиС, 2011. – 428 с.

4. Дильдин, А.Н. Особенности технологии утилизации отходов сталеплавильного производства / А.Н. Дильдин, Р.Р. Гарифулин // Наука ЮУрГУ [электр. ресурс]: материалы 66-й научной конференции. Секция техн. наук. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2014. – С. 1440–1442.

5. Гамей, А.И. Схемы переработки металлургических шлаков / А.И. Гамей, В.В. Наумкин, Н.В. Сухинова // Сталь. – 2007. – № 2. – С. 144–145.

6. Шакуров, А.Г. Комплексная переработка жидких сталеплавильных шлаков с восстановлением железа и получением качественной товарной продукции / А.Г. Шакуров, В.В. Журавлев, В.М. Паршин, Я.Ш. Школьник, А.Д. Чертов // Сталь. – 2014. – № 2. – С. 75–81.

7. Дильдин, А.Н. Твердофазное восстановление отходов сталеплавильного производства / А.Н. Дильдин, В.И. Чуманов, И.В. Чуманов, В.Е. Еремяшев // Металлург. – 2012. – № 2. – С. 36–40.

К содержанию

УДК 669.054.82

ЖИДКОФАЗНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОТХОДОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.Н. Дильдин, В.Е. Еремяшев, В.В Пономаренко

По результатам проведенных исследований восстановления сталеплавильных шлаков показана возможность получения методом жидкофазного восстановления металлического расплава с гарантированным химическим составом.

Ключевые слова: восстановление твердофазное и жидкофазное, сталеплавильные шлаки, технология.

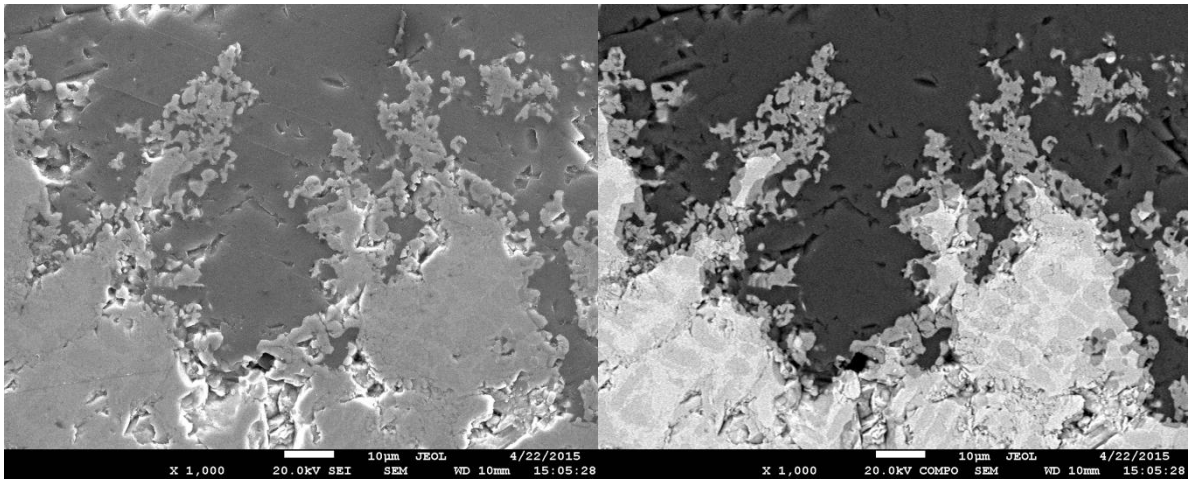
Проблема утилизации отходов сталеплавильного производства остается актуальной для металлургической отрасли [1–2]. Образующиеся при выплавке сталей шлаки, как правило, являются сложными по химическому и структурно-фазовому составу [3], что предопределяет направления выбора технологии по извлечению и восстановлению из них металлической части с последующим ее использованием: по типу «восстановление – плавление» либо «плавление – восстановление».

Ранее показано [4], что для шлаков такого состава жидкофазное восстановление может быть завершающей стадией извлечения легирующих компонентов после предварительно проведенных операций по обогащению исходного шлака – магнитной сепарации и твердофазного восстановления.

С целью оценки наиболее эффективной схемы использования стадии жидкофазного восстановления в процессе восстановления металлической составляющей шлаков в рамках проведенного исследования было изучено влияние параметров этого процесса на долю извлекаемого металла.

Согласно методике эксперимента, образцы шлака (со шлакового отвала и действующего сталеплавильного производства) дробились в шаровой мельнице и смешивались с коксом в отношении 10:2 (шлак в количестве 100 грамм, кокс – 20 грамм). Исходная смесь тщательно перемешивалась до однородной массы, частично спрессовывалась в таблетки. Часть подготовленного материала предварительно прошла стадию твердофазного восстановления при температуре 1100–1200 °С в воздушной (восстановительной) атмосфере. Таким образом, были получены материалы-образцы, содержащие магнитную и немагнитную части шлака с разной степенью предварительной восстановленности. При реализации стадии жидкофазного восстановления опытные образцы помещали в графитовые стаканчики и нагревались в печи УПИ-60-2 до температуры 1500 °С с выдержкой при заданной температуре в течение 20–30 минут. По окончании времени выдержки тигли с образцами извлекались из рабочего пространства печи и охлаждались на воздухе. На основе 15 опытных плавок получена характерная серия образцов.

Анализ полученного материала проводили на растровых электронных микроскопах JEOL JSM-7001 (НОЦ «Нанотехнологии» ЮУрГУ (НИУ)). Были получены изображения поверхности образцов во вторичных и отраженных электронах, выполнен полный анализ точек поверхности, построены карты распределения химических элементов. На рисунке представлены фотографии некоторых образцов шлака и металла, полученных после жидкофазного восстановления.



Участок образца из магнитной части шлака после жидкофазного восстановления при 1500 ^{o}C. Изображение во вторичных (левое) и отраженных (правое) электронах. Увеличение 1000.

Восстановление металла во всех объемах полученных образцов связано с активным участием в этом процессе газообразной фазы CO. Образуются достаточно крупные оплавленные частицы металла. Неправильная форма этих частиц обусловлена наличием нижней границы процесса жидкофазного восстановления. Имеет место присутствие мелких капель исходного металла, образование которых напрямую не связано с процессом восстановления, и их плавление связано с формированием более крупных капель.

**Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57414X0090*

Библиографический список

1. Ковалев, В.Н. Металлургический комплекс для получения товарной продукции из материалов техногенного и природного происхождения / В.Н. Ковалев // Сталь. – 2013. – № 4. – С. 78–83.

2. Панишев, Н.В. Переработка мелкозернистых отходов металлургического производства с получением гранулированного чугуна и извлечением цинка / Н.В. Панишев, В.А. Бигеев, А.А. Черняев // Вестник МГТУ. – 2013. – № 4. – С. 26–29.

3. Дильдин, А.Н. Особенности технологии утилизации отходов сталеплавильного производства / А.Н. Дильдин, Р.Р. Гарифулин // Наука ЮУрГУ [электр. ресурс]: материалы 66-й научной конференции. Секция техн. наук. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2014. – С. 1440–1442.

4. Дильдин, А.Н. К вопросу об использовании отвальных шлаков сталеплавильного производства / А.Н. Дильдин, И.В. Чуманов, В.Е. Еремяшев, Д.А. Жеребцов // Электрометаллургия. – 2015. – № 4. – С. 42–44.

К содержанию

УДК 669.24

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ, РЕАЛИЗУЮЩИХСЯ ПРИ ВЫПЛАВКЕ И ТЕРМООБРАБОТКЕ НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ ЖАРОСТОЙКИХ И ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

Т.А. Жильцова, Е.А. Трофимов

Работа посвящена проведению термодинамического моделирования фазовых равновесий, реализующихся в ряде сплавов на никелевой основе (как жаростойких, так и жаропрочных) в интервале температур 300–1700 °С. Для термодинамического моделирования использован программный пакет «FactSage» (версия 6.4), включающий базы термодинамических характеристик веществ и фаз переменного состава. Результаты моделирования сопоставлены с производственными и экспериментальными данными.

Ключевые слова: термодинамическое моделирование; сплавы на основе никеля; выплавка и термообработка.

Современный уровень развития металлургии и металловедения никелевых сплавов требует развития и совершенствования методов моделирования фазовых равновесий, реализующихся в этих сплавах на различных стадиях их выплавки и термообработки. Среди различных подходов к такому моделированию особое место занимает моделирование с помощью методов классической термодинамики. В настоящее время разработаны различные программные продукты, позволяющие быстро и качественно выполнять термодинамическое моделирование сложных систем в широком интервале термодинамических условий.

Настоящая работа посвящена проведению термодинамического моделирования фазовых равновесий, реализующихся в ряде сплавов на никелевой основе (как жаростойких, так и жаропрочных) в интервале температур 300–1700 °С. Указанный интервал температур охватывает как температуры, при которых проводится выплавка сплавов, так и температуры, характерные для различных этапов их термообработки. К числу сплавов, для которых выполнено моделирование относятся: ХН78Т, ХН60ВТ, Х20Н80, ХН70Ю, ХН77ТЮР, ХН75МБТЮ, ХН55ВМТКЮ.

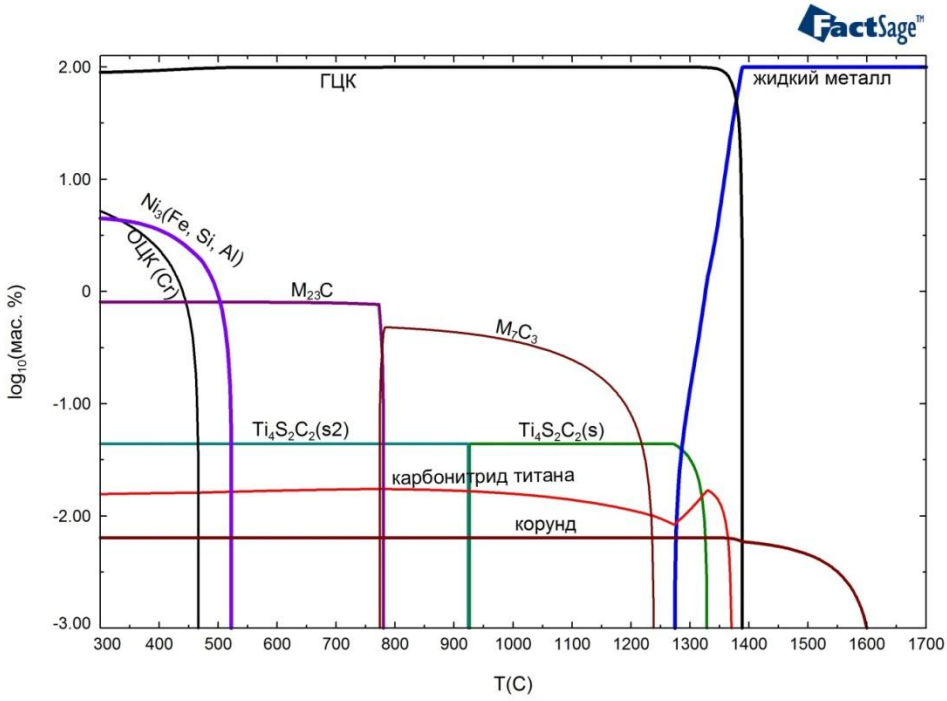
Для термодинамического моделирования использован блок «Equilib» программного пакета «FactSage» (версия 6.4) производства «Thermfact» (Канада) и «GTT Technologies» (Германия).

В процессе моделирования для описания металлических фаз использованы поставленные с программным пакетом базы данных FSstel и SGTE2011. Соответственно были получены два набора результатов моделирования для каждого сплава. В качестве вспомогательных для описания индивидуальных веществ и оксидных фаз использованы базы FactPS и FToxid. Наличие газовой фазы не учитывалось. Давление, для которого проводили расчеты, принималось равным одной атмосфере.

В качестве исходных данных использована информация ГОСТов, регламентирующих состав моделируемых сплавов. Как правило, в качестве содержания элемента, входящего в состав сплава, бралась середина интервала его возможных концентраций. При моделировании не учитывалось содержание фосфора в металле. В то же время считали, что в составе металлического расплава присутствуют по 0,003 мас. % азота и кислорода.

В указанном интервале температур расчёт проводился с шагом в 2 ºС. Таким образом, результатом каждого расчёта был 701 набор значений. Полученные массивы численных данных неудобны для анализа, поэтому основные результаты моделирования представлены в виде зависимостей масс компонентов системы или составов фаз переменного состава от температуры.

В качестве примера на рис. представлены некоторые результаты моделирования состава сплава Х20Н80. Основой для моделирования в данном случае послужила база данных FSstel.



Результаты моделирования фазового состава сплава Х20Н80. Представлена логарифмическая зависимость массовых долей фаз от температуры

Представленные данные позволяют судить о температурных интервалах стабильности различных фаз и об их доле в общей массе сплава.

Результаты проведённого моделирования сопоставлены с рекомендуемыми режимами выплавки и термообработки. Результаты некоторых ранее проведённых нами работ [1–8] проанализированы в свете данных, полученных в процессе моделирования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 13-08-00545.

Библиографический список

1. Ощепков, Б.В. Влияние особенностей выплавки никельхромовых жаропрочных сплавов на их пластичность / Б.В. Ощепков, Б.И. Леонович, Е.А. Трофимов, Т.А. Бендера // Электрометаллургия. – 2007. – № 4. – С. 8–12.

2. Ощепков, Б.В. Влияние неметаллических включений на пластичность сплавов на никелевой основе / Б.В. Ощепков, Б.И. Леонович, Е.А. Трофимов, Д.Н. Сазонов // Сталь. – 2007. – № 4. – С. 42–44.

3. Ощепков, Б.В. Разработка технологии производства сплава Х20Н80 с повышенными пластичностью и живучестью / Б.В. Ощепков, Е.А. Трофимов, Б.И. Леонович, А.В. Григорук // Сталь. – 2008. – № 8. – С. 43–46.

4. Ощепков, Б.В. Влияние последовательности присадки легирующих на свойства сплава ХН55ВМТКЮ, выплавленного по схеме ОИП+ВДП / Б.В. Ощепков, Т.А. Жильцова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2009. – № 14 (147). – С. 38–41.

5. Ощепков, Б.В. Некоторые особенности легирования сплава ХН60ВТ в ходе его выплавки в открытой дуговой печи / Б.В. Ощепков, Т.А. Жильцова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2010. – № 13 (189). – С. 53–54.

6. Ощепков, Б.В. Анализ влияния условий горячей деформации на характеристики и свойства образцов сплава ХН55ВМТКЮ-ВД / Б.В. Ощепков, Т.А. Жильцова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2011. – № 14 (231). – С. 78–80.

7. Ощепков, Б.В. Совершенствование технологии выплавки жаропрочных сплавов на никелевой основе в ОДП с использованием легированных отходов / Б.В. Ощепков, Т.А. Жильцова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2012. – № 15 (274). – С. 100–101.

8. Ощепков, Б.В. Некоторые особенности производства сплава ХН70Ю / Б.В. Ощепков, Г.Ф. Ощепков, Т.А. Жильцова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2014. – Т. 14. – № 3. – С. 71–74.

К содержанию

УДК 378.10

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ТИКСОМЕТ» ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

М.А. Матвеева

Рассматриваются вопросы внедрения в учебный процесс современного комплекса анализа изображения «Тиксомет PRO» для использования при изучении дисциплин «Материаловедение», «Технология конструкционных материалов», «Термическая обработка металлов» и других. Роль современного оборудования и систем анализа изображения для молодых специалистов технических направлений. Задачи металлографического анализа, решаемые комплексом анализа изображения «Тиксомет PRO».

Ключевые слова: исследование, микроструктура, программно-аппаратный комплекс.

Одной из основных целей обучения студентов в высших технических учебных заведениях является не только приобретение выпускниками качественных знаний, но и подготовка к дальнейшей работе на промышленных предприятиях; формирование совокупности знаний о свойствах и строении материалов. Металлографические лаборатории промышленных предприятий переоснащаются современным оборудованием. Повышенные требования к контролю качества, требования международных стандартов можно реализовать, только используя автоматизированные системы количественного анализа материалов. Таким образом, выпускник должен обладать не только теоретическими и практическими навыками, но и иметь навыки работы с современным оборудованием и автоматизированными комплексами при решении задач физического материаловедения.

В современной высшей школе, при изучении дисциплины «Материаловедение», «Технология конструкционных материалов», «Термическая обработка сталей и сплавов» для направлений 150100 «Материаловедение и технология материала», 150400 «Металлургия» оценка параметров микроструктуры и неметаллических включений проводится визуально по шкалам, таблицам и классификаторам [1, 2]. Для количественной оценки параметров микроструктуры применяются расчетные методы. Данные методы не нашли широкого практического применения на металлургических предприятиях из-за длительного набора данных, громоздких расчетов и значительных погрешностей в определении исследуемых характеристик. Применение компьютерных анализаторов изображений микроструктуры материалов открывает большие возможности в области количественной металлографии.

В практике металлографического анализа все большее место занимает компьютерный анализ изображений микроструктуры материалов. В настоящее время основной целью такого анализа является количественная оценка микроструктуры, то есть измерение различных параметров как изображений в целом, так и отдельных объектов на изображении.

Программно-аппаратный комплекс «Тиксомет PRO», приобретённый на средства в рамках Программы развития национального исследовательского института, состоит из следующих узлов:

– оптический микроскоп производства компании Carl Zeiss;

– цифровая видеокамера высокого разрешения;

– системный блок с фотопринтером;

– специализированное металлографическое программное обеспечение «Тиксомет PRO».

Программа «Тиксомет PRO» имеет большое количество инструментов обработки изображения, и в равной степени подходит как для выполнения рутинных контрольных операций, так и для проведения лабораторных исследований. Программный продукт имеет набор готовых схем обработки для решения типовых задач в материаловедении. При применении данного комплекса в исследовательской лаборатории значительно повышается производительность ряда повторяющихся операций в процессе исследования для решения нестандартных задач. Это осуществимо, благодаря возможности создания «схемы обработки», то есть сохранения всей последовательности действий, произведенных с изображением на примере одного образца из партии или плавки. Это позволяет в последующих исследованиях использовать данные схемы для исследования всех образцов данной партии или плавки с составлением подробного комплексного отчета в одном из текстовых редакторов. Помимо групповой обработки, возможен так же индивидуальный анализ отдельных образцов с использованием функционала программы.

С помощью комплекса «Тиксомет PRO» не только существенно облегчается количественный металлографический анализ, что само собой является огромным преимуществом этого комплекса, но и что немаловажно, имеет удобную и продуманную форму предоставления результатов исследования: автоматическое формирование отчета о получаемых данных количественного анализа, предоставление результатов в виде гистограмм, таблиц; возможность внесения дополнений и изменений в отчет, а также внесения изображений в отчет на различных этапах обработки.

Актуально использование данных, полученных с помощью «Тиксомет PRO» в диссертационных, дипломных, исследовательских работах, а также в лабораторном практикуме при обучении студентов направлений 150100 «Материаловедение и технология материала», 150400 «Металлургия».

В течение уже довольно большого количества лет кафедра «Общая металлургия» поддерживает научные контакты с Санкт-Петербуржским государственным политехническим университетом (исследования сотрудников которого послужили базой деятельности компании «Тиксомет»). Стажировки сотрудников нашей кафедры в Санкт-Петербурге стали доброй традицией. Такие стажировка позволила мне существенно расширить свой кругозор, обсудить с коллегами интересующие вопросы, освоить новые, самые современные исследовательские методики. За это я хочу поблагодарить руководство ЮУрГУ, благодаря которому эта поездка стала возможной, и конечно директора ООО «Thixomet», заведующего кафедрой «Металлургические технологии» СПбГПУ А.А. Казакова.

Работа выполнена в рамках задания Минобрнауки (соглашение № 14.574.21.0122, уникальный идентификатор RFMEFI57414X0122).

Библиографический список

1. ГОСТ 5632 – 82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 23 с.
2. ГОСТ 1178 – 70. Стали и сплавы. Металлографические методы определения неметаллических включений. – М.: Изд-во стандартов, 1970. – 24 с.

К содержанию

УДК 669.186

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА

И.В. Чуманов, М.А. Матвеева, В.И. Чуманов

В статье приведены данные по осуществлению экспериментального электрошлакового переплава для получения многослойного металлического материала. Описаны результаты микроструктурных исследований, а так же данные о испытаниях механических свойств экспериментального материала.

Ключевые слова: электрошлаковый переплав, многослойный металлический материал, микроструктура, макроструктура, механические свойства.

Электрошлаковый переплав уже давно зарекомендовал себя как способ глубокого рафинирования металла. Но помимо возможности применения переплава для глубокой очистки металла, также можно использовать его и для получения слоистого материала с чередованием слоёв разного химического состава. В ЮУрГУ в г. Златоусте на кафедре Общей металлургии

был разработан метод электрошлакового переплава с присадкой по ходу процесса легирующего компонента [1]. Результатом переплава является слиток с ярко выраженной слоистой структурой, где один слой соответствует переплавляемому материалу, а второй – легирующей присадке. При том, благодаря жидкофазному способу получения слитка, зона соединения слоёв надёжно сплавлена.

Эксперимент по получению многослойного металлического материала проводился на полупромышленной установке А-550 в кристаллизатор диаметром 90 мм под флюсом АНФ-6. Материал полученный при переплаве электрода стали марки 30Х13 [2, 3] с введением присадка углеродсодержащего компонента состоит из чередующихся железоуглеродистых и железохромистых слоёв. В качестве углеродсодержащего компонента была использована чугунная стружка. Химический состав полученного материала C – 0,4–1,6 %, Si – 0,5 %, Mn – 0,25 %, Cr – 9,5–11,0 %.

Полученный слиток подвергали горячей деформации до размера необходимой заготовки. Термическая обработка материала велась по двум режимам – отжиг (нагрев до температуры 730–750 °С, выдержка при этой температуре в течение 2 часов и охлаждение с печью) и отжиг + закалка (нагрев до температуры 1030–1050 °С и охлаждение в масле).

Исследование показали, что макроструктура материала не имеет какой-либо неплотности в виде пор и трещин (рисунок 1 и 2). Материал обладает выраженной слоистостью. Достигнута высокая чистота сплавления слоёв.

Микроструктура материала (рисунков 3 и 4) показывает, что слои плотно сплавлены, отсутствует чёткая зона перехода. Получение прочной взаимосвязи и плавного перехода межу слоями обусловлены способом получения материала и характерны для литых слоистых композиций. Размытость границ является результатом диффузии углерода из науглероживателя на разных стадиях получения материала: в процессе переплава, термической обработки и ковки материала. В слоистом материале в большом количестве присутствуют карбиды хрома, размер от 1 до 10 мкм. Наличие карбидной фазы предполагает высокие износостойкие свойства.

Испытанием на определение механических свойств подвергались образцы двух групп: первая – продольные образцы после отжига; вторая – продольные образцы после отжига и закалки.

Опытные образцы был подвергнуты следующим испытаниям: испытание на растяжение производили на разрывной машине типа УТС 110М-5 по ГОСТ 1497-84; испытание на ударную вязкость производили на маятниковом копре типа ИО 5003-0,3; для определения твердости использовался твердомер ТР-5014. Результаты испытаний приведены в таблице.

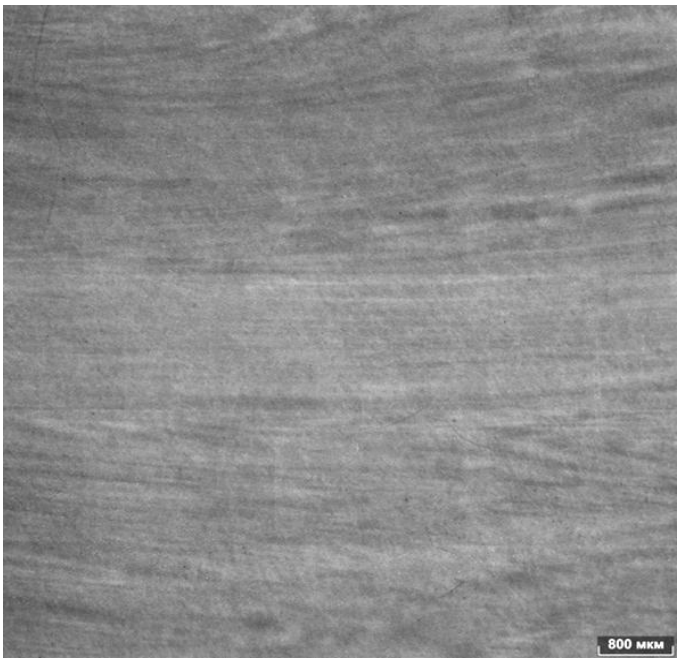


Рис. 1. Макроструктура продольного образца, ×25

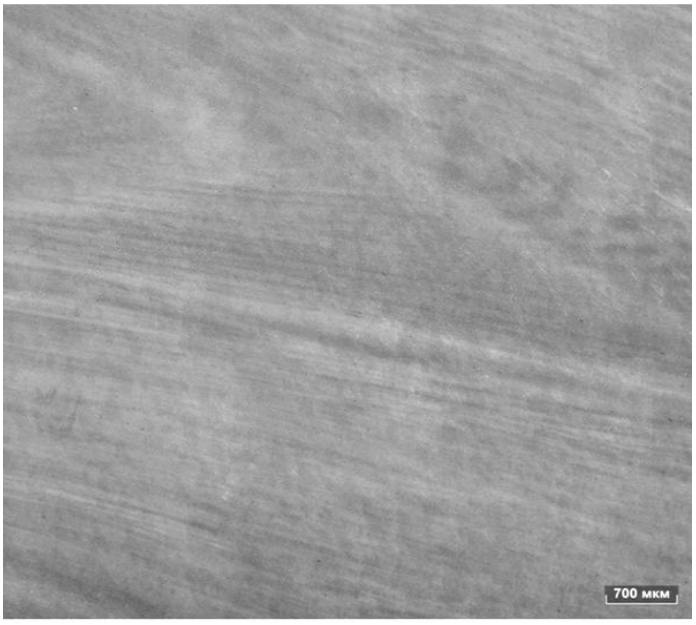


Рис. 2. Макроструктура продольного торсированного образца, ×25

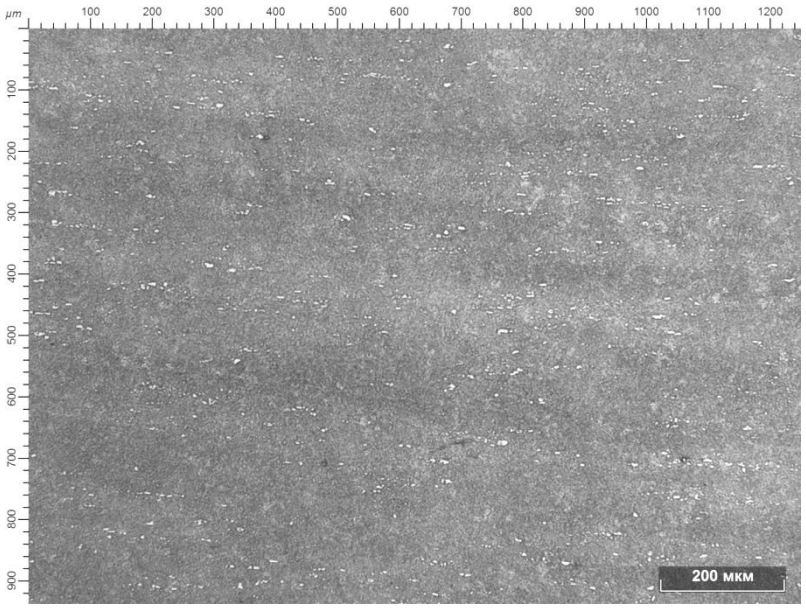


Рис. 3. Микроструктура продольного образца, ×130

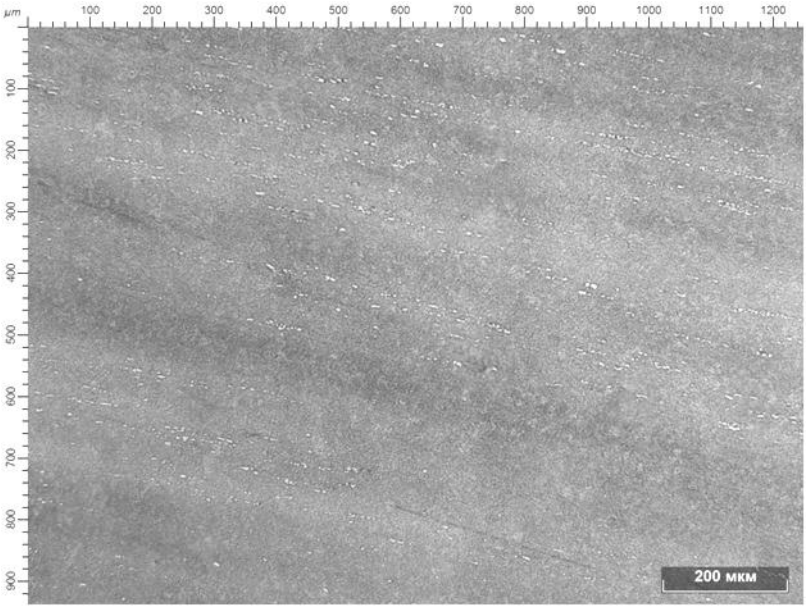


Рис. 4. Микроструктура продольного торсированного образца, ×130

Таблица

Механические свойства экспериментального многослойного материала

Режим термической обработки	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B, МПа	δ,%	HRC	HB	KCU, Дж/см^2
Отжиг	1011	1043	12	62	625	15
Отжиг + закалка	1259	1287	9	65	677	20

Полученный многослойный металлический материал имеет выраженную слоистую структуру с плавным переходом от структуры одного слоя к структуре другого и достаточно высокие показатели по механическим свойствам. Чередование высоко- и низкоуглеродистых слоёв создаёт, так называемое, армирование материала. При ударе высокоуглеродистые слои будут препятствовать проникновению инородного тела вглубь материала, а низкоуглеродистые – гасить инерцию удара.

Использование электрошлаковой технологии для получения слоистой металлической композиции открывает широкий спектр возможностей для влияния на свойства получаемого материала. Изменяя исходные параметры переплава – химический состав компонентов, частота и количество присадок – можно воздействовать на свойства получаемой композиции и, в конечном итоге, получать материал с задаваемыми свойствами.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 11.1470.2014/К.

Библиографический список

1. Пат. № 2163269 Российская Федерации, «Способ получения многослойного слитка электрошлаковым способом» / В.И. Чуманов, В.Е. Рощин, И.В. Чуманов, Ю.Г. Кадочников. – 2001. Бюл. 5.

2. Чуманов, И.В. Исследование композиционного материала с многослойной структурой полученного методом электрошлакового переплава / И.В. Чуманов, В.И. Чуманов, М.А. Матвеева // Электрометаллургия. – 2011. – № 9. – С. 35–38.

3. Чуманов, И.В. Особенности жидкофазного получения слоистого материала / И.В. Чуманов, В.И. Чуманов, М.А. Матвеева // Металлургия машиностроения. – 2012. – № 2. – С. 11–14.

К содержанию

УДК 669.187

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СЛИТКА, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ПЛАВКИ

И.В. Чуманов, М.А. Матвеева, М.А. Порсев

В статье представлены результаты микроструктурного анализа переходной зоны биметаллического слитка полученного методом электрошлакового переплава. Для уменьшения химической неоднородности и протяженности зоны сплавления предложен ряд мер, направленных на уменьшение глубины жидкометаллической ванны и изменения химического состава переходной зоны.

Ключевые слова: электрошлаковый переплав, биметаллический слиток, переходная зона, химический состав.

Для многих видов оборудования АЭС, нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов применение многослойных металлических композиций является единственным возможным способом достижения сочетания высокой коррозионной стойкости и необходимых механических свойств. Частный случай – биметаллы, с основным слоем из конструкционной стали и плакирующим из коррозионностойкой стали, находят применение в тех случаях, когда одновременно с высокими механическими свойствами требуется надёжная коррозионная стойкость металла [1].

Принципиально, электрошлаковый переплав (ЭШП) позволяет решить задачу получения биметаллической заготовки с высокой сплошностью соединения слоёв. Но переходная зона представляет собой сплав металлов, образующих слои слитка, и отличный по своим свойствам от сплавляемых металлов. Переходная зона представляет собой ещё один слой в многослойной композиции, при этом химический состав этого слоя непостоянен, то есть изменяется по высоте, и, соответственно, изменяются его свойства. Как показано в работе [2], протяжённость переходной зоны прямо пропорциональна объёму металлической ванны и примерно равна диаметру круглого слитка. Большая протяжённость переходной зоны часто приводит к образованию в этой зоне неблагоприятных структур, по свойствам резко отличающихся от свойств переплавляемых металлов, образующих составные части электрода. При этом толщина переходной зоны неравномерна по сечению слитка и её границы повторяют форму жидкометаллической ванны. Само по себе наличие переходной зоны затрудняет получение слоя металла с заданными свойствами требуемой толщины.

Работы по получению многослойных композиций методом ЭШП ведутся на кафедре «Общей металлургии» филиала ФГБОУ ВПО ЮУрГУ (НИУ) в г. Златоусте уже давно [3, 4]. Для изучения зоны сплавления биметаллического слитка авторами был проведён экспериментальный пере-

плав на установке А-550 с использованием составного расходуемого электрода, который по высоте включал в себя три разнородные части: нижняя – сталь 12ХН3А, средняя – сталь 12Х18Н10Т, верхняя – сталь 12ХН3А.

Полученный слиток был распилен по всей длине на 2 части на ленточнопильном станке Bomar Ergonomic 320.250DG. На рис. 1 представлен поперечный разрез слитка, протравленный 5 % раствором азотной кислоты в спирте. На данном изображении можно наблюдать ярко выраженную конусообразную ванну.

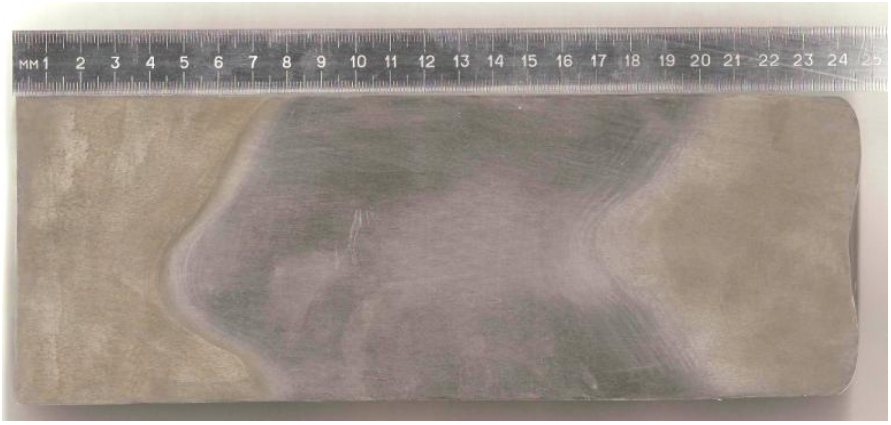


Рис. 1. Поперечный разрез слитка

Изучение микроструктуры переходной зоны велось на оптическом микроскопе C. Zeiss Observer.D1m.

Для изучения микроструктуры были подготовлены следующие образцы: образец 1 – соответствует структуре 12ХН3А (рис. 2), образец 2 – соответствует структуре 12Х18Н10Т (рис. 3), образец 3 – переходная зона, при вытравленной структуре 12ХН3А (рис. 4).

На рисунке 2 представлена микроструктура образца 1. На данном образце было произведено травление 12ХН3А 5 % раствор азотной кислоты в спирте. Анализ образца позволил сделать выводы о наличие дендритной структуры. Светлые зёрна – α-фаза (феррит). Четко просматривается полосчатость, являющаяся следствием дендритного строения металла. Дендритные пакеты растут в разных направлениях, поэтому различна ориентация кристаллов и, следовательно, на изображении они выглядят поразному. Те, что вытянуты и имеют тёмный чёткий фон – разрез дендритов продольный, параллельный наблюдателю. Те что, с более размытым фоном – под углом к плоскости шлифа.

На рисунке 3 показан образец 2, на котором структура, соответствующая стали марки 12Х18Н10Т. Наблюдаем явно выраженную дендритную структуру. Светлые полосы – феррит. В междендритном пространстве – перлит. Присутствуют неметаллические включения – сульфиды до 10 мкм, нитриды 2–5 мкм. Проведенный анализ последних на морфологию, показал наличие нитридов титана.

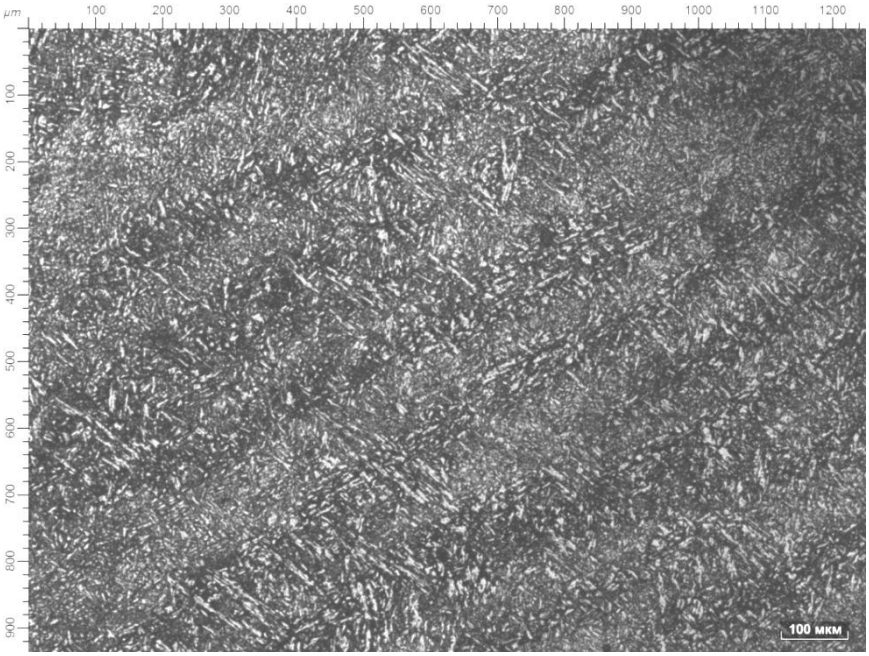


Рис. 2. Микроструктура образца 1 соответствует структуре сали марки 12ХН3А, травление 5 % раствором азотной кислоты в спирте, × 130

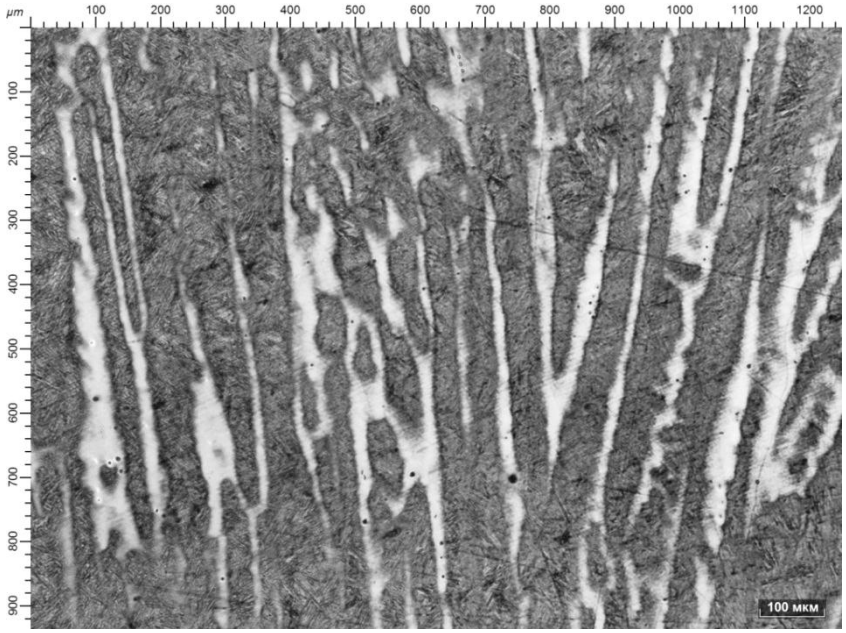


Рис. 3. Микроструктура образца 2 соответствует структуре сали марки 12Х18Н10Т, травление реактивом Обергоффера, × 130

На рис. 4 представлена переходная зона между материалами, на котором вытравлена сталь 12ХН3А. Зона сплавления не чёткая, размытая, в ней видны слои смешивания материалов. Общая протяжённость переходной зоны примерно 9 мм, что составляет 1/7–1/8 от диаметра полученного слитка. Переходная зона сплошная, без каких либо дефектов – пор, трещин, пузырей. Столь хорошее качество сплавления слоёв характерно для жидкофазных способов получения биметаллов.

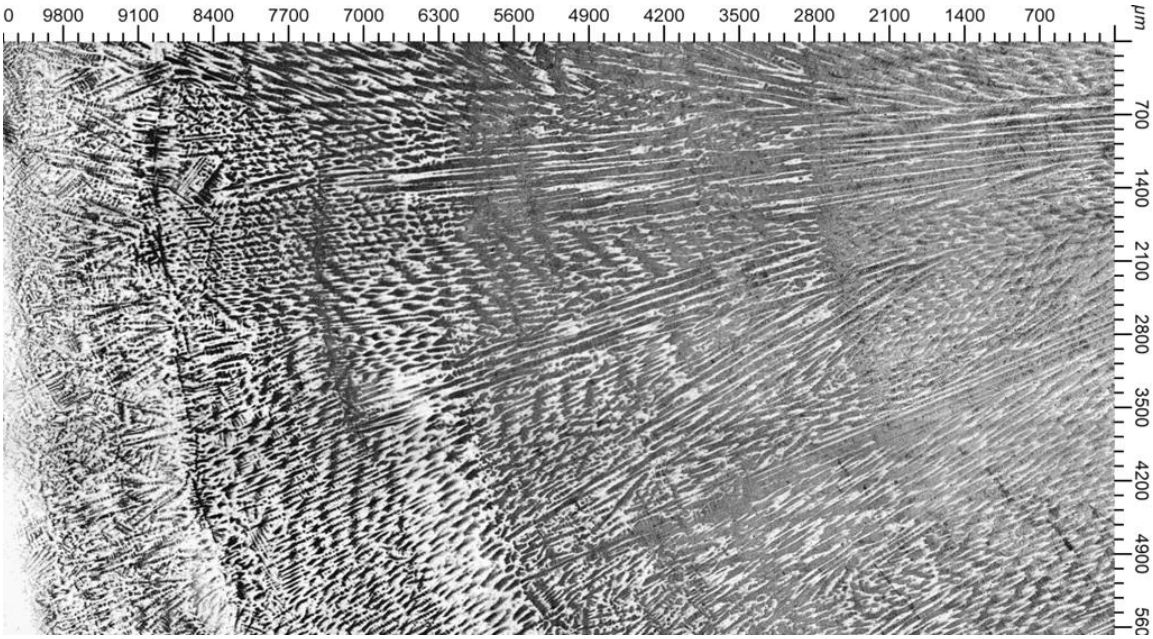


Рис. 4. Макроструктура образца 4 соответствует переходной зоне между сталями 12ХН3А и 12Х18Н10Т. Вытравлена сталь марки 12ХН3А, × 15

Анализ полученных результатов свидетельствует, что переходная зона в экспериментальном слитке ЭШП является довольно протяженной, с резким переходом между сплавляемыми материалами по её длине. Для уменьшения химической неоднородности и протяженности зоны сплавления необходимо принятие мер, направленных на уменьшение глубины жидкометаллической ванны и изменения химического состава переходной зоны путем легирования металлической ванны.

Среди технологических приемов, применяемых при реализации электрошлаковых технологий, есть ряд принципиально решающих поставленную выше задачу – введение в плавильное пространство порошков или газопорошковых смесей, вращение кристаллизатора, электромагнитное перемешивание [4, 5]. По мнению авторов, наиболее эффективно снижение протяженности переходной зоны можно достичь, используя технологию ЭШП с вращением расходуемого электрода вокруг своей оси в процессе плавки [6, 7]. Вращение электрода с определенной скоростью приводит к тому, что съем капель металла с его торца будет происходить под действием центробежных сил, капли металла будут двигаться по радиальной траектории и доставляться не в центральную, а в периферийную часть металлической ванны, ближе к стенкам кристаллизатора, тем самым выравнивая фронт кристаллизации. Вращение электрода вокруг своей оси в процессе переплава также позволяет решить задачу получения неглубокой и пологой жидкометаллической ванны, при этом реализация данной технологии не требует существенных изменений конструкции действующих установок ЭШП.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки (договор № 14.Z56.15.7690-МК).

Библиографический список

1. Кобелев, А.Г. Производство металлических слоистых композиционных материалов / А.Г. Кобелев, В.И. Лысак, В.Н. Чернышев, А.А. Быков. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 496 с.

2. Кобелев, А.Г. Материаловедение и технология композиционных материалов / А.Г. Кобелев, В.И. Лысак, В.Н. Чернышев, Е.В. Кузнецов. – М.: Интермет Инжиниринг, 2006. – 368 с.

3. Чуманов, И.В. О возможности получения многослойных слитков электрошлаковым переплавом / И.В. Чуманов, М.А. Порсев // Электрометаллургия. – 2010. – № 4. – С. 13–17.

4. Чуманов, И. В. Особенности жидкофазного получения слоистого материала / И.В. Чуманов, В.И. Чуманов, М.А. Матвеева // Металлургия машиностроения. – 2012. – № 2. – С. 10–12.

5. Патон, Б.Е. Электрошлаковые технологии в производстве биметаллических заготовок / Б.Е. Патон, Л.Б. Медовар, В.Е. Шевченко, В.Я. Саенко // Современная электрометаллургия. – 2003. – № 4. – С. 8–11.

6. Авторское свидетельство № 129473 от 9.11.59. бюл. № 12 за 1960 г. Производство двухслойных листов с применением электрошлаковой сварки / Б.Е. Патон, Б.И. Медовар, А.М. Макар.

7. Пат. № 340303 Способ электрошлаковой выплавки слитков / Л.А. Власов, В.И. Супацков, В.Ф. Бушуев. – 1995. Бюл. 8.

8. Чуманов, И.В. Получение трёхслойных слитков электрошлаковым переплавом / И.В. Чуманов, М.А. Порсев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия». – 2007. – № 13(85). – С. 19–20.

К содержанию

УДК 669.09

РАЗРАБОТКА И КОНСТРУИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДОЗИРОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

А.Н. Аникеев, Д.В. Сергеев

Порошковая металлургия на настоящее время активно развивается, потребность в порошковых дозаторах возрастает, в связи с этим возникает потребность в дозаторе обладающим низкой ценой и легкостью эксплуатации, при сохранении точности дозировки. В данной статье представленная разработка и реализация системы подачи мелкодисперсных частиц в расплав.

Ключевые слова: Дозирующее устройство, подача мелкодисперсных частиц, введение частиц в расплав.

Одним из методов повышения механических свойств металла за счет измельчения кристаллической структуры является введение в металл мелкодисперсных частиц. Металлы, упрочненные различными мелкодисперсными частицами благодаря измельченной структуре, имеют повышенные

показатели прочности, что в перспективе позволяет таким материалам и деталям работать под высоким давлением, в агрессивных средах, а также в условиях повышенного износа. При введении различных твердых тугоплавких частиц возможно изменять свойства получаемой заготовки [1].

В качестве упрочняющих частиц расплав могут выступать оксиды, карбиды, нитриды или комплексные соединения. Важнейшим достоинством такого рода частиц является их большое количество, приходящееся на единицу объема, что в значительной степени определяет эффективность измельчения кристаллической структуры материалов. Таким образом, проблема упрочнения материалов при реализации процессов литья является актуальной, имеющей как научное, так и прикладное значение [2].

Несмотря на важность ввода частиц в расплав, существующие дозирующие устройства на рынке представлены в основном иностранными фирмами, такими как «ALL-FILL Incorporated» и «LAMBDA laboratory instruments» [3, 4]. Продукция данных фирм имеет высокую цену, сложна в эксплуатации и ремонте. Так как порошковая металлургия в настоящее время активно развивается, потребность в порошковых дозаторах возрастает, и следовательно, возникает потребность в дозаторе, обладающем низкой ценой и легкостью эксплуатации, при сохранении точности дозировки.

При разработке оптимальной схемы дозирования дисперсных частиц необходимо использовать дозирующее устройство, обеспечивающее точность дозировки с возможностью работы в высоких температурных режимах исключающее слеживание подаваемых частиц. Основываясь на полученных знаниях, были выбраны два наиболее перспективных вида дозаторов гравитационного и шнекового типа.

Первым изготавливалось дозирующее устройство гравитационного типа (рис. 1). Гравитационные дозаторы наиболее простые в конструктивном исполнении и наименее энергоемкие. Такие дозирующие устройства предназначены для загрузки сыпучих материалов. Основной недостаток дозатора гравитационного типа, это ограниченная возможность регулирования расхода сыпучего материала с одновременным обеспечением заданной точности.

При изготовлении дозирующего устройства проведены работы по разработке конструкции, сборке стенок дозатора, установке крепежа металлических пластин, а так же апробирование дозатора в реальных условиях.

В лабораторных условиях были проведены эксперименты по подаче мелкодисперсных частиц через данный дозатор. На практике дозатор показал положительные результаты на дисперсности – 100 мкм, однако на размерности частиц – 10 мкм дозирующее устройство оказалось не пригодным для подачи мелкодисперсных частиц. Пылевидная фракция слеживалась в корпусе дозатора не обеспечивая ссыпания под действием гравитационных сил.

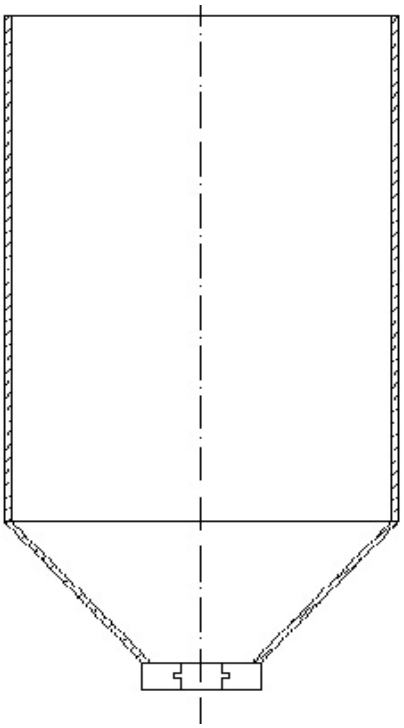


Рис. 1. Гравитационный дозатор

Опираясь на полученный опыт, было принято решение по изготовлению и конструированию дозирующего устройства шнекового типа (рис. 2), который обладает более сложной конструкцией, но несмотря на это, исключает возможность слеживания мелкодисперсных частиц, а также обладает такими преимуществами как:

– стабильная подача частиц любой фракции;

– возможность регулирования скорости подачи частиц.

По окончанию сборки дозирующего устройства были проведены опыты по подаче мелкодисперсных частиц различной фракции.

Для апробации подающего устройства были проведены эксперименты по определению зависимостей скорости подачи от количества, подаваемых через дозирующее устройство, частиц. Эксперименты проводились с использованием трех видов дисперсных частиц обладающих разными значениями плотности и разной дисперсностью в качестве которых использовались TiC, WC, SiC. В первом эксперименте определялись массы частиц выданные шнеком за определенный промежуток времени, далее высчитывались средние значения этих величин.

В последующих экспериментах определяли время подачи фиксированного количества частиц (100г). В ходе проведения эксперименты было выявлено что возможность регулировки скорости шнека зависит от размера частиц: скорость возможно регулировать на размерности 100–400 мкм. Уменьшение скорости вращения, при использовании более мелкой фракции, ведет к остановке шнека по причине слипания частиц. Подаваемые частицы подавали как

при комнатной температуре, так и в подогретом состоянии (500 °С), однако температура частиц никак не повлияла на работу дозирующего устройства.

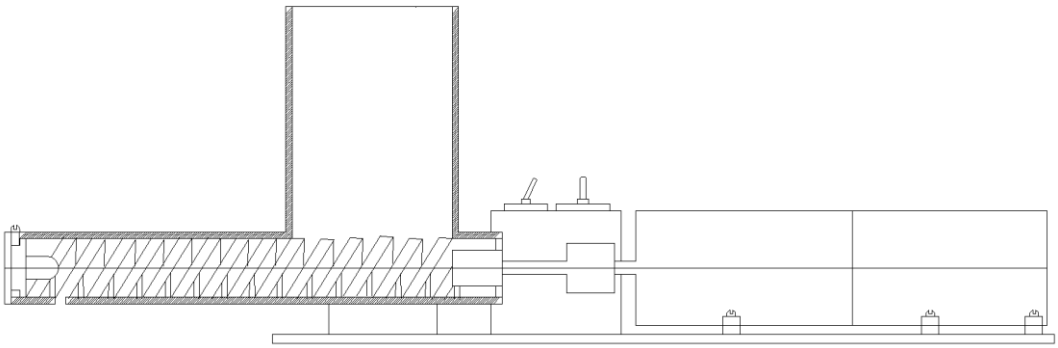


Рис. 2. Схема дозирующего устройства шнекового типа

Данные полученные при экспериментах позволяют сделать вывод, что дозирующее устройство позволяет регулировать скорость подачи частиц на дисперсности 100–400 мкм, а на максимальной скорости вращения шнека возможна подача частиц с дисперсностью до 400 мкм.

Таким образом была разработана схема дозирующего устройства, обеспечивающего равномерную подачу частиц находящихся в разогретом состоянии. Согласно разработанной схеме сконструировано дозирующее устройство. Были рассмотрены способы расчета оборотов и эмпирически определены зависимости массы подаваемых частиц от скорости вращения двигателя за единицу времени.

Работа выполнена в рамках задания Минобрнауки (соглашение № 14.574.21.0122, уникальный идентификатор RFMEFI57414X0122), а также поддержана ГЗ (договор № 14.Z56.15.7690-МК).

Библиографический список

1. Повышение конструкционной прочности литой стали модифицированием дисперсными порошками / С.А. Гузенков, Д.Н. Федоров, Д.В.Руцкий, С.Б. Гаманюк // Сталь. – 2010. – № 3. – С. 101–103.

2. Перспективные технологии модифицирования металла нанопорошковыми инокуляторами / Е.В. Протопопов, В.П. Комушков, Л.А. Ганзер, Д.Б. Фойгт // Черная металлургия. – 2011. – № 6. – С. 39–43.

3. ALL-FILL Incorporated Официальный сайт комапании [Электронный ресурс]. – 2015. – 20 марта. – URL: http://www.all-fill.com/.

4. LAMBDA Laboratory Instruments Официальный сайт компании [Электронный ресурс]. – 20 марта. – URL: http://www.lambda-instruments.com/.

К содержанию

УДК 669.2 + 544

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ, ВКЛЮЧАЮЩИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ РАСПЛАВЫ

Е.А. Трофимов

Получила развитие система термодинамического анализа процессов с участием жидкого металла, позволяющая корректно описывать явления, протекающие в ходе процессов взаимодействия металлических расплавов сложного состава и равновесных сложных (неметаллических и интерметаллических) фаз, находящихся в различных агрегатных состояниях.

Ключевые слова: фазовые диаграммы; термодинамическое моделирование; поверхности растворимости компонентов в металле.

Реализация большого числа технологий связана с протеканием различных гетерогенных процессов с участием металлических расплавов. При этом, несмотря на важность информации по термодинамике взаимодействия компонентов в расплавах металлов с образованием равновесных сложных фаз, полноценная систематизация значительного объёма накопленной к настоящему времени информации о такого рода взаимодействиях в системах на основе большинства цветных металлов не осуществлялась.

Распространённый подход к анализу гетерогенных взаимодействий в металлических расплавах на основе цветных металлов основан на рассмотрении отдельных химических реакций, протекающих в анализируемой системе. Такой подход не позволяет в полной мере учитывать взаимное влияние сложного химического состава взаимодействующих фаз на природу образующихся продуктов взаимодействия.

В ходе наших работ получила развитие система термодинамического анализа процессов с участием жидкого металла, позволяющая достаточно полно и термодинамически корректно описывать явления, протекающие в ходе процессов взаимодействия металлических расплавов сложного состава и равновесных сложных (неметаллических и интерметаллических) фаз, находящихся в различных агрегатных состояниях [1]. Развиваемая система анализа базируется на расчёте координат поверхностей растворимости компонентов в металле (ПРКМ). Это особые многокомпонентные диаграммы состояния, позволяющие привести микроизменения в составе металла в соответствие с качественными изменениями в составе равновесных сложных фаз.

В ходе проведённых исследований сформулированы общие принципы применения метода построения ПРКМ для разных групп элементов и

впервые построены ПРКМ ряда систем на основе меди, кобальта, никеля, алюминия, свинца, висмута, индия, лития и олова для достаточно широкого интервала составов и температур.

Предложены диаграммы относительного изменения масс фаз и индивидуальных веществ в системе, которые дополняют и иллюстрируют ПРКМ. Эти диаграммы демонстрируют то, как сказываются на качественном и количественном составах системы изменения состава её металлической составляющей.

Параллельно с термодинамическим моделированием осуществлено экспериментальное исследование результатов процесса взаимодействия компонентов металлических расплавов. Для этого использовались различные модификации методики, основанной на исследовании состава, размеров и формы включений сложных веществ, образующихся в жидком металле в условиях градиента концентрации примесей. В ходе проведённых работ обоснованы режимы реализации предложенных методик, показана их применимость и адекватность результатам, полученным другими методами. Исследованы химические составы, форма и размеры включений, образующихся в металлических расплавах этих систем при различных условиях. Определены составы металла, находящегося рядом с найденными включениями.

Продемонстрировано, как информация о координатах ПРКМ позволяет решать многочисленные задачи, связанные с разработкой и оптимизацией различных металлургических технологий. В частности, это задачи рационального рафинирования металла и определения составов комплексных сплавов, задачи установления пределов рафинирующего действия технологических добавок и последовательности чередования неметаллических фаз при изменении состава металла и температуры. Помимо перечисленного, методика анализа посредством ПРКМ может быть использована в ходе совершенствования технологий синтеза сложных веществ в металлических расплавах.

Частично работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты №№ 13-08-00545 и 13-03-00534.

Библиографический список

1. Михайлов, Г.Г. Фазовые равновесия в многокомпонентных системах с жидкими цветными металлами: моногр. / Г.Г. Михайлов, Е.А. Трофимов, А.Ю. Сидоренко. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 158 с.

К содержанию

УДК 666.97.035

НЕОБХОДИМОСТЬ УХОДА И НАБЛЮДЕНИЯ ЗА БЕТОНОМ В ПЕРИОД ТВЕРДЕНИЯ С 29-х И ПОСЛЕДУЮЩИХ СУТОК

О.В. Кузьминых

В статье описывается практическое изучение этапов производства работ – опалубочных, арматурных и бетонных в процессе изготовления сборных и устройства монолитных железобетонных конструкций. В ходе проведения лабораторных испытаний контрольных образцов – бетонных кубов для оценки прочности бетона на сжатие при твердении в различных условиях получены непрогнозируемые результаты, описание которых приводится в статье.

Ключевые слова: бетон, бетонная смесь, контрольные образцы, твердение, испытания, прочность бетона.

С целью изучения свойств бетонов различного состава на базе лаборатории филиала ЮУрГУ в г. Златоусте проводится цикл лабораторных работ, охватывающий дисциплины «Строительные материалы», «Технология строительных процессов», «Железобетонные и каменные конструкции».

В лабораторных работах по каждой из названных дисциплин решаются конкретные задачи. Так по дисциплине «Строительные материалы» в ходе лабораторной работы «Бетоны. Зерновой состав заполнителей. Расчёт состава тяжёлого бетона» ставится задача подобрать состав бетонной смеси. Полученные данные являются исходными к практическим работам по дисциплине «Технология строительных процессов» в разделе «Процессы устройства монолитных бетонных и железобетонных конструкций», где производится приготовление бетонной смеси ранее подобранного состава для изготовления железобетонной балки, армированной одиночной ненапрягаемой арматурой. Эта же бетонная смесь укладывается в стандартные формы 3ФК-70 для получения контрольных образцов.

В дальнейшем в ходе лабораторных работ по дисциплине «Железобетонные и каменные конструкции» работа изготовленной балка не ранее 28 суток твердения исследуется этой же академической группой путем нагружения на специальном стенде до момента появления трещин.

В 2014/15 уч.г. сроки проведения лабораторных работ совпали с переходным в климатическом смысле периодом – осенью и весной: на заочном отделении работы проводились с группой подготовки специалистов в сентябре («поток № 1»), с группой подготовки бакалавров – в октябре («поток № 2»), на очном отделении один поток подготовки бакалавров – в марте («поток № 3»).

Студентам ставится задача посчитать требуемый объем бетонной смеси и компонентов, подготовить и собрать опалубку, смонтировать и раскрепить готовый арматурный каркас, приготовить бетонную смесь и произвести её укладку в опалубку с уплотнением штыкованием.

После укладки бетонной смеси в опалубку набор прочности происходит при естественном твердении с соблюдением мероприятий по уходу за бетоном. Из этой же бетонной смеси изготавливаются два комплекта контрольных образцов 70,7х70,7х70,7 мм:

1-й комплект из трех кубов хранился в тех же условиях, что и балка, т.е. имитировали летние условия бетонирования;

2-й комплект из девяти кубов бетона с противоморозной добавкой «Криопласт СП15-1» для набора прочности на открытом воздухе в условиях, приравненных к зимним для изучения влияния отрицательных температур на качество производства бетонных работ.

Компоненты для бетонной смеси (щебень, песок, цемент и вода) используются из одной партии для всех потоков.

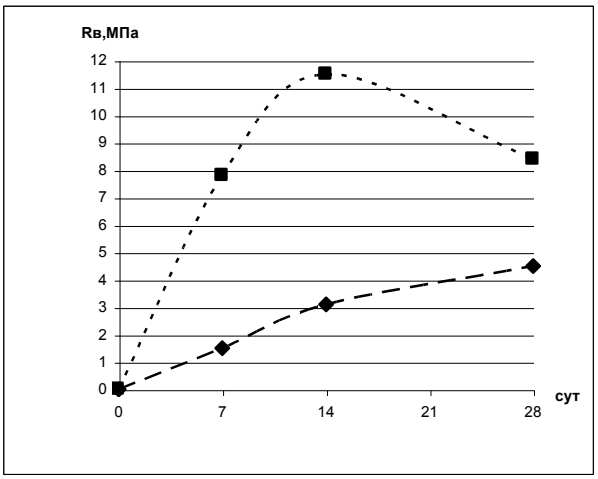
Бетонные образцы всех потоков, имитирующие летние условия до 28-и суток хранились, как предписывает нормативная документация [3], при температуре (20±3) °С и относительной влажности воздуха (95±5) %.

Образцы, изготовленные студентами группы очного отделения, испытывали в возрасте 7-х, 14-и и 28-и суток. В результате испытаний отслеживалась картина планомерного нарастания прочности как летних, так и зимних условий хранения. Аналогичные показатели наблюдались последние пять лет проведения подобных работ.

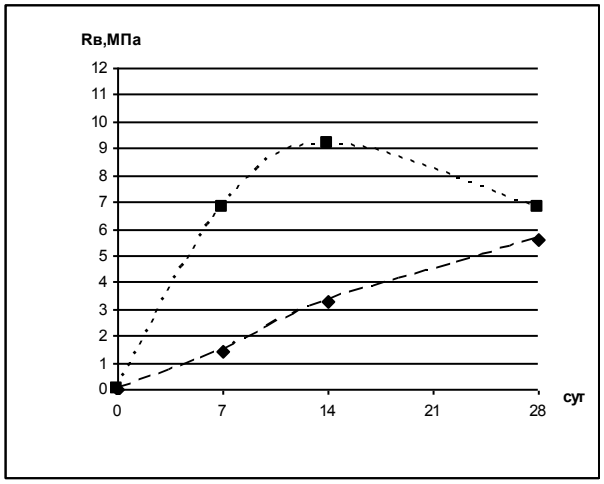
Образцы в группах заочного отделения испытывали в возрасте 7-х, 14-и суток, по причине продолжительности осенней установочной сессии 2 недели третье испытание выполнено в марте в период весенней установочной сессии, т.е. через 5–6 месяцев после бетонирования. После 28-и суток образцы хранились в отапливаемом помещении лаборатории при средней температуре 25 °С и относительной влажности воздуха 30–35 %. Испытания образцов на 7-е и 14-е сутки показали рост прочности, результаты третьего испытания показали снижение прочности бетона ниже 14-суточного. Образцы холодного твердения демонстрировали приращение прочности согласно техническим условиям на применение пластифицирующей добавки с противоморозным эффектом [5].

Согласно табл. 4 [4] в результаты испытаний для определения прочности бетона на сжатие по кубическим образцам с ребром 70 мм вводится масштабный коэффициент $\alpha = 0{,}85$. По итоговым показателям построены графики набора прочности бетоном (рис. 1). На графиках потоков №№ 1 и 2 конечная точка испытаний условно обозначена «28», т.к. предполагался набор проектной прочности за 28 суток и дальнейший рост на уровне погрешности измерений испытательной машины.

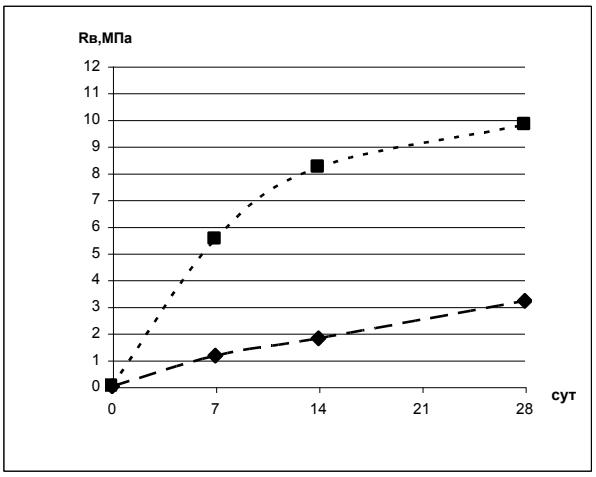
Поток № 1



Поток № 2



Поток № 3



Сравнительные графики набора прочности бетона образцов
при летнем (-■-----■-) и зимнем (—♦—) твердении

Предположительно, одной из причин снижения прочности при твердении бетона является неравномерная усадка и, возможно, образование усадочных трещин, которые интенсивнее появляются в поверхностных слоях. Основной объем кубических образцов образован шестью поверхностными слоями и влияние названных факторов наиболее вероятно в случае длительного хранения бетона в условиях пониженной влажности [6].

В какой момент твердения остановился прирост прочности и началось её снижение, будет задачей дальнейших исследований на основании опыта проведения работ текущего учебного года.

В реальных условиях возведения и эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций при пониженной влажности необходима разработка дополнительных технологических либо конструктивных мероприятий для твердения бетона в возрасте 29 суток и более, а также методики наблюдения за изменением физико-механических характеристик бетона нагруженных конструкций посредством применения приборов неразрушающего контроля.

Библиографический список

1. ГОСТ 25192-11 «Бетоны. Классификация и общие технические требования». – М.: Стандартинформ, 2013. – 6 с.
2. ГОСТ 27006-86* «Бетоны. Правила подбора состава». – М.: Стандартинформ, 2006. – 7 с.
3. ГОСТ 18105-2010 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности». – М.: Стандартинформ, 2013. – 20 с.
4. ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». – М.: Стандартинформ, 2013. – 34 с.
5. ТУ 5870-008-58042865-05 «Рекомендации по применению комплексной пластифицирующей добавки для бетонов и строительных растворов с противоморозным эффектом «Криопласт СП15-1». – ООО «Полипласт-УралСиб», 2006. – 6 с.
6. Баженов, Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 500 с.

К содержанию

УДК 004.065.012.226

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОРНАМЕНТА ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ МОДУЛЕЙ

Н.М. Хворонова

Орнаментальные мотивы в одежде жителей Южного Урала отличаются своей самобытностью и выражают принадлежность к полиэтническим группам. Выявлены основные полиэтнические группы и дана характеристика орнаментальных мотивов. Разработана электронная база данных, содержащая виды и композиционный строй орнаментов.

Ключевые слова: орнамент; база данных; полиэтнические группы; автоматизация.

Гардероб современного человека состоит не только из удобных вещей, но и имеет отличительные особенности, выраженные цветовой гаммой, фактурой ткани, наличием орнаментированных предметов. Исследования в области костюма показали, что исторический костюм является объектом для подражания, элементы костюмных форм заимствуются также, как и орнаментальные мотивы, тем самым дополняют и украшают костюм. Систематизация материала по данному направлению исследования позволяет обобщить и сгруппировать имеющуюся информацию о конструктивно-композиционных формах, орнаментах жителей Южного Урала: татар, башкир, русских.

Применение систем автоматизированного проектирования на предприятиях индустрии моды даёт возможность создания новых разработок для совершенствования этапов и процессов проектирования одежды, учитывая этнические особенности. Наличие орнаментальных композиций, даёт возможность расширить ассортимент изделий, сделать одежду более индивидуальной, с характерными особенностями различных полиэтнических групп жителей Уральского региона.

Анализ существующих САПР выявил их применение на этапах конструкторско-технологической подготовки, градации лекал, а вопросы этапа художественного оформления одежды остаются неохваченными.

Формирование базы и возможность последующего наполнения орнаментальными композициями, мотивами и элементами орнаментов является основной задачей исследования. Проведена работа по исследованию костюмных форм, типам орнаментов (растительные и геометрические), обработке справочной информации полиэтнических групп многонационального Уральского региона.

В работе использованы методы статистической обработки информации о выявлении степени приверженности к национальной культуре. Был предложен экспертный анализ при изучении потребительского спроса, такого как: предпочтение рисунка в одежде, наличие орнаментированной одежды, предпочтительная цветовая гамма, праздничная одежда и пр. Для проведения опроса экспертов, были выбраны женщины и мужчины различных возрастных категорий. При данных опросах количество участников (экспертов) составило 50 человек (m=50). Полученные по всем анкетам ранги, преобразованные в стандартный вид, если это было необходимо, и занесены в сводную таблицу – матрицу рангов. Значимость мнений экспертов оценивается с помощью χ^2 распределения (распределения Пирсона) по формуле с числом степеней свободы $f = k - 1$. На рисунке 1 представлена средняя априорная диаграмма рангов по предпочтениям рисунка в одежде у женщин.

Разработка базы орнаментов таких национальных групп как татар, башкир, русских требует глубокого изучения графического строения орнамента, и определяют необходимость создания компонентов математического обеспечения для автоматизированного проектирования.

Программный продукт для работы с БД реализован на платформе Windows при помощи языка программирования Delphi 6.0.

Рассмотренная среда Delphi имеет ряд преимуществ, поэтому программный комплекс для автоматизации процесса проектирования орнаментированных изделий в двумерном пространстве написан в ней.

Структура автоматизированного метода построения орнамента базируется на основе ассортимента женских и мужских изделий, орнаментов, о которых в информационной базе содержится вся необходимая информация.

Она представляет собой базу данных, содержащую информацию необходимую для работы дизайнера и позволяющая в автоматизированном режиме выполнять следующие этапы работы:

– введение новой информации в базу данных, путем заполнения справочников о традиционной национальной одежде;

– выбор полиэтнической группы Южного Урала;

– выбор мужской или женской модели изделия;

– выбор орнамента;

– генератор орнамента.

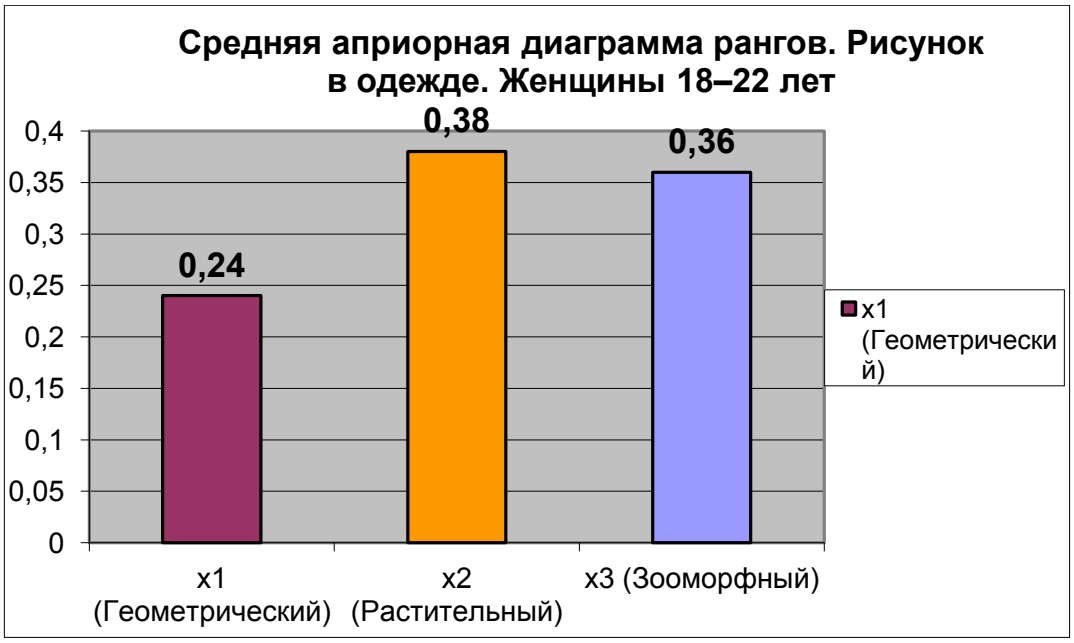


Рис. 1. Средняя априорная диаграмма рангов.
Рисунок в одежде. Женщины 18–22 года

Функцию формирования орнаментальных композиций из элементов-модулей выполняет «генератор» орнаментов. На данном этапе осуществляется выбор типа орнамента, количества элементов орнаментальной композиции, величины, размеров, а также происходит объединение мотива в единую композицию раппорта.

На рисунке 2 представлено окно программы «Орнамент», где орнаментальные мотивы полиэтнической группы башкиры сгруппированы в ленточный орнамент.

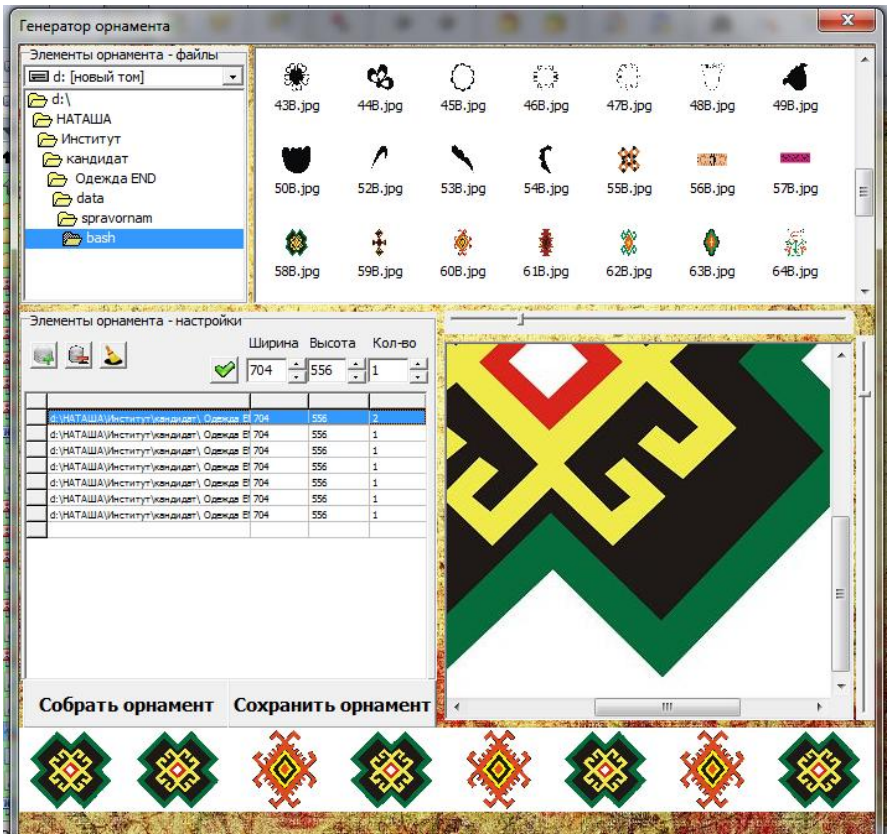


Рис. 2. Окно «генератор орнамента»

Таким образом:

– для разработки программного продукта выбрана среда – Delphi 6.0, как наиболее удовлетворяющая условиям проектирования, поскольку именно объектно-ориентированная среда обеспечивает значительную экономию временных ресурсов, затрачиваемых на разработку;

– разработан программный модуль, позволяющий получать справочную информацию о полиэтнических группах, видах орнаментов, способах ношения традиционного костюма;

– разработан программный модуль формирования структуры орнаментальной композиции, позволяющий получать разные комбинации из сочетания базовых элементов орнамента;

– исследована область применения полученных сведений и создана база данных орнаментированных изделий.

Разработанный метод построения орнаментов обеспечивает функционирование САПР этапа эскизного проектирования изготовления одежды, что даёт возможность получать конкурентоспособную одежду и является одним из актуальных направлений совершенствования подготовительного этапа производства, обеспечивающего высокое качество проектных решений.

Библиографический список

1. Хворонова, Н.М. Разработка базы данных модуля «Орнамент» для автоматизированного проектирования моделей одежды на основе традиционного костюма Южного Урала / Н.М. Хворонова, Л.Н. Лисиенкова // Швейная промышленность. – 2008. – № 6. – С. 33–34.

2. Хворонова, Н.М. Разработка методики формирования структуры орнамента из матричных элементов для автоматизированного проектирования одежды // Н.М. Хворонова, Л.Н. Лисиенкова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – № 7. – С. 149 –152.

К содержанию

УДК 658.01:687

РЫНОК ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ИНДУСТРИИ МОДЫ СЕГОДНЯ: АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Л.Н. Лисиенкова, А.И. Дерябина

Цель исследования заключалась в оценке тенденций развития рынка легкой промышленности в сложившейся экономической ситуации. Задача исследования заключалась в анализе различных форм конкуренции как инструментов развития отечественного рынка легкой промышленности и индустрии моды.

Ключевые слова: импортозамещение; конкуренция; неценовая конкуренция, легкая промышленность.

Конкуренция – важнейший элемент рыночного механизма, обеспечивающий решение триады экономических проблем: что, как и для кого производить [1]. Особое место в конкурентной борьбе имеют ценовая и неценовая конкуренции. Ценовая конкуренция не теряет своей актуальности и в наши дни. Однако сегодня резкое снижение цены на товар приводит к аналогичным действиям конкурентов, в результате позиции фирм на рынке не меняются, а прибыли снижаются. Поэтому, более актуальными для рынка легкой промышленности и индустрии моды становятся методы неценовой конкуренции.

Методы неценовой конкуренции: совершенствование качества и сбыта продукции. При этом центр тяжести переносится на такие сферы, как новизна, качество, высокий технический уровень производства продукции, уровень пред- и послепродажного сервиса, корпоративный имидж, фирменный стиль, товарные знаки, брендирование продукции, рекламное обеспечение товаров, совершенствование цепи поставок, мерчандайзинг [2, 3].

Неценовая конкуренция порождает целый спектр вопросов: влияние на объем сбыта неценовых факторов, предпочтения и выбора, конкурентоспособности, издержек потребления и др. Одной из сложных проблем современной теории и практики конкуренции является установление причин возникновения и диагностирования качественных и количественных условий перехода ценовой конкуренции в конкуренцию неценовую.

Неценовая конкуренция минимизирует цену как фактор потребительского спроса, выделяя товары и услуги посредством продвижения, упаковки, поставки, сервиса, доступности и других маркетинговых факторов.

Неценовая конкуренция может обеспечить захват рынка или вытеснение конкурентов путем продвижения уникального товара. В мировой практике неценовые методы успешно применяются. К сожалению, российский внутренний рынок пока не имеет широкой апробации данной формы конкуренции.

Наиболее эффективна неценовая конкуренция в условиях монополистической конкуренции и олигополии. При низком спросе неценовая конкуренция малоэффективна. При расширении потребительского спроса увеличивается приток фирм, рыночные структуры смещаются в сторону монополистической конкуренции, где методы неценовой конкуренции будут более эффективны. Спрос зависит от уровня экономики и роста богатства людей.

Анализ отраслевой структуры показал, что для большинства предприятий рынка легкой промышленности (далее по тексту ЛП) минимальный эффективный размер определяется небольшим объемом производства. Во многих отраслях ЛП (швейная, обувная и др.) малые фирмы могут быть более эффективнее, чем крупномасштабные производители. Наиболее адекватна будет модель слабой олигополии (монополистической конкуренции), которая включает в себя очень значительный объем конкуренции, смешанной с небольшой долей монопольной власти [4, 5]. Задача фирмы и отрасли – поиск оптимальной комбинации товара, цены и стимулирования сбыта.

Для оценки экономического состояния отрасли ЛП, выявления объективных причин неэффективности ее функционирования как рыночной системы и прогнозирования практических рекомендаций проведен краткий статистический анализ развития отрасли (по данным работы [6] и Росстата [7]).

Легкая промышленность имеет сложную структуру, включая две группы производств: текстильное и швейное производство, на которые приходится около 80 % объема выпуска, а также производство кожи, изделий из кожи и производство обуви, на которые приходятся остальные 20 % выпуска (рис. 1) [6]. В территориальном аспекте производство продукции ЛП по регионам России распределено крайне неравномерно (рис. 2) [8].

В начале 1990-х годов в отрасли произошел обвал производства: его объем в стоимостном выражении снизился в 5 раз, в натуральном – в 8 раз, что обусловлено разрушением старых вертикально-интегрированных це-

пей поставок и массовым наплывом дешевого импорта из Китая. Отрасль оказалась на грани исчезновения, но она выжила, и в 2000-е годы начался ее умеренный рост. Хотя и в настоящее время до уровня 1990 г. ей очень далеко. Спад производства характерен для всей отрасли ЛП [6].

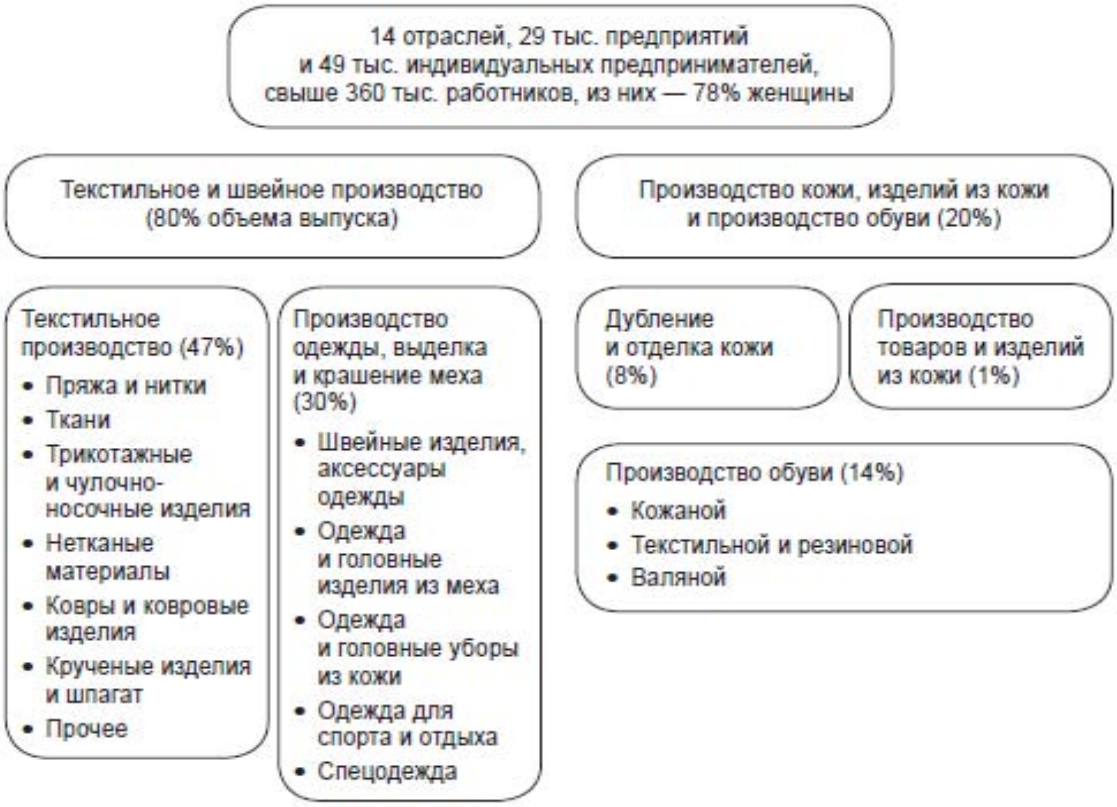


Рис. 1. Структура легкой промышленности в России [6]

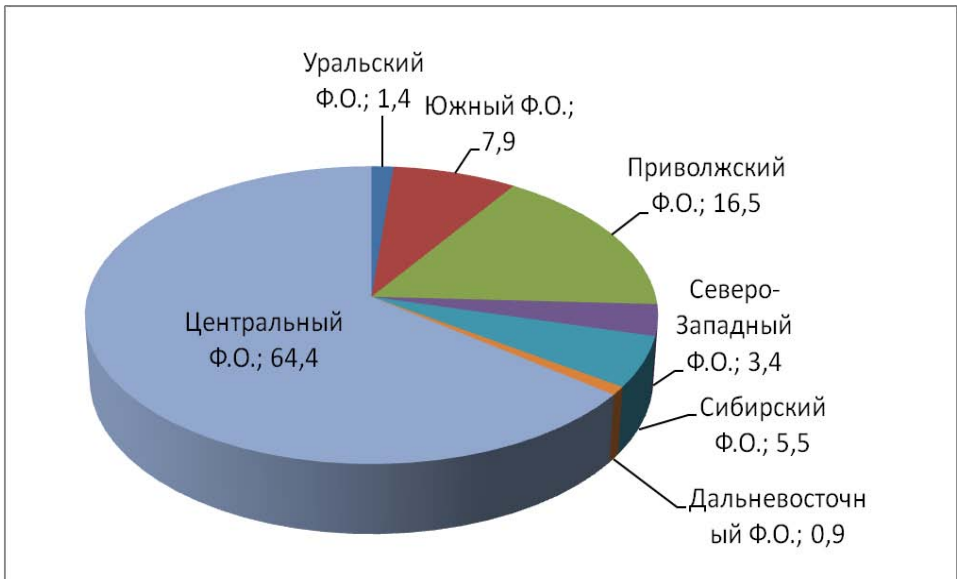


Рис. 2. Удельный вес объема производства швейных изделий в федеральных округах России в 2009 г., % [8]

Сложилась специфическая для России ситуация: влияние оказали распад СССР и экономические реформы, в то время во многих других странах с 1960-х годов по 2005 г. наблюдался период активного развития отрасли. Такого падения не было ни в одном другом обрабатывающем производстве. Полная себестоимость единицы продукции составляет 40–55 % розничной цены, отпускная цена – от 50 до 60 %, доля налогов в розничной цене товаров ЛП не более 10 %, стоимость сырья – до 25 %. Существенную долю в розничной цене занимает наценка торговых организаций: 32–48 %. Доля прибыли производителей в среднем – 6 %, а прибыль розничной торговли – 14 %. Достаточно высока зависимость отрасли от импорта (сырья и готовой продукции). Доля импорта ресурсов 15–95 %, швейных изделий в ресурсах рынка 82–84 %, а объемы экспорта составляют лишь 3–6 % к объему производства. Абсолютное большинство в сфере производства одежды составляют малые и микропредприятия (90,2 %), на них приходится 42 % занятых и 45,2 % выручки. Доля крупных и очень крупных предприятий – 5,2 % [6]. Швейные изделия – одна из важных и устойчивых статей расходов российских потребителей, которые направляют на покупку изделий легкой промышленности до 10 % своих общих расходов [7].

Структура отечественной отрасли производства одежды значительно поляризована по сравнению с ситуацией в Германии: в России – огромное количество малых предприятий, а крупных почти в 2 раза меньше, чем в немецкой отрасли. Кроме того, малый бизнес в России нередко пребывает в серой зоне. На фоне обрабатывающей промышленности в целом размеры предприятий ЛП относительно невелики.

Таким образом, рынок легкой промышленности в России представляет по структуре собственности – независимые компании, принадлежащие основному российскому собственнику; имеет высокий уровень концентрации и закрытости предприятий; доля экспорта мала, сильная сырьевая зависимость от импорта; по уровню производительности труда – это трудоинтенсивная отрасль и уступает по этому показателю другим отраслям обрабатывающей промышленности в 1,5–2 раза. Кроме того, специфика отрасли заключается в фактическом отсутствии собственных сильных брендов и малой роли соответствующих компаний. В то же время в России создана современная розничная торговля, роль которой в цепях поставок, регулируемых покупателем, заметно повышается [6].

Особенности ценовой и неценовой конкуренции и анализ развития рынка ЛП рассмотренные выше позволяют выделить основные направления практического применения методов конкуренции с целью обеспечения конкурентоспособности отечественных предприятий отрасли:

– сырьевая трансформация отрасли в сторону производства синтетических материалов, что позволит отказаться от дорогого импортного сырья и обеспечить конкурентоспособность с Китаем. При наличии собственного нефтяного сырья экономически выгодно наращивать компетенции и мощ-

ности в техническом текстиле (в строительстве, авто- и авиапроме, гео- и агротекстиле и пр.), а также в производстве высокотехнологичных тканей нового поколения.

– применение прогрессивных технологий в производстве готовой продукции среднего ценового сегмента по приемлемой для массового потребителя цене, так как в нижнем ценовом сегменте отечественным производителям конкуренцию с дешевым китайским импортом не выиграть из-за большого количества контрафакта и контрабанды по демпинговым ценам; верхний ценовой сегмент российским предприятиям также сложен из-за отсутствия неценовых факторов – сильных брендов, требующих значительных трансакционных издержек.

– деятельность в новых рыночных нишах: производство спецодежды, одежды для людей с ограниченными физическими возможностями, корпоративной, сценической и прочих видов одежды.

Таким образом, возникшая ситуация дает уникальную возможность для реабилитации отечественной легкой промышленности. Задачу импортозамещения товаров среднего ценового сегмента при разумной поддержке предпринимательства со стороны государства вполне вероятно решить отечественным производителям.

Библиографический список

1. Юданов, А.Ю. Конкуренция: теория и практика / А.Ю. Юданов. – М.: Изд-во: ГНОМ и Д, 2001. – 142 с.

2. Лисиенкова, Л.Н. Сервисная деятельность: курс лекций / Л.Н. Лисиенкова, О.А. Смолина. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 75 с.

3. Лисиенкова, Л.Н. Основы мерчендайзинга / Л.Н. Лисиенкова, О.А. Смолина, Е.А. Шитлина. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2011. – 60 с.

4. Макконнелл Кемпбелл, Р. Экономикс: Принципы, проблемы и политика. В 2 т. Т. 2 / Р. Макконнелл Кемпбелл, Л. Брю Стенли; Пер. с англ. – 11-е изд. – М.: Республика, 1993. – 400 с.

5. Портер, Е. Майкл. Конкурентная стратегия: методика анализа отраслей и конкурентов / Майкл Е. Портер; Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 454 с.

6. Текущее состояние и перспективы развития легкой промышленности в России: докл. к XV Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 1–4 апр. 2014 г. / В.В. Радаев (рук. исслед. кол.), В.Н. Данилина, З.В. Котельникова, Е.А. Назарбаева; Нац. исслед. ун-т Высшая школа экономики. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2014. – 333 с.

7. Росстат: Россия в цифрах. – URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/.

8. Родионова, И.В. Мониторинг современного рынка как основа постановки и эффективного решения управленческих задач в швейной промышленности / И.В. Родионова, Л.А. Аксенов // Экономический анализ: теория и практика. – 2011. – № 14 (221). – С. 36–39.

К содержанию

УДК 687.15

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОРМЕННОЙ ОДЕЖДЫ ДЛЯ СМОТРИТЕЛЕЙ МУЗЕЯ

О.А. Смолина

В статье рассмотрены элементы фирменного стиля, применение их в создании одежды. Показаны этапы технологической подготовки изготовления форменной одежды для смотрителей музея. Рассмотренные технологические основы позволяют изготовить комплекты одежды для сотрудников музея с учетом индивидуальных особенностей телосложения, образа и возраста потребителя с элементами фирменного стиля.

Ключевые слова: фирменный стиль, имидж, проектируемая модель, музейный работник, объект проектирования.

В технологическом процессе рассматриваются виды оказания услуг в преобразовательной, познавательной, ценностно-ориентационной и других формах человеческой деятельности и занимают соответствующее место в производственном цикле предприятий индустрии моды. Изготовление одежды по индивидуальным заказам характеризуется рядом особенностей: решающим образом определяют уровень денежных, трудовых и материальных затрат; направления совершенствования технологического процесса.

Форменная одежда, в отличие от специальной, не призвана защищать работников от каких-либо вредных факторов. Она, прежде всего, демонстрирует принадлежность работника к конкретной организации. Обязательность ношения форменной одежды может быть, как продиктована требованиями законодательства, так и установлена решением руководства организации. Фирменный стиль выступает в качестве одного из главных средств создания имиджа организации.

Имидж – это искусственный образ, формируемый в общественном или индивидуальном сознании средствами массовой коммуникации и психологического воздействия. Цель его создания – выработка определенного отношения к тому или иному объекту. Под имиджем организации понимается сформировавшийся, действенный и эмоционально окрашенный образ, основанный как на реальных, так и на приписываемых свойствах данной организации.

Корпоративный стиль – один из основных средств формирования благоприятного имиджа предприятия. Основными носителями элементов фирменного стиля являются: печатная реклама предприятия, средства пропаганды, сувенирная реклама, элементы делопроизводства, документы и удостоверения, фирменная одежда сотрудников.

Под фирменным стилем понимают набор цветовых, графических, словесных и прочих постоянных элементов, обеспечивающих визуальное и смысловое единство товаров (услуг), всей исходящей от фирмы информации, ее внутреннего и внешнего оформления. Использование фирменного стиля предполагает единый подход к оформлению, цветовым сочетаниям, образам в рекламе, деловых бумагах, форменной одежды, технической и деловой документации [3].

Основная деятельность музейного смотрителя связана с обеспечением порядка при проведении экскурсий, наблюдением за сохранностью экспонатов, консультированием посетителей по содержанию постоянной экспозиции, временных выставок. Для смотрителей предполагается жилеты с шейными платками, для научных работников – галстуки с логотипом предприятия.

Созданию комплекта одежды смотрителя предшествовала основательная работа: от разработки концепции проекта до изготовления тиража комплектов и аксессуаров. Разработка и создание конструкций и технологических карт изделий, размножение по размерно-ростовочной шкале, создание лекал базовых размеров, в том числе поэтапные обмеры сотрудников музея (сначала весна–лето, потом осень–зима) заняли несколько месяцев. Выполненные модели-образцы коллекции обсуждались, а окончательные эскизы были утверждены администрацией музея.

При проектировании одежды должны быть максимально использованы последние достижения науки, техники и прикладного искусства, выбраны оптимальные композиционные и конструктивные решения, соответствующих созданию швейных изделий, имеющих высокие эстетические и утилитарные свойства, отвечающие потребностям и вкусам различных групп потребителей, и одновременно высокую рентабельность для предприятия.

Для улучшения качества изделий и роста производительности труда необходимо применять прогрессивные формы организации производства, наряду с использованием передовой технологии и техники [1].

Одним из главных факторов, влияющих на сокращение сроков разработки новых изделий, является использование систем автоматизированного проектирования (САПР), которые обеспечивают высокое качество и эффективность проектных решений.

Основная цель создания САПР – повышение эффективности труда инженеров, включая: сокращения трудоемкости проектирования и планирования; сокращения себестоимости проектирования и изготовления, уменьшение затрат на эксплуатацию; повышения качества и технико-экономического уровня результатов проектирования; сокращения затрат на натурное моделирование и испытания.

Для проектирования раскладок в «Грации» реализованы ручной, автоматический и комбинированный режимы. Автоматизация процессов учета, планирования и управления позволяет своевременно обеспечить производство необходимыми материалами и комплектующими, рассчитать себестоимость и отпускную цену, оперативно получить информацию о динамике производства и реализации любого изделия за любой период времени и сформировать оптимальный план выпуска.

Проектируемая модель должна быть представлена в цветовой гамме эмблемы музея [2]. Жилет можно носить в любое время года. Даже на платьях он выглядит женственно и изящно. При правильном подборе модели эта одежда способна подчеркнуть достоинства и скрыть недостатки любой фигуры. Всегда актуальным остается классические однобортные жилеты (рис. 1). В соответствии с направлениями моды предлагается несколько вариантов женских жилетов. Отобранные модели подвергаются анализу на предмет их соответствия особенностям телосложения, возрасту, внешнему образу потребителя и сформулированным требованиям к модели.

Затем проводится анализ представленных моделей для их соответствия особенностям телосложения, возрасту, внешнему образу потребителя, требованиям к изделию. В соответствии с направлениями моды, особенностями телосложения, образа и возраста потребителя, а также приведенных требований, была выбрана модель женского жилета с элементами художественной обработки, шейный платок для смотрителей музея, а также модель галстука для научных сотрудников [4]. Для проектируемой модели выполнен технический рисунок модели жилета, дано описание внешнего вида (рис. 2). С учетом требований к костюмным материалам был произведен подбор материалов, разработана конфекционная карта на модель женского жилета.

На основе данных о свойствах материала были выбраны основные методы обработки. Необходимо выбирать методы обработки, которые обеспечивают высокое качество и минимальные затраты на изготовление изделия. Предлагаются методы обработки воротника с притачной бейкой и соединение его с горловиной жилета (рис. 3). Для обработки низа изделия используется отделочная притачная обтачка (рис. 4).

Рис. 1. Объект проектирования

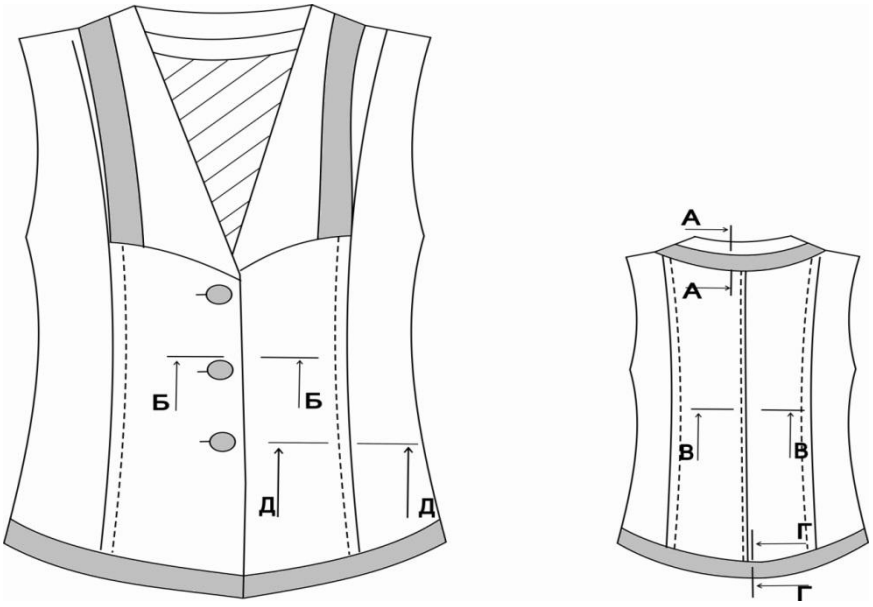


Рис. 2. Технический рисунок женского жилета

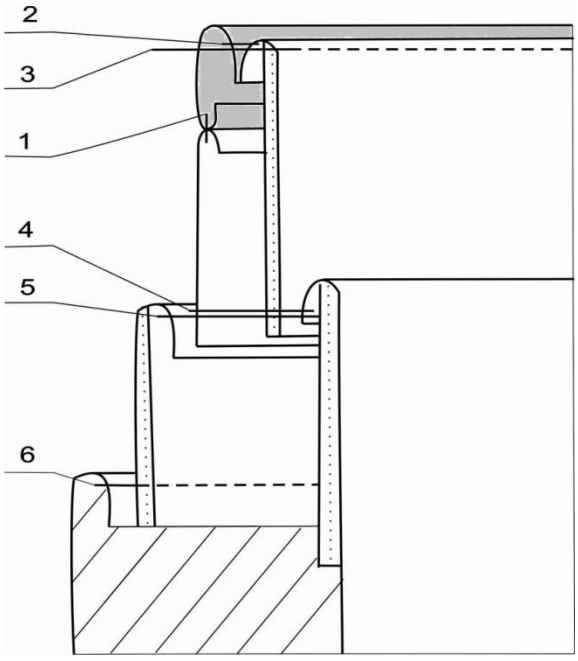


Рис. 3. Обработка и соединение воротника с горловиной изделия

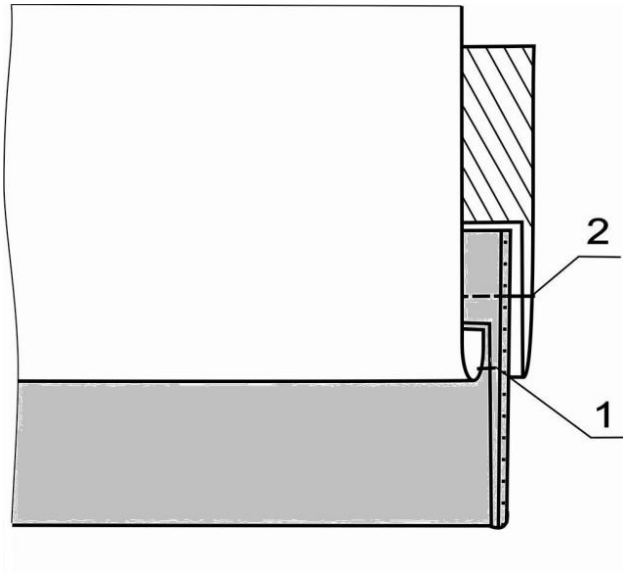


Рис. 4. Обработка низа жакета

Выводы

1. Исследованы элементы фирменного стиля и использование основных элементов в создании одежды для сотрудников краеведческого музея.

2. На основе исследований разработаны коллекции одежды, технические рисунки моделей, описание внешнего вида.

3. Использовать в работе САПР, что позволит качественно решить поставленные задачи проектирования корпоративной одежды.

4. Разработана конструкторско-технологическая документация на изготовление корпоративной одежды.

5. С учетом разработанной конструкторско-технологической документации изготовлены комплекты фирменной одежды для сотрудников Златоустовского краеведческого музея.

Библиографический список

1. Воронкова, Т.Ю. Проектирование швейных предприятий. Технологические процессы пошива одежды на предприятиях сервиса: учеб. пособие для вузов по специальности 100101 «Сервис» / Т.Ю. Воронкова. – М.: Форум: Инфа – М, 2006.

2. Златоустовский городской краеведческий музей. – URL: http://museum.ru/M1119/.

3. Панкратов, Ф.Г. Основы рекламы: учеб. для вузов / Ф.Г. Панкратов, Ю.Г. Баженов, В.Г. Шахурин. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Дашков и К, 2008.

4. Смолина, О.А. Способы художественной обработки изделий из натуральной кожи / О.А. Смолина // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013. – № 6. – С. 75–79.

К содержанию

УДК 687.01

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОДЕЖДЫ В УСЛОВИЯХ ЦИКЛИЧЕСКОГО СЖАТИЯ

Л.Н. Лисиенкова, А.И. Дерябина

В статье исследовались показатели деформация материалов в условиях циклического сжатия, имитирующих воздействие технологических и эксплуатационных факторов. Показано, что метод циклического сжатия позволяет прогнозировать поведение материалов в процессах производства и эксплуатации изделий.

Ключевые слова: нетканые материалы, деформация, циклическое сжатие, показатели сжимаемости.

Деформация сжатия возникает в материалах практически на всех этапах производства и эксплуатации нетканых материалов. Материалы подвергаются действию сжимающих усилий при технологических обработках (формование, прессование, соединение, влажно-тепловые) и эксплуатации одежды. Особенностью внешних усилий при производстве и эксплуатации одежды, является цикличность их действия [1].

Изменение свойств материалов обусловлено перестройкой связей структурных элементов при воздействии влаги и тепла на материалы. Кроме того, механизм деформации структурных элементов зависит от вида сжатия: стесненного или свободного, при которых возникают разные напряжения связей структурных элементов, что приводит к изменению или перераспределению компонент полной деформации материала.

Изучение свойств материалов разработанным методом циклического сжатия позволяет получать объективную информацию, необходимую для решения многих задач, связанных с повышением не только эксплуатационных, но и эргономических свойств одежды [2]. Характеристика исследуемых материалов представленная в табл. 1.

Для оценки свойств материалов при производстве и эксплуатации одежды предложено использовать комплекс показателей, характеризующих деформацию и изменение размеров и формы материалов при сжатии:

– показатель сжимаемости C_1, который определяется толщиной пробы (мм) или величиной полной деформации (%) пробы в кондиционном состоянии при 1-м цикле или небольшом количестве (1–10) циклов свободного сжатия;

– показатель сжимаемости C_2, определяемый толщиной пробы (мм) или величиной полной деформации (%) при нагружении пробы во влажном состоянии при 1-м цикле или 1–10 циклов свободного сжатия;

– показатель сжимаемости $C_ц$, определяемый толщиной пробы (мм) или величиной (обратимой) остаточной деформации (%, доли) после воздействия на пробу заданного количества (50–100) циклов сжатия, в период отдыха при установлении равновесного состояния [3].

Таблица 1

Характеристика материалов

Название материала	Волокнистый состав, %	Поверхностная плотность, г/м^2	Толщина, мм
1. Ватин холстопрошивной арт. 917618	ВХл-100	250,0	5,1
2. Ватин холстопрошивнойарт. 927622	ВШрс-85, ВПэф-15	200,0	6,1
3. Синтепон арт. СК150/300	ВПэф-100	140,0	12,1
4. Холлофайбер	ВПэф-100	130,0	12,0
5. Пальтовая ткань арт. 4514	ВШрс-67, ВНитр-33	560,0	3,1
6. Драп «Лор» арт. 3655	ВШрс-100	650,0	5,6
7. Полотно поперечновязаное плюшевого переплетения	ПрПэф-50, ПрВис-50	261,0	1,2
8. Электрофлокированное нетканое полотно каркасное с ворсовым покрытием	ВХл-23, ВПэф-30 ВПАН-47	325,0	2,7

При этом показатель остаточной циклической сжимаемости $C_ц$ в зависимости от цели исследования может определяться при варьировании условий испытания проб: стесненное или свободное сжатие, кондиционное или влажное состояние проб, с предварительной обработкой проб в процессе технологических операций (соединение в пакет, прессование, дублирование, влажно-тепловые и другие воздействия) или без предварительных воздействий.

Сравнительная оценка показателей сжимаемости C_1 и C_2 характеризует свойства материала в условиях, моделирующих воздействие технологических факторов и прогнозирует показатели материалов, используемые при выборе конструкции изделия, технологических операций формования, прессования и пр. Это позволяет применять рациональные способы обработки материалов и улучшить эргономические показатели конструкции при проектировании одежды.

Показатель остаточной циклической сжимаемости $C_ц$, характеризует свойства материала или пакета материалов для одежды после циклических сжатий, моделирующих условия эксплуатации одежды, и прогнозирует показатели надежности изделий (формоустойчивость, изменение размеров, внешнего вида), а также показатели теплофизических свойств.

Показатель сжимаемости C_1 определяется по формуле:

$$C_1 = 100\ (\delta_0 - \delta_{сж}) / \delta_0, \qquad (1)$$

где δ_0, $\delta_{сж}$ – толщина пробы до сжатия, при сжатии соответственно, мм.

Показатель сжимаемости C_2 определяется по (5.18) для проб во влажном состоянии. Сравнительную оценку свойств группы материалов удобно проводить по коэффициенту начальной сжимаемости материалов во влажном состоянии:

$$K_{сж} = C_2 / C_1. \qquad (2)$$

Оценка свойств материалов при сжатии основана на анализе показателей (C_1, C_2, $C_ц$) или ($K_{сж}$, $C_ц$), что обеспечивает комплексный подход к изучению деформационных свойств в соответствии с разработанной в диссертационной работе методологией исследования деформационных свойств материалов при воздействии факторов производства и эксплуатации [3].

На основе экспериментальных исследований деформации сжатия материалов различного состава и способа получения разработана их градация на группы по показателям начальной и остаточной сжимаемости для оценки формуемости и формоустойчивости объектов. В основу градации положена полная и остаточная деформация при однократном и многократном сжатии материалов (табл. 2).

Практическое применение методики комплексной оценки позволило на основе результатов исследования деформации сжатия материалов, установить группу сжимаемости образцов материалов. Для оценки циклической

сжимаемости $C_ц$ нетканых утепляющих материалов (см. табл. 1, образцы 1–4) использовали результаты необратимой деформации после 100 циклов стесненного сжатия (предполагалось изделие с неотлетной подкладкой). Результаты оценки показателей сжимаемости исследуемых объектов представлены в табл. 3.

Таблица 2

Группы показателей сжимаемости материалов

Показатель	Группа сжимаемости		
	1	2	3
Полная деформация при 1-м цикле сжатия проб в кондиционном состоянии C_1, %	1,0…3,5	3,6…6,0	Более 6,0
Полная деформация при 1-м цикле сжатия проб во влажном состоянии C_2, %	1,0…4,0	5,0…10,0	Более 10,0
Коэффициент начальной сжимаемости, $К_{сж}$	Более 0,8	0,6…0,7	Менее 0,6
Рекомендации по выбору материалов (пакетов) для моделей одежды			
Рекомендации по выбору силуэта, формы, прибавок, конструктивному решению, способа формообразования			
Рекомендации по выбору технологических обработок (способы формозакрепления, параметры прессования, соединения, влажно-тепловых обработок)			
Циклическая сжимаемость, $С_ц$ (необратимая деформация после 100 циклов сжатия),%	2…20	21…40	более 40
Рекомендации по условиям эксплуатации, способу хранения, ухода за изделием			

Таблица 3

Показатели сжимаемости материалов

Образец материала	Показатели сжимаемости, %,			Коэффициент начальной сжимаемости $К_{сж}$
	После 1-го цикла сжатия проб (влажность)		После 100 циклов сжатия проб (влажность)	
	Кондиционная (C_1)	Увлажнение 30% (C_2),	Кондиционная ($C_ц$)	
1	2,69	4,80	15,6	0,56
2	3,94	5,31	29,1	0,74
3	12,30	16,96	42,7	0,73
4	12,58	17,10	23,2	0,74
5	1,65	2,14	3,0	0,77
6	2,87	3,36	21,3	0,85
7	2,83	2,40	48,4	1,10
8	1,91	1,67	13,6	1,12

Анализ коэффициента сжимаемости $К_{сж}$ (см. табл. 3) показал, что чем ближе его величина к 1, тем меньше изменяется деформация пробы при сжатии и влажно-тепловом воздействии, что может прогнозировать свойства материалов в процессах формования и формозакрепления.

Сравнительная оценка величины $К_{сж}$ показала, что при 1-м цикле сжатия полная деформация проб после влажной обработки в паровоздушной среде ворсового трикотажного полотна и нетканого материала «флок» (образцы 7, 8) практически не изменяется относительно деформации сжатия проб в кондиционном состоянии. Это объясняется составом и структурой данных материалов.

Коэффициент сжимаемости драпа (образец 6) составил 0,85, что связано с большой плотностью и жесткостью материала, поэтому трудоемкость операций формования деталей из данного материала будет больше относительно пальтовой ткани ($К_{сж} = 0,77$) и отразится на параметрах влажно-тепловых операций при формовании и формозакреплении. Наибольшая сжимаемость во влажном состоянии у ватина из хлопковых волокон (образец 1).

По величине показателей (табл. 3) установили группы сжимаемости материалов в табл. 4.

Таблица 4

Группы сжимаемости материалов

Показатель	Группа сжимаемости		
	1	2	3
Полная деформация при 1-м цикле сжатия проб в кондиционном состоянии $С_1$, %	1,0…3,5	3,6…6,0	Более 6,0
Образцы материалов	1, 5, 6, 7, 8	2	3, 4
Полная деформация при 1-м цикле сжатия проб во влажном состоянии $С_2$, %	1,0…4,0	5,0…10,0	Более 10,0
Образцы материалов	5, 6, 7, 8	1, 2	3, 4
Коэффициент сжимаемости $К_{сж}$	Более 0,8	0,6…0,7	Менее 0,6
Образцы материалов	6, 7, 8	2, 3, 4, 5	1
Необратимая деформация после 100 циклов сжатия $С_ц$,%	2…20	21…40	Более 40
Образцы материалов	1, 5, 6, 8	2, 4	3, 7

Практическое применение методики позволяет повысить объективность оценки свойств материалов для разработки рекомендаций по выбору материалов в пакет изделия, оптимизации параметров технологических операций, прогнозировании условий эксплуатации и ухода за изделиями.

Библиографический список

1. Дерябина, А.И. Разработка метода оценки свойств материалов для одежды при циклическом сжатии / А.И. Дерябина, Л.Н. Лисиенкова // Совершенствование процесса организации услуг и технологий в индустрии моды и красоты: Материалы **X** межвузовская научно-практическая конференция студентов и аспирантов «Молодёжь, наука, творчество-2012»: межвузовский сб. науч. тр. – Омск: ОГИС, 2012. – С. 94–95.

2. Патент на полезную модель Российская Федерация № 144579 U1, МПК G01N 3/08 Устройство для определения деформации текстильных материалов при сжатии / А.И. Дерябина, Л.Н. Лисиенкова, Е.А. Трофимов, Ю.С. Мязина. – Заявка № 2014115352/28; заявл. 16.04.2014; опубл. 27.08.2014.

3. Лисиенкова, Л.Н. Исследование деформационных свойств материалов для одежды методом циклического сжатия / Л.Н. Лисиенкова, Е.А. Кирсанова // Известия вузов. Серия «Технология текстильной промышленности». – 2010. – № 3. – С. 25–28.

К содержанию

УДК 687.075

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ШОВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ю.С. Мязина

В статье исследовались деформация трикотажных полотен в условиях циклического растяжения, имитирующих технологические и эксплуатационные факторы.

Ключевые слова: свойства трикотажных полотен, одноцикловое растяжение, пространственное растяжение.

Трикотажные полотна на сегодняшний день являются наиболее востребованным видом материалов для изготовления одежды. Исследование свойств трикотажных полотен представляет большой интерес для швейного производства. Особенностью трикотажных полотен является их эластичность, которая оценивается комплексом объективных и субъективных характеристик. Объектами исследования деформации при проведении данного эксперимента являются образцы трикотажных полотен плательно-костюмной группы различных переплетений и волокнистого состава (табл.). Пробы трикотажных полотен отобраны в соответствии с ГОСТ 8844–75.

На эксплуатационную стойкость готовых швейных изделий из трикотажных полотен существенное влияние могут оказывать участки соединений их деталей. Под стойкостью шва понимается стойкость зоны шва, т.е. участка, состоящего из самого шва и участка изделия непосредственно прилегающего к нему.

Таблица

Характеристика трикотажных полотен

Образец	Переплетение	Толщина, мм	Поверхностная плотность, г/м^2	Волокнистый состав, основа/уток
№1	Гладь	0,576	205,40	ВХл
№2	Пике	0,497	146,92	ВПэф
№3	Двуластик	1,169	279,20	ВПэф, ВШр
№4	Двуластик	1,19	261,00	ВХл, ВСиб
№5	Двугладь	1,109	221,80	ВПэф, ВПур

Объектами исследования стали следующие виды швов: стачной челночный и цепной, трехниточный стачивающе-обметочный, накладной одно- и двухниточный челночный и плоскошовный. Швы были выполнены по ГОСТ 12807–88.

Исследование деформации растяжения проводилось на разработанном в ФГБОУ ВПО ЮУрГУ устройстве и приспособлении к нему [1].

Исследование отобранных образцов материалов включало:

- определение (исходных) деформационных характеристик при одноцикловом растяжении при нормальных атмосферных условиях;
- определение (исходных) деформационных характеристик при одноцикловом растяжении при нормальных атмосферных условиях и разных нагрузках;
- определение многоцикловых характеристик при пространственных растяжениях при нормальных атмосферных условиях и разных нагрузках.

На рисунках 1–7 представлены диаграммы одноциклового одноосного, двухосного, многоосного растяжения образцов для трехниточного стачивающе-обметочного вида шва.

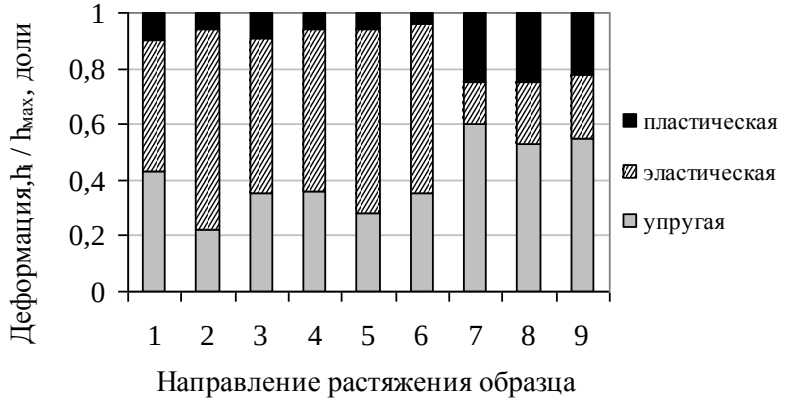


Рис. 1. Величина относительной деформации
в условиях одноосного растяжения образцов № 2, 3, 4, соответственно:
1, 4, 7 – вдоль; 2, 5, 8 – поперек; 3, 6, 9 – под углом 45°

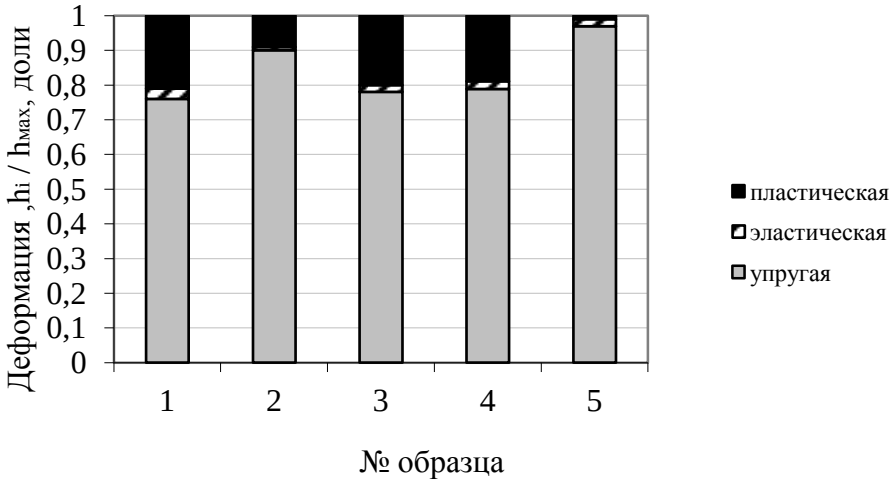


Рис. 2. Величина относительной деформации образцов № 1–5 (D/d = 25/15, $t_{нагр}/t_{отд}$ = 10/10)

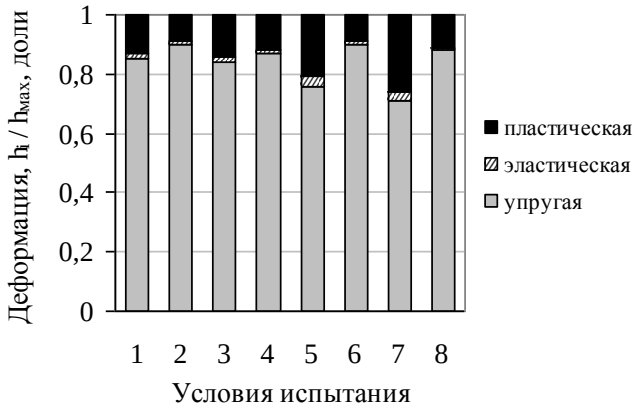


Рис. 3. Величина относительной деформации образцов № 1, 2 соответственно, при нагрузке: 1, 2 – 0,2 даН, 3, 4 – 0,5 даН, 5, 6 – 1 даН, 7, 8 – 1,5 даН (D/d = 25/15, $t_{нагр}/t_{отд}$ = 10/10)

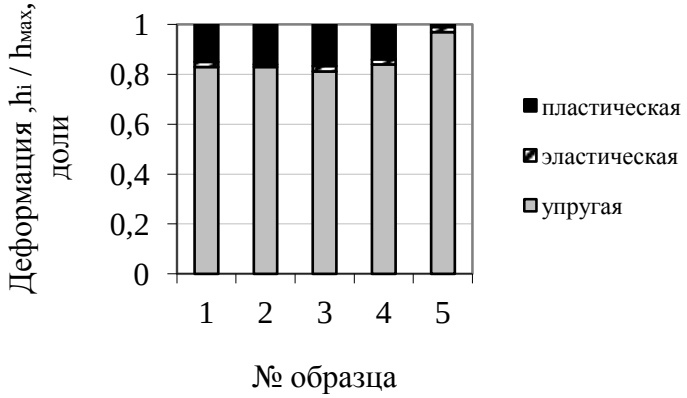


Рис. 4. Величина относительной деформации образцов № 1–5 (D/d = 40/35, $t_{нагр}/t_{отд}$ = 10/10)

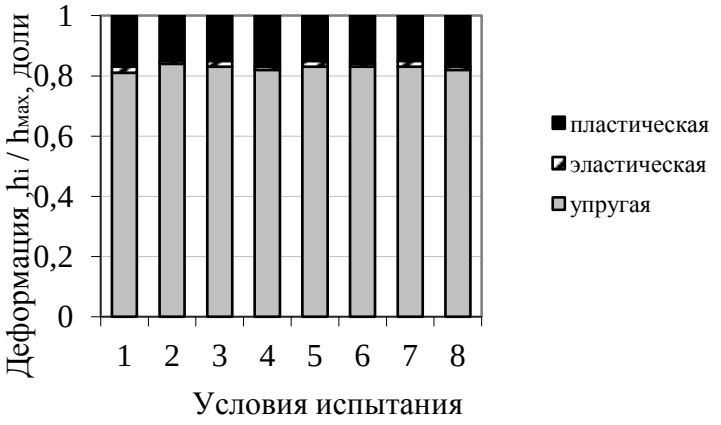


Рис. 5. Величина относительной деформации образцов № 1, 2, соответственно, при нагрузке: 1, 2 – 0,2 даН, 3, 4 – 0,5 даН, 5, 6 – 1 даН, 7, 8 – 1,5 даН (D/d = 40/35, $t_{нагр}/t_{отд}$ = 10/10)

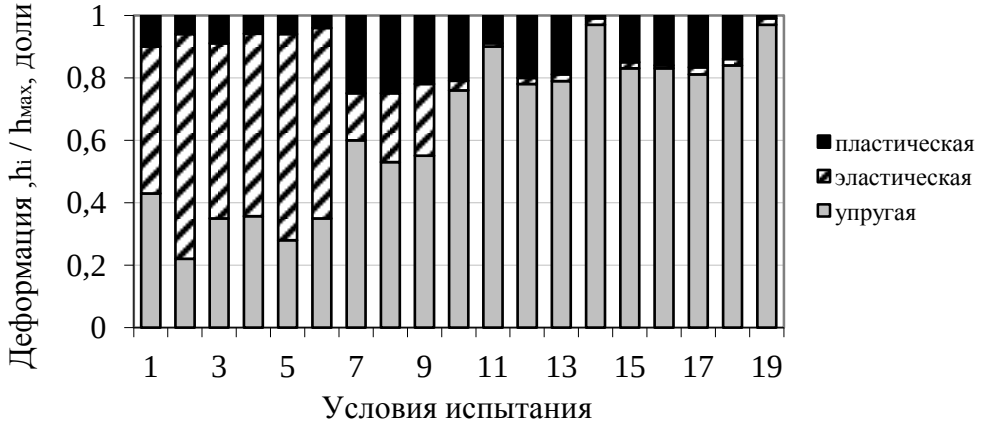


Рис. 6. Относительная деформация образцов № 1–5 в условиях: 1–9 – одноосного (образцы № 2, 3, 4); 10–14 – образцы № 1–5 (D/d = 25/15, $t_{нагр}/t_{отд}$ = 10/10); 15–19 – образцы № 1–5 (D/d = 40/35, $t_{нагр}/t_{отд}$ = 10/10) одноциклового растяжения

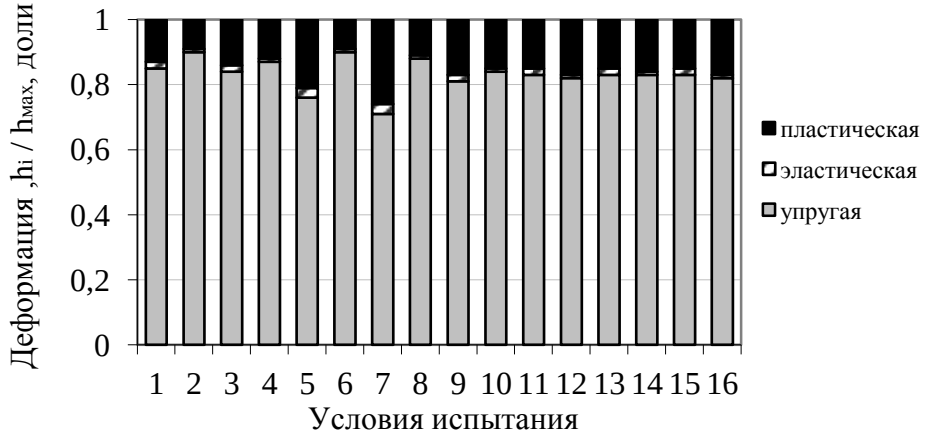


Рис. 7. Относительная деформация образцов № 1, 2, соответственно, при нагрузке: 1, 2, – 0,2 даН, 3, 4 – 0,5 даН, 5, 6 – 1 даН, 7, 8–1,5 даН (D/d = 25/15, $t_{нагр}/t_{отд}$ = 10/10), 9, 10–0,2 даН, 11, 12 – 0,5 даН, 13, 14 – 1 даН, 15, 16–1,5 даН (D/d = 40/35, $t_{нагр}/t_{отд}$ = 10/10)

Анализ результатов расчета, полученных при испытаниях, показал, что величина упругой деформации при одноосном растяжении у образца № 4 в 4,4 раза превышает данный показатель для образца № 2 и в 2 раза для образца № 3. Это обусловлено высокой упругостью при растяжении трикотажных полотен. Доля упругой компоненты для образца № 4 также выше на 40–60 % по сравнению с образцами № 2, 3. Пластическая часть деформации при двухосном растяжении проявляется в меньшей степени у образца № 5 и в большей – у образцов № 1, 3, 4, что обусловливает лучшие деформационные свойства хлопковых и полушерстяных трикотажных полотен, полученных по двум обозначенным методикам, что связанно с существенными различиями в условиях испытания материалов. Поэтому, сравнение результатов испытаний нам представляется не вполне корректным. Однако общие тенденции, выявленные при оценке упругопластических свойств образцов по общепринятой методике, сохраняются и при испытаниях на двухосное растяжение: вложение полиуретановых нитей повышает упругую деформацию и эластичность трикотажа, а содержание хлопковых и шерстяных волокон обеспечивает пластичность материала и лучшие формовочные свойства. Преимущества предлагаемого способа заключаются в возможности реализации не только одноциклового одноосного, но и двухосного растяжения и оценке исходных свойств (например, деформационных). Основной интерес представляет возможность изучения релаксационных процессов в условиях многоциклового растяжения материалов при различных режимах и нагрузках. Данное направление является целью последующих исследований.

Библиографический список

1. Патент Российская Федерация № 2354953 C2, МКИ G01N 3/08 Устройство для определения деформационных свойств кожи и подобных ей гибких материалов / Е.В. Баранова, Л.Н. Лисиенкова, В.И. Стельмашенко, А.В. Саламатин. – Заявка № 2007114927; заявл. 20.04.07; опубл. 10.05.09; Бюлл. № 13.

К содержанию

ФИЛИАЛ В г. КЫШТЫМ

УДК 621.833.001.2

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

В.В. Ахлюстина

В статье рассмотрены вопросы получения профиля зубьев зубчатых колес электроэрозионным способом различными электрод-инструментами и их влияние на точность обработки зубьев.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, электрод-инструмент, точность обработки.

Электроэрозионная обработка (ЭЭО) формирования профиля рабочих поверхностей зубьев и химико-термическая обработка (нитроцементация и ионное азотирование) для повышения контактной прочности рабочих поверхностей зубьев. Электроэрозионная проволочная вырезка широко применяется для изготовления зубчатых колес с наружными зубчатыми венцами с использованием проволоки в качестве инструмента на предприятиях Применение электроэрозионной обработки для изготовления блоков зубчатых колес позволяет обеспечить высокую производительность с требуемым качеством и точностью поверхности, при этом обеспечиваются нормы по контактной (для тяжелонагруженных и высокоскоростных зубчатых передач) и изгибной (для малонагруженных зубчатых передач) прочности. При этом повышается надежность конструкции блоков колес, сокращается влияние качества сборки на пятно контакта.

Установленные зависимости изменения контактных напряжений рабочих поверхностей зубьев при различных методов обработки и видах химико-термической обработки могут использоваться для оценки надежности зубчатых передач при проектировании.

Многоконтурный электрод-инструмент [1], состоящий из дисков, к каждому из которых подключены балластные сопротивления.

Электрод-инструмент [2], выполненный в виде металлического корпуса с изолированными поверхностями, жестко закрепленный на валу.

Электрод-инструмент [2], выполненный в виде полого диска с отверстиями для подачи электролита в зону обработки.

Общим недостатком перечисленных инструментов является то, что ими можно проводить обработку зубчатых колес только методом копирования. При таком методе обработки не достигается требуемое закругление острых кромок и удаление заусенцев по всему профилю обрабатываемого зубчатого венца, что особенно важно у шестерен повышенной и прецизионной точности.

Электрод-инструмент для электроэрозионной обработки зубчатых колес методом обката, выполненный в виде зубчатого колеса, отличающийся тем, что он снабжен токопроводящими пластинами, укрепленными с одной или нескольких сторон инструмента, при этом инструмент выполнен из диэлектрического материала, а пластины – с возможностью размещения их рабочей поверхности перпендикулярно биссектрисе угла, образованного торцевой и концентрической поверхностями зуба обрабатываемого колеса.

Наиболее близким инструментом по техническому решению и достигаемому результату является электрод в виде зубчатого колеса, служащий для обработки зубчатых колес методом обката. Основным недостатком этого инструмента является то, что при обработке им острых кромок и заусенцев уже полученного другим способом зубчатого венца изменяется геометрия профиля зубьев, что недопустимо.

В способе электроэрозионной обработки зубчатых колес методом обката не содержится сложной кинематической схемы, а обработка методом обката обеспечивается прямым зубчатым зацеплением электрода-инструмента с деталью. Электрод-инструмент изготовлен из диэлектрического материала и дополнительно содержит токопроводящие пластины, закрепленные с одной или с обеих сторон. Рабочая поверхность пластин перпендикулярна биссектрисе угла, образованного торцевой и концентрической поверхностями зуба обрабатываемого колеса. На рис. 1 изображен общий вид электрода-инструмента. Он состоит из корпуса 1, изготовленного в виде зубчатого колеса, и токопроводящих пластин 2, закрепленных на колесе.

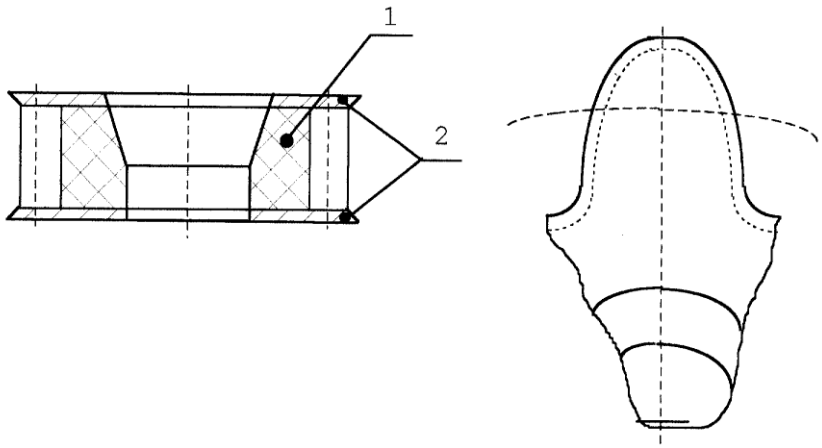


Рис. 1. Электрод – инструмент

Корпус электрода-инструмента 1 выполняется из диэлектрика, например оргстекла по ГОСТ 15809-70 (текстолит, гетенакс, эбонит и пр.). В корпусе выполняется конусное отверстие для посадки инструмента на державку и передачу через нее крутящего момента на корпус и отрица-

тельного потенциала на торцевые пластины ЭИ 2, закрепленные на корпусе. Пластины 2 выполняются в виде шайб с профилем, соответствующим профилю обрабатываемого зубчатого колеса, с заточкой внешнего торца на угол 45° для обеспечения фаски обрабатываемой поверхности. Толщина пластин рассчитывается из учета их износа при обработке партии деталей. Материал пластин – латунь Л63 по ГОСТ 15527-70.

Электрод-инструмент работает следующим образом [1]. В начале операции его вводят в зацепление с обрабатываемым зубчатым колесом так, чтобы обеспечить необходимый межэлектродный зазор между рабочей поверхностью пластины инструмента и обрабатываемой поверхностью детали. Далее зацепление помещают в рабочую среду и подают на электроды разность потенциалов, необходимую для проведения процесса электроэрозии. Для обеспечения обработки детали по всему контуру методом обката электроду-инструменту сообщают вращательное движение, которое в свою очередь через зубчатое зацепление передается детали. Кинематическая схема обработки приведена на рис. 2.

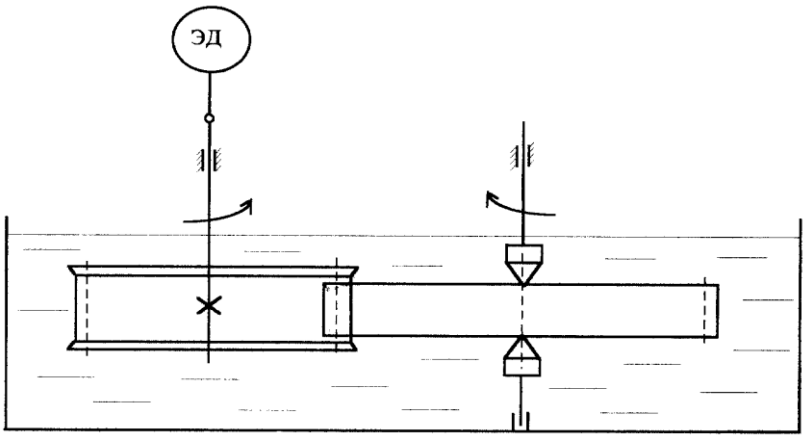


Рис. 2. Схема обработки зубьев колес

Удаление металла с заготовки происходит в среде диэлектрика за счет микроразрядов, расплавляющих часть металла. По мере сближения электрода-инструмента с заготовкой напряженность Е электрического поля возрастает обратно пропорционально расстоянию между электродами. Наибольшая напряженность возникает на участке, где зазор минимален, в межэлектродном промежутке (МЭП).

Первой стадией эрозионного процесса является пробой МЭП в результате образования зоны с высокой напряженностью поля. Под действием разряда происходит ионизация промежутка, через который между электродами начинает протекать электрический ток, т.е. образуется канал проводимости – сравнительно узкая цилиндрическая область, заполненная нагретым веществом (плазмой), содержащим ионы и электроны. Через канал

проводимости протекает ток, при этом скорость нарастания его силы может достигать сотен килоампер в секунду. На границе канала происходит плавление металла, образуются лунки.

Второй стадией является образование около канала проводимости газового пузыря из паров жидкости и металла. Вследствие высокого давления ($2 \cdot 10^7$ Па) канал проводимости стремится расшириться, сжимая окружающую его газовую фазу. Вследствие инерции сначала газовый пузырь и окружающая его жидкость неподвижны. Затем начинается их расширение. Границы канала проводимости движутся с высокой скоростью в радиальном направлении. Скорость расширения может достигать 150...200 м/с. На наружной границе образуется так называемый фронт уплотнения.

Третьей стадией будет прекращение тока, отрыв ударной волны от газового пузыря и продолжение его расширения по инерции. Ударная волна гасится окружающей жидкостью. Вначале этой стадии в межэлектродном промежутке находится жидкий металл в углублениях электродов; газовый пузырь, внутри которого имеются пары металлов заготовки инструмент; жидкий диэлектрик. Когда газовый пузырь достигнет наибольшего размера, давление внутри него резко падает. Содержащийся в лунках расплавленный металл вскипает и выбрасывается в межэлектродный промежуток. Обработка деталей сложного профиля с прямолинейной вертикальной или наклонной образующей (до 6 градусов) из токопроводящих материалов независимо от их твердости **выполняется на эрозионно-проволочном станке.**

Под точностью обработки деталей понимается степень соответствия ее формы и размеров чертежу. Отклонения от формы и размеров называется погрешностью. Также как и при механической обработке, на размеры погрешности оказывают влияние состояние технологической системы, погрешности установки, базирования инструментов, внутренние напряжения в материале заготовки, ее нагрев при обработке [2].

В процессе обработки форма и размеры электрода-инструмента нарушаются из-за износа. Износ на различных участках инструмента различен. Так, на участках инструмента, имеющих вогнутость, число разрядов меньше, следовательно, износ на них будет выражен слабее. Если учесть условия выноса продуктов обработки из промежутка, то различия в износе различных участков еще более возрастут.

Чтобы снизить влияние износа электродов-инструментов на точность изготовления выполняют следующие мероприятия:

а) изготовляют инструмент из материала, стойкого к эрозии, например, из вольфрама, меднографита, коксографитовых композиций;

б) используют так называемые безызносные схемы, при которых часть материала заготовки или из рабочей среды осаждают на инструменте, компенсируя тем самым его износ;

в) заменяют изношенные участки инструмента путем продольного перемещения, или заменяют весь инструмент;

г) производят правку и калибровку рабочей части инструмента.

В результате ЭЭО поверхность приобретает характерные неровности, а приповерхностные слои металла претерпевают физико-химические изменения. Это оказывает влияние на эксплуатационные показатели обрабатываемых деталей.

Поверхностный слой формируется за счет расплавленного металла, оставшегося на поверхности лунки, и прилегающего к ней слоя металла, подвергнутого структурным изменениям от быстрого нагрева и охлаждения металла. Поверхностный слой состоит из так называемого белого слоя, в котором наблюдаются химико-термические превращения. Переходного слоя, в котором имели место только термические изменения и под которым находится неизмененный металл заготовки. Измененная зона, образуемая первым слоем, содержит продукты диэлектрической среды, в частности углерод и элементы, входящие в состав электрода-инструмента. У остальных заготовок в этой зоне образуются карбиды железа, которые способствую упрочнению поверхности.

Состояние поверхностного слоя определяет износостойкость, прочность и другие свойства детали в механизме. После ЭЭО поверхностный слой приобретает свойства, по-разному влияющие на эксплуатационные характеристики деталей. Положительными являются повышение твердости поверхности при сохранении вязкости середины, большое количество лунок на поверхности, плавное их сопряжение. К недостаткам следует отнести возможность появления трещин, растягивающих напряжений, трудность получения поверхности с малой шероховатостью.

Библиографический список

1. URL: www.freepatent.ru/patents2212317.
2. URL: www.studpedia.net.11384491.

К содержанию

УДК 621.001.2

МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

С.Ф. Плаксин

В статье приведены сведения о типах резинотехнических изделий, а так же об основных материалах РТИ, об основных методах изготовления РТИ и об основных типах машин для производства РТИ.

Ключевые слова: манжет, резинотехнические изделия, силиконовая форма, точение манжет.

Давно и незаметно резинотехнические изделия стали частью нашей жизни. Сегодня повсеместно в производственных процессах используются РТИ. И не замечая этого, мы постоянно пользуемся продукцией из резины (ремни, шланги, прокладки, уплотнители и др.). Транспортёрная лента (самая значимая деталь транспортёра) тоже относится к РТИ.

Одно из самых востребованных резинотехнических изделий – манжета. Это базовый элемент контактного уплотнительного устройства манжетного типа, который имеет кольцевую форму, изготовлен из эластичного материала и предотвращает вытекание газа или рабочей жидкости из области повышенного давления в область низкого давления; кроме того, является защитой деталей от попадания на них пыли и грязи. Их другое название – сальники (рис. 1).

Рис. 1. Манжеты

Среди них можно выделить два типа: однокромочные манжеты и однокромочные манжеты с пыльником. Простые однокромочные манжеты предупреждают вытекание уплотняемой среды, а однокромочные манжеты с пыльником так же защищают соединения от пыли.

Изготавливаться манжеты могут из разных групп резиновых смесей, из маслобензостойкой резины, пищевых термостойких каучуков, поливинилхлорида и полиуретана. От применяемого материала зависят и условия их работоспособности. Они могут работать при температурах от -60 °С до +380 °С. Давление, при котором могут эксплуатироваться сальники, колеблется от 0.1 МПа до 50 МПа.

Чаще всего манжеты имеют П-образную форму сечения, так, чтобы цилиндрические поверхности кольца прижимались к уплотняемым поверхностям деталей, подвижной и неподвижной.

Скорость скольжения сальников 15–20 м/с; ресурс их работы составляет от 1000 до 5000 часов. Ограничения функционирования манжет напрямую связаны со свойствами материала: его старением, стойкостью к химическим воздействиям, температурным диапазоном эксплуатации, крошением, износостойкостью.

Основа РТИ натуральный и синтетический каучук. В настоящее время в промышленности применяют РТИ двух типов: формовые и неформовые. Особняком стоят рукава, разнообразные ремни, конвейерные ленты.

Формовые РТИ это колпачки, уплотнители прокладки и др. Данный тип РТИ назван так по методу изготовления: при этом используется формирование, в определенных условиях процесс совмещает вулканизацию резины в особой форме. Этот способ наиболее востребован и состоит из одного производственного процесса.

Неформовые РТИ изготовляют в два этапа. Вначале резина проходит экструзию, а затем приобретает форму и вулканизируется

Производство формовых уплотнительных элементов осуществляется двумя методами.

Первый метод литьё с использованием литьевых форм для каждого типа размера уплотнений диаметром до 2000 мм.

Второй метод не требует проектирования и изготовления металлической формы. Это совершенно другие более современные технологии, которые позволяют сократить время изготовления уплотнений до пяти минут из имеющихся заготовок методом точения на станке с программным управлением из широкой гаммы различных материалов максимальным диаметром до 520 мм. Это позволяет изготавливать уплотнения различного сечения, из резин (стойких к агрессивным средам и высоким температурам) полиуретанов, фторопластов и пластмасс для ремонта оборудования отечественного и импортного происхождения.

Механическая обработка резины, полиуретана и пластиков требует применения высококачественных режущих инструментов, установленных на многопозиционной револьверной головке.

Производство уплотнений методом точения, делает его универсальным, не привязанным к ГОСТам, и прочим документам, которые ограничивают, усложняют, и «привязывают» заказчика к производителю (что особенно

заметно на оборудовании зарубежного производства). Это позволяет сократить простои при ремонте даже старого оборудования, так как, можно выполнить уплотнения под любой ремонтный размер штоков, цилиндров, гильз, и тем самым исключить дорогие операции напыления и т.п.

Манжеты, выточенные на станках ЧПУ, имеют наивысшие показатели качества по сравнению с другими сальниками. Точность обработки формовых манжет 0,1–0,2 мм, а точность обработки поверхностей выточенных манжет достигает 0,01 мм. По износостойкости точеные манжеты такие же, как и формовые.

Литье полиуретана является распространённым способом получения большого ассортимента всевозможных изделий. С помощью литья изготовляют втулки, манжеты и опоры. На железнодорожном транспорте используются полиуретановые уплотнения для гидравлических и пневматических амортизаторов. Много деталей применяется в автомобилестроении. Это подшипники скольжения, элементы подвески, самосмазывающиеся уплотнения.

Для изготовления изделий из литьевого полиуретана (манжеты, сальники, уплотнения) применяются 3 технологии литья полиуретана: **ротационное литье** полиуретана, свободное литье в форму и литье полиуретана под давлением.

Свободное литье жидкого полиуретана в специальную форму позволяет получать изделия высокой сложности с любыми геометрическими параметрами. Вес готового изделия может достигать 500 кг. Основу технологии составляют высокоточное дозирование компонентов смеси, постоянный контроль температуры и давления в течение всего процесса. Это достигается использованием программного управления.

В изделие из литьевого полиуретана может быть заложена твёрдость от 40 единиц по ШОР шкала «А» до 80 единиц по ШОР шкала «Д».

Технология свободного литья полипропилена, практикуется в силиконовые формы, и применяется для изготовления небольших серий изделий (рис. 2). Преимущество данной технологии – это небольшие затраты времени и невысокая стоимость изделий.

Принцип ротационного литья или гуммирования полиуретаном позволяет наносить покрытие на валы длиной до 8 метров и диаметром до 2-х метров (рис. 3). Применение технологи гуммирования не требует дополнительной оснастки, что существенно сокращает время на выполнение работы. Покрытия наносятся различных уровней твёрдости от 60 единиц по ШОР шкала «А» до 70 единиц по ШОР шкала «Д».

Ротационное литье представляет собой комбинацию полиуретановых систем для покрытия валов или любых деталей цилиндрической формы. Отливочная форма при этом не используется. При этом методе полиуретановые системы через специальное дозирующее устройство подаются непо-

средственно на вращающийся вал или цилиндр. Весь технологический процесс производится без повышения температуры, что позволяет обойтись без нагрева металлического сердечника.

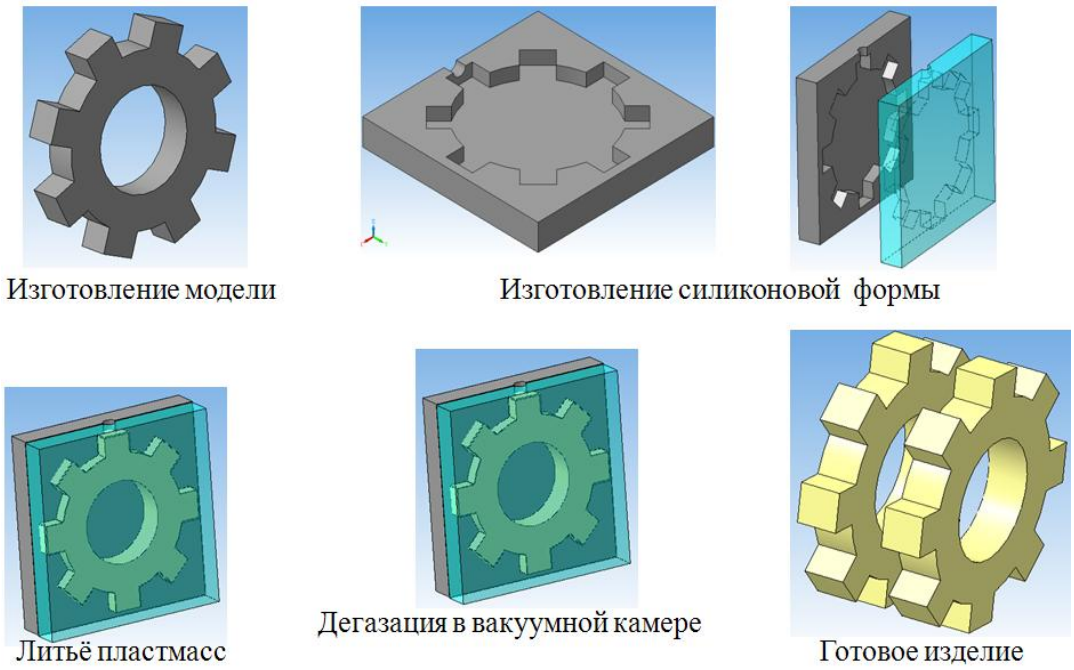


Рис. 2. Примеры вакуумного литья в силиконовые формы

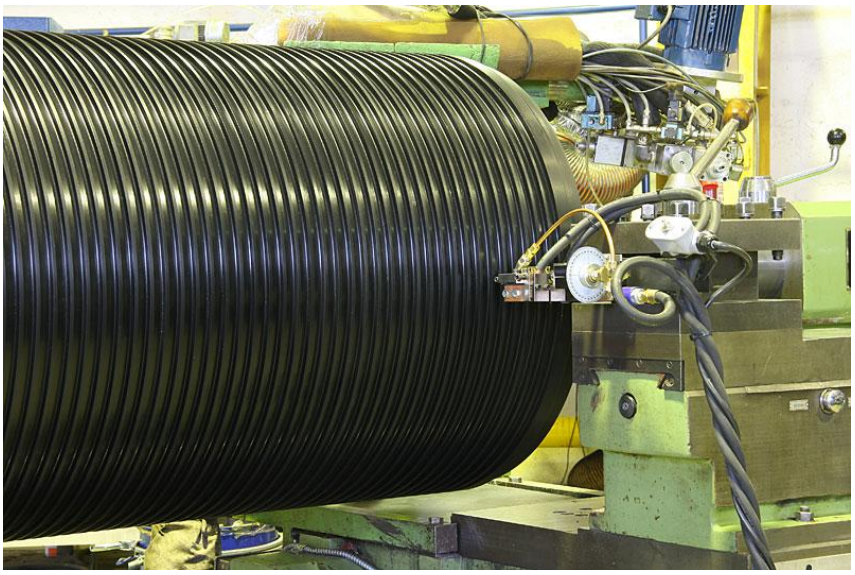


Рис. 3. Метод гуммирования

Преимущество ротационного литья без формы заключается в том, что этот метод неэнергоёмкий, малоотходный и позволяет легко подстроиться под требования к изделию. Для осуществления этого процесса используется токарный станок или любое другое вращающее устройство, и дозатор подачи смеси (рис. 4).

Рис. 4. Токарный станок, используемый для гуммирования

Всем процессом управляет персональный компьютер, который контролирует скорость вращения барабана, скорость подачи жидкой смеси, угол и высоту подачи. Полиуретановая композиция подаётся через дозатор в виде тонкой ленты, и чтобы получить покрытие необходимой толщины используется многократный проход дозирующей смесительной головки вдоль поверхности цилиндра.

Технологический способ литья резины под давлением отличается от свободного тем, что может быть применён в случае изготовления больших партий изделий, т.к. позволяет существенно ускорить процесс. Материалы для этого метода могут представлять собой компаунды с наполнителями, а так же добавками.

Одним из важнейших преимуществ метода литья резины под давление является то, что при его осуществлении происходит значительный разогрев резиновой смеси. В результате изделие вулканизуется равномерно, а время вулканизации резко сокращается.

Суть метода литья резины под давление состоит в том, что в объеме резиновой смеси, находящейся в инжекционном цилиндре, под действием плунжера или шнека развиваются напряжения сдвига. В результате резиновая смесь начинает течь через сопло инжекционного цилиндра и литьевые каналы в гнезда формы. После заполнения гнезд смесью в них начинает нарастать давление, в результате чего осуществляется формование изделий.

В зависимости от конфигурации, размеров и массы детали выбирают тип литьевой машины. Для армированных РТИ, а также для изделий, производство которых требует применения съемных сердечников, необходимо использовать литьевые машины с горизонтальным разъемом форм.

Для производства остальных изделий можно использовать литьевые машины как с горизонтальным, так и с вертикальным разъемам форм.

Позиционность литьевой машины выбирается в зависимости от длительности вулканизации. Если время вулканизации не превышает 2–3 минуты, то используют однопозиционные литьевые машины. При длительном времени вулканизации целесообразно использовать многопозиционные машины.

На производстве резинотехнические изделия используются для перемещения газов и жидкостей и их подачи к оборудованию, например при газопламенной обработке. Поэтому от качества РТИ зависит не только результат работы, но и безопасность обслуживающего персонала на производстве и потребителей в быту.

Библиографический список

1. URL: http://www.unikom-service.ru/uplotneniya_manzhety/.
2. URL: http://www.uralhimprom.com/company/about/.
3. URL: http://poliuretan.biz/catalog/tag/.
4. URL: http://konstruktor.net/podrobnee-hidr/items/.
5. URL: http://poliuretan.biz/catalog/manzhety-prokladki/.

К содержанию

УДК 621.922.025

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ДАННЫХ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Д.В. Ардашев, О.С. Захарова

В статье рассмотрены производственные данные, собранные с различных предприятий, демонстрирующие, что эксплуатационные возможности абразивных инструментов не исчерпывается детерминированными рекомендациями нормативных справочников. Каждый шлифовальный круг обладает ресурсом работоспособности, позволяющим выгодно его эксплуатировать в различных технологических условиях.

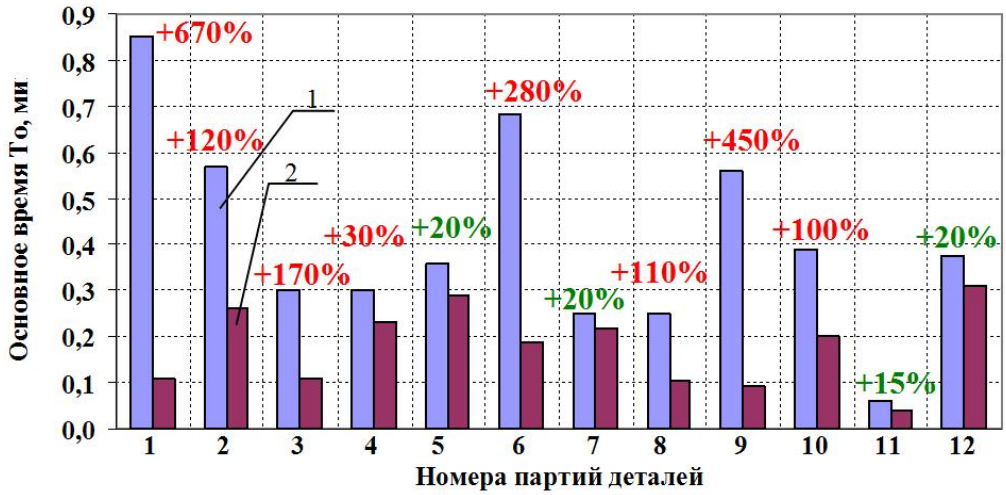
Ключевые слова: работоспособность шлифовального круга, нормативы режимов шлифования.

Современное машиностроительное производство характеризуется частой сменой партий обрабатываемых деталей, изготавливаемых малыми партиями. В таких условиях предприятию невыгодно для каждой обрабатываемой партии деталей приобретать абразивный инструмент характери-

стики, как предписывают нормативные справочники [1]. Кроме того, частая смена абразивных инструментов приводит к существенным потерям в производительности процесса: каждый устанавливаемый на станок шлифовальный круг должен предварительно быть статически отбалансирован, затем в течение длительного времени подвергается правке на станке, затем вновь балансировке на станке, подвергается повторной правке и только после этого новый шлифовальный круг может быть использован в работе.

Таким образом, замена шлифовального круга на станке приводит к простою оборудования, что негативно сказывается на производительности процесса и приводит к экономическим потерям, при этом ресурс работоспособности круга используется в крайнее малой степени – не более 3–5 %.

Описанные недостатки нормативных справочников делают их непригодными для условий многономенклатурного производства, однако на сегодняшний день они остаются единственным источником информации для проектирования операций абразивной обработки. В результате в современных условиях функционирования машиностроительного производства – частой смены номенклатуры деталей изготавливаемых малыми партиями – на предприятиях стремятся обработать как можно бóльшее количество деталей, различающихся как исходным материалом, так и требованиями чертежа – точностью, шероховатостью. Возможность выполнения таких операций шлифования подтверждается приведенным на рис. производственным материалом.



Сравнение основного времени при использовании шлифовального круга:
1 – круг «ненормативной» характеристики;
2 – круг, рекомендованный нормативами [1]

В ряде случаев потеря производительности (сравнение основного времени) превышает 600 % (см. рис.). Однако имеются операции, на которых эксплуатация шлифовального круга «ненормативной» характеристики приводит всего лишь к 15–20 % увеличению основного времени. Это сви-

детельствует об удачном интуитивном подборе режимов шлифования рабочим либо наладчиком, а также о том, что реальная зона возможной эксплуатации любого шлифовального круга – область его эксплуатационных возможностей, как в плане получения диапазона точностей и шероховатостей обработки, обработки гаммы различных сталей и сплавов, так и обеспечения достаточного уровня производительности процесса – достаточно размыта, и не является детерминированной величиной, как указано в нормативных справочниках. Это позволяет эксплуатировать шлифовальный круг в достаточно широком диапазоне режимов обработки гаммы деталей, изготовленных из различных материалов, с целью получения различной точности и качества обработанной поверхности с некоторым снижением производительности процесса. Данное обстоятельство наглядно демонстрируется производственными данными, представленными в табл. 1 и 2.

При этом один и тот же шлифовальный круг применяется для обеспечения различных требований по качеству обработки на схожим по химсоставу марках материала. Это, возможно, связано с процессами износа абразивных зерен при обработке различных марок сталей и сплавов, а обеспечение различных требований качества обработки связано с варьированием режимами шлифования.

Таблица 1

Производственные данные «Завода мощных тракторов» и «Челябинского тракторного завода» по эксплуатации шлифовальных кругов

Вид операции	Характеристика круга, ГОСТ 52781-2007	Деталь, материал	Требования чертежа		Основное время T_o, мин
			Ra, мкм	Размер	
Круглое наружное с радиальной подачей	1 600×80×305 24AF46OV	Торсион, сталь 45ХН2МФА	2,5	Ø65±0,37	0,6
		Рычаг, сталь 18Х2Н4МА	1,25	$Ø12^{-0,016}_{-0,034}$	0,42
	1 600×80×305 24AF46NV	Валик, сталь 20Х	2,5	Ø15±0,0055	0,52
		Втулка, АЧС	10	$Ø30^{+0,088}_{+0,055}$	0,7
Круглое наружное с продольной подачей	1 600×80×305 24AF46LV	Труба балансира, сталь 33ХС	2,5	$Ø125^{-0,043}_{-0,143}$	0,8
		Плунжер, сталь 20ХГН	0,32	$Ø25^{-0,002}_{-0,041}$	1,2
	116×20×6 24AF90NV	Клапан, сталь 20Х	0,32	$Ø25^{-0,020}_{-0,041}$	1,1
		Валик, сталь 45	1,25	$Ø20^{+0,015}_{+0,002}$	0,28
Плоское шлифование периферией круга	450×63×203 24AF60LV	Пластина, сталь 40Х	0,32	$26^{+0,088}_{+0,055}$	0,55
		Крышка, сталь 38ХГН	2,5	18±0,55	1,2

Крупные предприятия также не могут позволить себе частую смену шлифовальных кругов и пытаются распространить область эксплуатации шлифовального круга одной характеристики на группу обрабатываемых ими деталей. На этих предприятиях функционируют специальные подразделения, занимающиеся эмпирическим определением показателей работоспособности шлифовальных кругов в различных технологических условиях (табл. 2). При этом вопреки рекомендациям нормативных справочников зернистость кругов не соответствует требованиям шероховатости, материал абразивного зерна не является предпочтительным для обработки данной стали либо сплава.

Таблица 2

Производственные данные ОАО «АВТОВАЗ»
по эксплуатации шлифовальных кругов

Характеристика круга по ГОСТ 52781-2007	Вид операции шлифования	Обрабатываемый материал	Группа обр.	Требования чертежа	
				Ra, мкм	IT
14A F60O6V	Круглое с продольной подачей	ВЧ-65	Iв	2,5	6
	Бесцентровое	45	Iа	0,5	7
		40Х9С2	Iб	0,7	6
		40ХГНМ	Iа	0,8	6
24AF54L7V		08кп	–	1,0	7
	Круглое врезное	СЧ-15	VIIа	1,25	6
25AF60M7V		СЧ-20		0,63	6
		35Г2	Iа	0,5	8
		30Х	IIа	0,5	6
		ВЧ-65	Iв	0,45	6
		14ХГН	Iа	0,6	7
	Внутреннее	20ХГНМ		1,2	8
				0,8	6
	Бесцентровое	19ХГН		0,6	7
		40	IIа	1,25	8
		45		1,0	8
		43		0,6	6
		ВЧ-65	Iв	0,8	7
	Круглое с продольной подачей	72CFND45 (металлокерамика)	–	1,5	8
24A F60L7V		ВЧ-65	Iв	0,7	6
	Внутреннее	19ХГН	Iа	1,0	8
		12ХН2	IIа	1,25	7
	Круглое врезное	12Х13	III	0,63	7
		12Х18Н10Т		1,25	8
		45	Iа	0,8	7
		Р6М5ФЗ-Ш	VI	1,25	8
		ХН75МБТЮ	V	1,0	7

Представленные производственные данные, их сопоставление с нормативными рекомендациями свидетельствуют о том, что в современных условиях функционирования машиностроительного производства на предприятиях шлифовальным кругом одной характеристики, установленном на станке, нередко производят обработку деталей, различающихся как исходным материалом, так и требованиями чертежа – точностью, шероховатостью. Однако единственным путем решения задачи проектирования операций шлифования до сих пор остаются справочники общемашиностроительных нормативов режимов шлифования, разработанные для условий массового, либо крупносерийного производства, а также, безусловно, субъективный опыт рабочих шлифовщиков или наладчиков станков.

Таким образом, сложившаяся ситуация в мировом машиностроении вынуждает предприятия максимально использовать ресурс работоспособности каждого шлифовального круга, однако для успешного решения этой задачи в настоящее время полностью отсутствует режимно-инструментальное оснащение, позволяющее с минимальными потерями производительности, вызванными использованием шлифовального круга «ненормативной» характеристики для конкретных условий обработки, получить деталь, отвечающую всем требованиям чертежа. Указанная задача осложняется тем, что в течение суммарного периода стойкости шлифовального круга (времени его работы до полного износа) на станок будут поступать группы деталей, изготовленных из различных материалов с отличающимися требованиями по точности и шероховатости обработки. Эта задача может быть решена на основе сведений о работоспособности шлифовальных кругов различных характеристик, эксплуатирующихся в изменяющихся технологических условиях [2]. Необходим совершенно иной подход к проектированию операции шлифования требующий наличия полной информации об эксплуатационных возможностях инструмента, связанных с достигаемым уровнем производительности процесса, реализуемого в различных технологических условиях.

Библиографический список

1. Режимы резания на работы, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках с ручным управлением и полуавтоматах: справочник / Д.В. Ардашев, Д.Е. Анельчик, Г.И. Буторин и др. – Челябинск: Изд-во АТОКСО, 2007. – 384 с.

2. Ардашев, Д.В. Методологическая основа проектирования эффективных операций абразивной обработки для современных условий мирового машиностроительного производства / Д.В. Ардашев // Главный механик. – 2014. – № 5. – С. 10–17.

К содержанию

УДК 621.9.01

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА МИКРОРЕЗАНИЯ

Д.В. Ардашев

Статья содержит результаты моделирования взаимодействия абразивного зерна с обрабатываемой поверхностью при шлифовании. Средствами ANSYS была разработана конечно-элементная модель, позволяющая имитировать взаимодействие абразивного зерна с заготовкой.

Ключевые слова: абразивное зерно, шлифование, механическое взаимодействие.

Для создания имитационной модели взаимодействия абразивного зерна с обрабатываемым материалом была создана конечноэлементная модель абразивного зерна в виде усеченного конуса (с площадкой износа) и фрагмента заготовки (рис. 1).

В результате расчета удалось получить картины распределения всех компонентов тензоров напряжений и деформаций в зерне и заготовке, а также силы контактные взаимодействия между зерном и заготовкой.

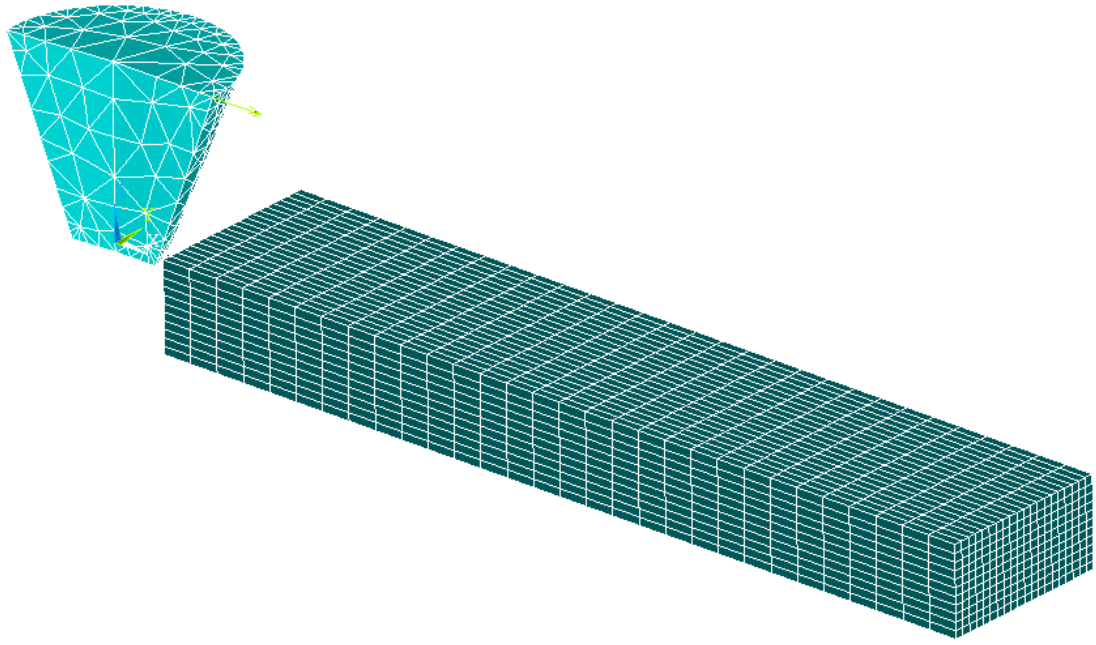
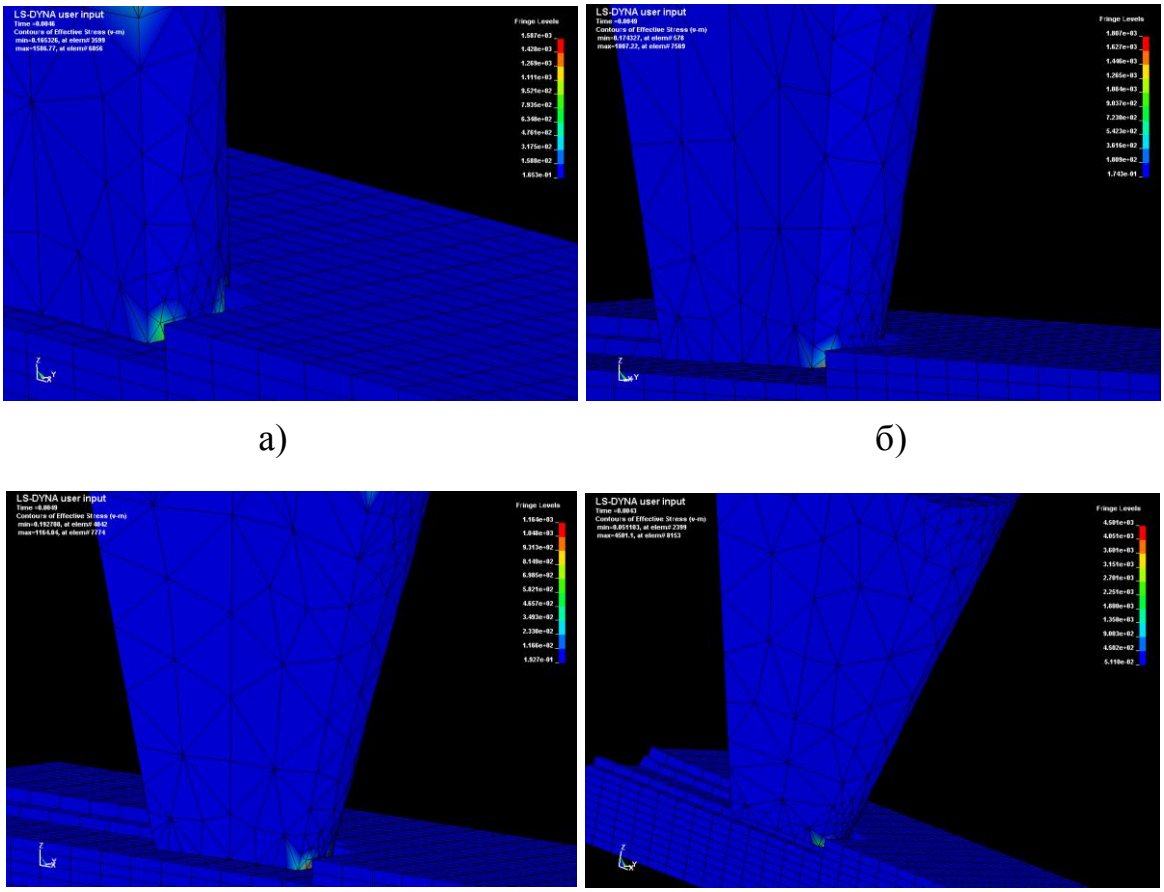


Рис. 1. Конечно-элементная модель абразивного зерна (корунд) и фрагмента заготовки (сталь 45)

Результаты этого моделирования приведены на рис. 2–6 и в табл. 2.



а) б)

в) г)

Рис. 2. Результаты моделирования контактного взаимодействия обрабатываемого и абразивного материала различной зернистости при температуре 200 ºС (распределение эквивалентных напряжений): а) F90; б) F60; в) F54; г) F46

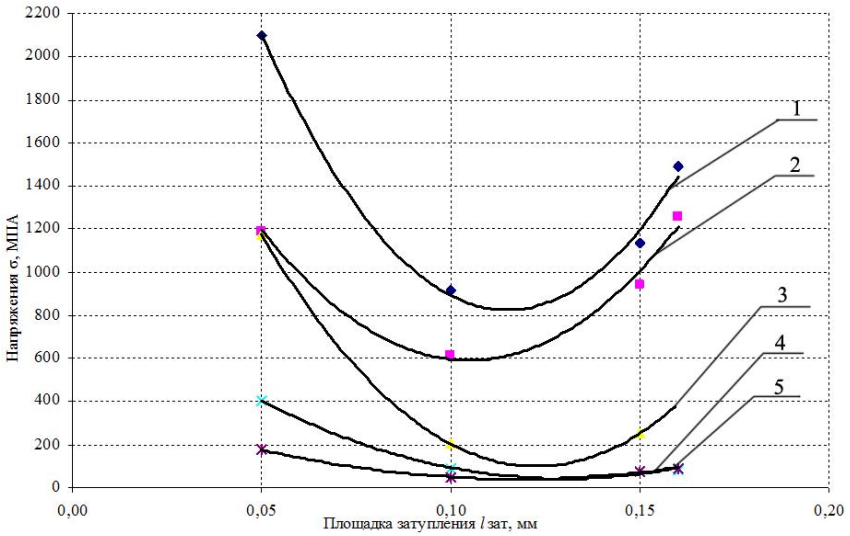


Рис. 3. Зависимость эквивалентных напряжений в абразивном зерне F90 от величины площадки затупления, при различных температурах:
1 – 200 ºС; 2 – 400 ºС; 3 – 600 ºС; 4 – 800 ºС; 5 – 1000 ºС

Таблица 2

Величина эквивалентного напряжения в абразивном зерне
в различных технологических условиях

Температура, С	Зернистость	Площадка затупления *l*зат, мм							
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
		Эквивалентные напряжения σ, МПа							
200	F90	2097	913	1131	–	–	–	–	–
	F60	1944	887	677	809	1053	–	–	–
	F54	870	653	369	416	460	500	–	–
	F46	500	470	309	241	291	348	398	573
400	F90	1191	616	943	–	–	–	–	–
	F60	871	532	507	669	752	–	–	–
	F54	828	489	361	327	332	408	–	–
	F46	488	387	268	211	246	236	308	374
600	F90	1172	203	252	–	–	–	–	–
	F60	631	154	175	92	93	107	–	–
	F54	509	395	203	168	172	201	142	–
	F46	417	231	150	119	104	138	147	155
800	F90	404	89,3	76	–	–	–	–	–
	F60	388	67	47	42	38	49	–	–
	F54	290	201	45	32	28	46	57	–
	F46	246	177	88	27	23	46	59	67
1000	F90	177	49,7	72	–	–	–	–	–
	F60	155	39	30	30	30	28	–	–
	F54	110	52	36	24	20	39	35	–
	F46	109	41	24	19	29	34	55	63

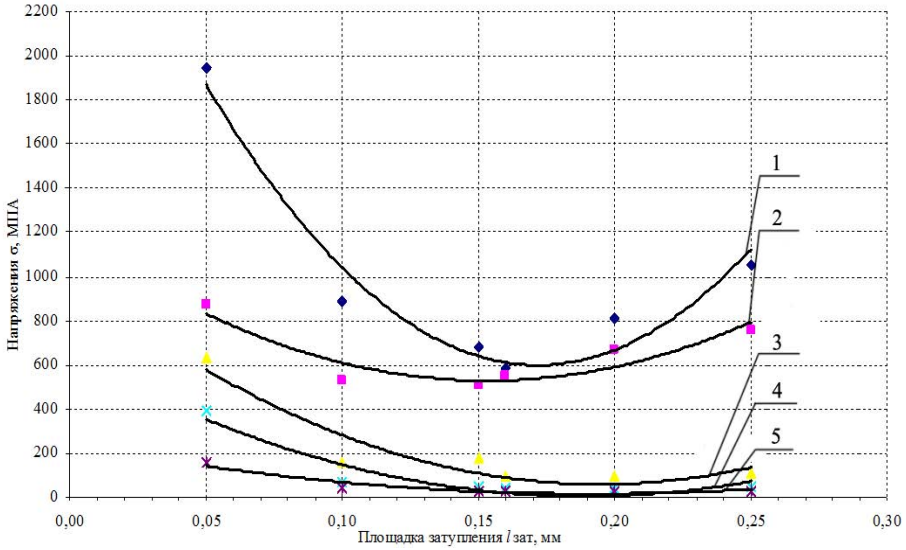


Рис. 4. Зависимость эквивалентных напряжений в абразивном зерне F60
от величины площадки затупления, при различных температурах:
1 – 200 ºС; 2 – 400 ºС; 3 – 600 ºС; 4 – 800 ºС; 5 – 1000 ºС

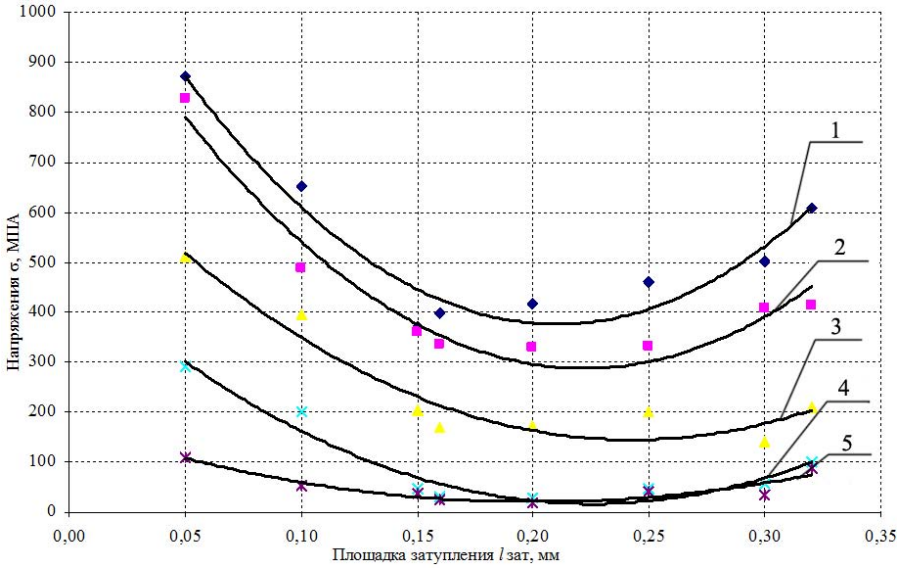


Рис. 5. Зависимость эквивалентных напряжений в абразивном зерне F54 от величины площадки затупления, при различных температурах: 1 – 200 ºС; 2 – 400 ºС; 3 – 600 ºС; 4 – 800 ºС; 5 – 1000 ºС

Анализируя приведенные на рисунках 2–6 зависимости можно заключить, что между технологическими условиями (степень затупления зерна, температура в зоне контакта, зернистость абразивного зерна) и величиной эквивалентных напряжений, возникающих в теле зерна, имеется четкая зависимость. Так, в начальный период работы зерна на нем образуется и начинает постоянно увеличиваться площадка затупления. Это приводит к снижению напряжения в абразивном материале, что соответствует периоду приработки и образованию на абразивном зерне «наилучшей», с точки зрения долговечности абразивного зерна, величины площадки затупления, при которой напряжения в теле абразивного зерна минимальны. Дальнейший рост площадки затупления приводит к увеличению напряжения в абразивном зерне, возможно за счет существенного увеличения трения по площадке затупления, тем более, когда величина самой площадки сопоставима с размерами самого зерна. Это объясняется уменьшением количества связей в элементарном объеме зерна, воспринимаемых напряжения, а впоследствии, существенным увеличением напряжения, действующего на одну связь.

Влияние зернистости абразивного зерна (его геометрических размеров) на величину напряжения в зерне также однозначно: с увеличением номера зернистости, при одинаковых температурах и величинах площадки затупления зерна меньшего размера испытывают большие напряжения. Это объясняется опять же наличием в крупных зернах большего количества межатомных связей, воспринимающих внешнюю нагрузку.

Рост контактной температуры приводит к снижению напряжений в теле абразивного зерна: увеличение температуры в 2 или 3 раза приводит к снижению эквивалентных напряжений в 1, 2 и 8 раз соответственно.

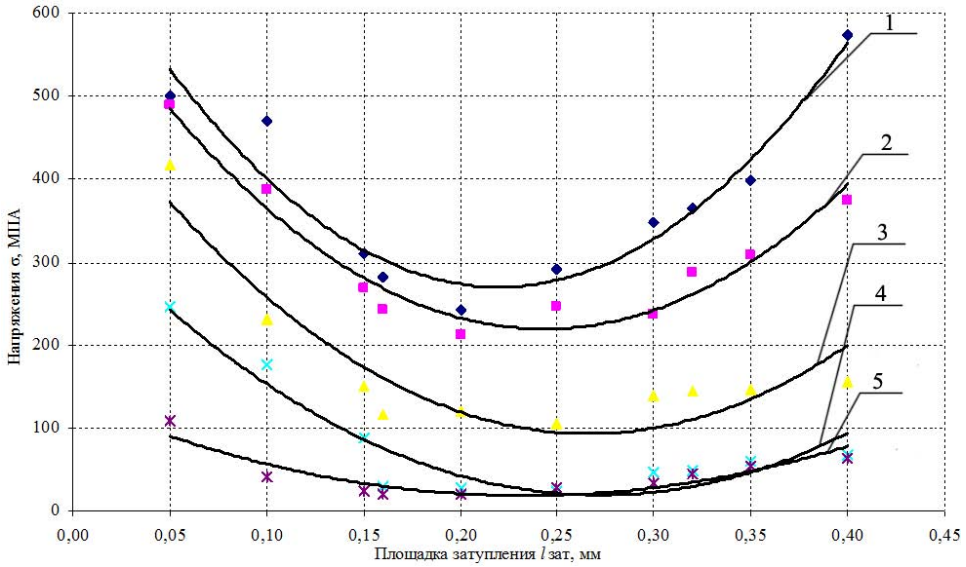


Рис. 6. Зависимость эквивалентных напряжений в абразивном зерне F46 от величины площадки затупления, при различных температурах: 1 – 200 ºС; 2 – 400 ºС; 3 – 600 ºС; 4 – 800 ºС; 5 – 1000 ºС

Полученная картина распределения напряжений в теле абразивного зерна позволит учесть один из основных механизмов износа инструмента при шлифовании – механический [1, 2]. Переход к прогнозированию объемов изношенной части абразивного зерна возможно в частности на основе эмпирических данных, полученных, в том числе методами микрорезания [3, 4]. Результатом исследования напряженно-деформированного состояния абразивного зерна при шлифовании станет многофакторная модель износа абразивного зерна в процессах шлифования [5], позволяющая прогнозировать эксплуатационные свойства инструмента для проектирования эффективной технологии шлифования в современных условиях многономенклатурного производства [6, 7].

Библиографический список

1. Ардашев, Д.В. Определение величины механического износа абразивных зерен при шлифовании / Д.В. Ардашев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Машиностроение». – 2014. – № 4. – С. 55–65.

2. Ардашев, Д.В. Термомеханическая усталость абразивного зерна / Д.В. Ардашев // Металлообработка. – 2012. – № 4. – С. 2–4.

3. Стенд для исследования взаимодействия абразивного зерна и образца в процессах абразивной обработки / Д.В. Ардашев, В.В. Ахлюстина // Технология машиностроения. – 2013. – № 6. – С. 27–28.

4. Стенд для исследования многоциклового взаимодействия инструмента и образца при высокоскоростных методах обработки / Заявка № 2012134174/28. Пр. от 09.08.2012 г. Ардашев Д.В. Патент на полезную модель № 127923. Опубл. 10.05.2013, бюл. № 13.

5. Ардашев, Д.В. Прогнозирование работоспособности абразивного инструмента при проектировании многономенклатурных операций / Д.В. Ардашев // СТИН. – 2014. – № 9. – С. 14–17.

6. Ардашев, Д.В. Методика групповой технологии операций абразивной обработки для условий современного многономенклатурного производства / Д.В. Ардашев // СТИН. – 2014. – № 10. – С. 31–33.

7. Ардашев, Д.В. Методологическая основа проектирования эффективных операций абразивной обработки для современных условий мирового машиностроительного производства / Д.В. Ардашев // Главный механик. – 2014. – № 5. – С. 10–16.

К содержанию

УДК 621.833.001.2

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ИСПЫТАНИЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

В.В. Ахлюстина

В статье рассмотрены вопросы контроля заданной точности зубчатых колес специализированными метрологическими средствами и зубоизмерительными машинами.

Ключевые слова: степень точности, прибор, измерение, зубоизмерительная машина.

Для зубчатых колес предусмотрено 12 степеней точности, более точные колеса имеют меньшие степени точности. Каждая степень точности регламентирует три нормы – кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев в передаче, а также шесть видов сопряжений и восемь видов допусков на боковой зазор. Возможно комбинирование степеней точности, например, 8–7–6–Ва (8 – степень кинематической точности, 7 – плавности работы, 6 – по нормам контакта, с видом сопряжения В и видом допуска на боковой зазор) [1].

Нормы точности могут назначаться в зависимости от области применения зубчатого колеса. При этом меняется характер допустимых погрешностей и величина погрешности, например, для делительных и планетарных передач важна кинематическая точность, для высокоскоростных передач главным является плавность работы передачи, для тяжело нагруженных тихоходных передач необходимо обеспечить полноту контакта зубьев, а для реверсивных отсчетных передач важна величина бокового зазора.

Для измерения параметров зубчатых колес требуются специализированные метрологические средства [1, 2, 3]:

1) прибор для комплексного однопрофильного контроля;

2) прибор для абсолютного измерения накопленной погрешности шага;

3) приборы для относительного измерения накопленной погрешности шага;

4) зубомерный микрометр для контроля длины общей нормали;

5) нормалемер для определения отклонений от номинального значения длины общей нормали;

6) биениемер;

7) прибор для двухпрофильного (межцентромер) или однопрофильного контроля;

8) волномер (для контроля циклической погрешности);

9) эвольвентомер;

10) шагомер накладной;

11) контактомер (для контроля контактной линии зуба);

12) тангенциальный зубомер.

Измерение ручными средствами характеризуется простотой обращения со средствами измерения и дешевизной самих средств измерения. Эти приборы могут быть применены непосредственно около станка. В то же время, измерение ручными средствами не дает заключения о качестве зубчатого венца, так как обладает ограниченной информативностью результата: проверка осуществляется по одному параметру. Кроме того, существуют определенные сложности при измерении косозубых колес.

Проверка на приборах одно- и двухпрофильного контроля в отличие от измерений ручными средствами, дает прямую информацию о качестве колеса. Данный метод проверки обеспечивает короткое время измерения детали. Но эти методы также обладают существенными недостатками. Несмотря на то, что результаты проверки позволяют сделать заключение о качестве детали, они не дают ни качественной, ни количественной информации, которую можно было бы напрямую использовать для внесения коррекции в технологический процесс изготовления детали. Кроме того, проверка осуществляется с применением измерительных колес, которые достаточно дороги в приобретении (изготовлении) и эксплуатации (восстановление). Хотя время непосредственно проверки достаточно мало (достаточно одного оборота детали, сопряженной с измерительным колесом), время наладки прибора велико.

Совершенствование систем управления и повышение точности, а также необходимость повторяемости измерений привело к широкому внедрению зубоизмерительных машин – универсальных приборов для контроля зубчатых венцов.

Зубоизмерительная машина является средством аналитического контроля отклонений зубчатого венца [4]. Применение этого средства контроля обеспечивает оптимальное качество контроля и представления результатов проверки параметров зубчатого венца. Получаемые результаты дают полную информацию о причинах возникновения погрешностей и позволя-

ют использовать эту информацию для соответствующей корректировки технологии изготовления детали. К недостаткам данного метода проверки следует отнести длительный цикл измерения и сложность в применении зубоизмерительной машины непосредственно около станка — являясь метрологическим средством очень высокой точности, машина требует установки в специально подготовленное помещение.

Принцип работы зубоизмерительной машины и традиционных приборов для контроля эвольвенты, направления зуба и шага зубьев во многом схож. В процессе измерения щуп измерительной машины сканирует боковую поверхность зуба по профилю по линии зуба и последовательно касается всех боковых сторон зубьев (рис.). В результате этих основных проверок определяется погрешность профиля, погрешность линии зуба, отклонения шагов и погрешность радиального биения.

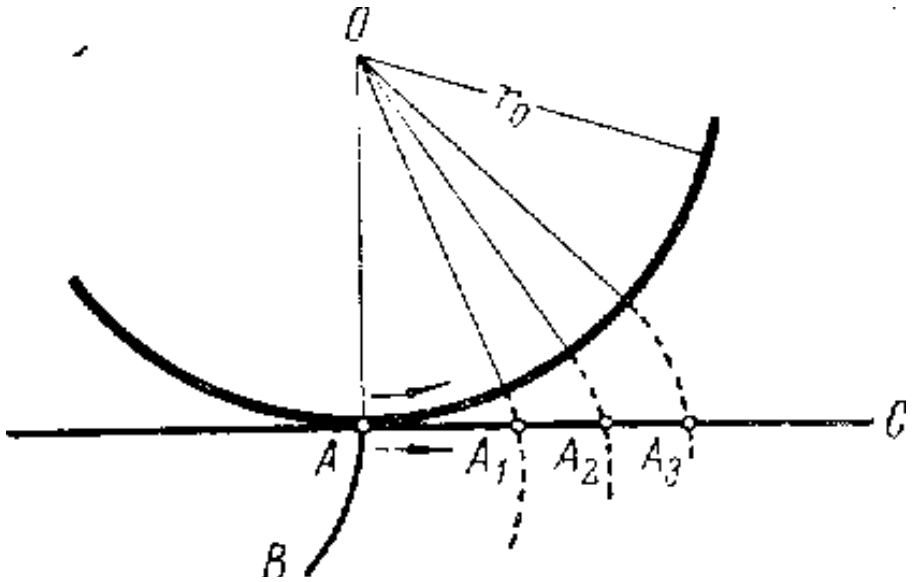


Рис. 1. Образование эвольвенты в эвольвентомере

В процессе сканирования поверхности зуба отклонения щупа регистрируются и обрабатываются системой управления машины. Получаемый результат аналогичен результату проверки на эвольвентомере. Если профиль зуба представляет собой правильную эвольвенту с заданными параметрами, то результатом измерения в графическом представлении будет прямая. При наличии погрешности профиля по углу или форме получится кривая линия.

Анализ этой кривой позволяет определить основные составляющие погрешности – погрешность угла профиля, погрешность формы профиля и полную погрешность профиля.

Проверка профиля и линии зуба проводится, как правило, на 3–4 зубьях. Это делается с целью сокращения времени измерения. При этом ин-

формативность такого неполного измерения вполне достаточна, так как выявляет все погрешности зубчатого венца, изготовленного методом обката.

На любом выбранном зубе может быть проведена проверка профиля и линии зуба в нескольких сечениях. В этом случае результатом измерения является топография поверхности зуба. Используется модификация поверхности зуба по профилю и направлению, имеющая целью оптимизацию технологии изготовления колес (например, модификация зуба при черновой обработке с целью компенсации деформаций при термической обработке) или улучшение параметров готового изделия (оптимизация пятна контакта в паре зубчатых колес). Возможность оценки топографии зуба дает возможность наглядно оценить модификацию поверхности зуба. Кроме того, при применении дополнительного программного обеспечения для зубоизмерительных машин существует возможность моделирования и оценки контакта измеренного зуба либо в зацеплении с идеальным колесом, либо в зацеплении с другим измеренным колесом.

Результат измерения зуба на зубоизмерительной машине представляется в графическом виде. Поскольку методы анализа и представления результатов стандартизованы для всех изготовителей зубоизмерительных машин, то обеспечивается сопоставимость результатов, сделанных на разных машинах [4]. В результате обеспечивается прослеживаемость результатов измерения, и данные протоколы могут быть использованы в качестве сертификатов, подтверждающих качество изготовленной детали. Если задана требуемая точность измеряемого венца, то программное обеспечение сравнивает заданные для данной степени точности допуски на измеряемые параметры и отображает те отклонения, которые выходят за поле допуска. Одновременно анализируется и показывается истинная степень точности измеренного колеса. Аналогичные протоколы выводятся по результатам анализа направления зуба, шага и радиального биения. Стандартное математическое обеспечение также оценивает среднее значение и колебание длины общей нормали, и толщину зуба.

Получаемые при измерении детали протоколы дают широкие возможности для оценки причин возникновения погрешностей. Для этого существуют определенные методики. Например, при получении диаграммы профиля можно определить пять основных причин возникновения данной погрешности:

– биение фрезы на оправке (может быть вызвано плохой фрезой, поврежденной оправкой или загрязнением оправки при монтаже) [5, 6];

– неправильная заточка фрезы (фреза была переточена с радиальным биением из-за установки с перекосом на оправку или оправки на заточной станок);

– слабо закрепленная или изношенная оправка в противоопоре станка;

– слишком большой люфт шпинделя фрезы фрезерного станка;

– слишком большой люфт стола фрезерного станка.

Эти зубоизмерительные машины обладают уникальной встроенной системой термокомпенсации, что обеспечивает точность измерения даже при колебаниях температуры в помещении. Конструктивно зубоизмерительные машины Mahr сделаны на базе кругломеров высокой точности, при этом все функции кругломера сохранены в базовом программном обеспечении. На практике это означает, что, приобретая одну машину Mahr, заказчик фактически приобретает два метрологических средства – зубоизмерительную машину и кругломер. Важнейшим элементом машины является сканирующая головка. Головка машины Mahr представляет собой миниатюрную копию трехкоординатной измерительной машины и обеспечивает измерение с постоянным измерительным усилием всегда по нормали к измеряемой поверхности.

При наличии дополнительного программного обеспечения можно реализовать дополнительные функции измерения цилиндрических колес: сравнение параметров колес до и после термической обработки (результат представляется в графическом виде, что позволяет легко и быстро определить деформации детали при термической обработке); измерение «колес» с определением их основных параметров (для тех случаев, когда имеется колесо, у которого можно только измерить наружный диаметр и сосчитать число зубьев неизвестных, с определением остальных конструктивных размеров); измерять колеса после операции зубофрезерования с исключением влияния следа от подачи; измерять форму и размеры тел вращения (т.е. деталей с зубчатыми венцами), т.е. использовать зубоизмерительную машину как кругломер и координатно-измерительную машину.

При наличии дополнительного программного обеспечения зубоизмерительные машины Mahr [4] позволяют контролировать конические зубчатые колеса, червяки и червячные колеса, колеса с торцовым зубом и венцы синхронизаторов. Для этого не требуется никаких изменений в конструкции машины, только программное обеспечение, возможно измерение зуборезных инструментов – червячных фрез, долбяков и шеверов.

Современные средства измерения зубчатых колес – зубоизмерительные машины – позволяют выполнить основные требования, которые определяются современной конструкцией и технологией изготовления. На обеих боковых поверхностях трех или четырех зубьев измеряются погрешности профиля и линии зуба. На всех зубьях измеряются погрешности шага по обеим боковым поверхностям и погрешности радиального биения. Кроме этого, производится измерение толщины зуба (размера по шарикам). Время измерения зубчатого колеса составляет около 3 мин.

Зубоизмерительная машина не имеет ограничений в части измерения колес с нестандартными параметрами профиля и линии зуба (модификации по профилю и линии зуба).

Практически зубоизмерительная машина как современное средство измерения заменяет все ранее применявшиеся приборы для контроля зубча-

тых колес и позволяет измерять, кроме цилиндрических колес, также конические колеса, червяки, червячные колеса и зуборезные инструменты (червячные фрезы, долбяки и шеверы).

Библиографический список

1. ГОСТ 1643-81 Передачи зубчатые цилиндрические Допуски и посадки. – М., 1981.
2. Калашников, А.С. Технология изготовления зубчатых колес / А.С. Калашников. – М.: Машиностроение, 2004. – 480 с.
3. Марков, А.Л. Измерение зубчатых колёс. Допуски, методы и средства контроля / А.Л. Марков. – Л.: «Машиностроение», 1977. – 124 с.
4. URL: toolindustry.ru›instrument_measuring/zub/zub5.php.
5. Михайлов, А.В. Основы проектирования технологических процессов / А.В. Михайлов, Д.А. Расторгуев, А.Г. Схиртладзе. – Ст. Оскол: ТНТ, 2004. – 336 с.
6. Радкевич, Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для ВУЗов / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – М.: Высш. шк., 2004. – 767 с.

К содержанию

УДК 621.923.01

АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ В ПРОЦЕССЕ ВНУТРЕННЕГО ШЛИФОВАНИЯ

А.В. Попова

Разработанная силовая модель процесса внутреннего шлифования охватывает большую часть технологических факторов, влияющих на изменение силы резания: изменения значения программной и фактической радиальной подачи, механические свойства шлифуемого металла, геометрические параметры зоны контакта круга и заготовки, характеристику круга степень затупления зерен круга и т.д.

Ключевые слова: внутреннее шлифование, модель сил резания, оптимизация циклов.

При обработке точных отверстий деталей из закаленных, высокотвердых и труднообрабатываемых материалов, отверстий с пересеченной поверхностью (отверстий с выточкой, со шпоночным пазом), отверстия в деталях с неодинаковой толщиной стенок или неоднородной твердостью металла, отверстий больших диаметров большое распространение получило внутреннее шлифование. Область использования внутреннего шлифования охватывает все виды производства: от единичного (обработка индивиду-

альной продукции в ремонтно-механическом и инструментальном цехах) до крупносерийного производства (обработка колец подшипников, гильз цилиндров внутреннего сгорания и т.п.).

С появлением нового абразивного инструмента, современных металлообрабатывающих станков, новых марок сталей и сплавов машиностроение столкнулось с проблемой отсутствия нормативных рекомендаций по назначению режимов резания. Имеющаяся на предприятиях справочная и нормативная литература 70-х, 80-х годов выпуска разработана для станков с ручным управлением, полуавтоматов и предназначена в основном для расчета основного времени. В результате на предприятиях вынуждены подбирать циклы внутришлифовальной обработки путем шлифования ряда пробных заготовок с ограниченной вариацией значений режимов резания. С целью решения данной проблемы нами впервые разработана методика оптимизации ступенчатых циклов внутреннего шлифования, позволяющая оперативно рассчитывать оптимальные режимы обработки для современных станков с ЧПУ. Методика оптимизации ступенчатых циклов внутреннего шлифования основывается на модели съема металла, базирующей на единой модели сил резания, и на методе динамического программирования [1, 2].

Существующие эмпирические зависимости являются узконаправленными и не позволяют установить взаимосвязь между основными технологическими параметрами процесса шлифования, непосредственно влияющими на величину силы резания. По данным, представленных в источниках [3, 4], значение коэффициентов в эмпирической формуле, предназначенной для расчета тангенциальной составляющей сил резания, изменяются в зависимости от условий обработки в 2…5 раз (например: C_p от 0,15 до 0,36, x от 0,35 до 0,8, β от 0,3 до 1,0 – для закаленных сталей). Аналитические зависимости, полученные для других видов шлифования [5, 6], использовать для расчета сил резания при внутреннем шлифовании невозможно, так как они не учитывают кинематику и особенности процесса.

Таким образом, для создания методики оптимизации циклов обработки при внутреннем шлифовании необходимо разработать аналитическую модель сил резания, охватывающую большую часть технологических параметров, влияющих на изменение силы резания: механические свойства шлифуемого металла, геометрические параметры зоны контакта круга и заготовки, характеристика круга, степень затупления зерен круга и т.д.

Для создания модели сил резания при внутреннем шлифовании необходимо рассмотреть работу всех составляющих сил резания, действующих на единичное зерно шлифовального круга, в направлении вектора скорости резания. В качестве модели взаимодействия абразивного зерна с заготовкой примем модель, разработанную С.Н. Корчаком [7]. В данной модели зерно представлено виде сфероида, имеющего площадки затупления.

В связи тем, что зерна в круге располагаются в беспорядке, часть из них может быть сориентирована плоскими гранями, а не вершинами и ребрами. В результате, чего форма режущей части зерен принята в виде плоского сечения (в направлении скорости круга) поперечника бесформенной площадки затупления зерна.

Перечислим основные допущения, связанные с действием сил резания на единичное зерно: зона стружкообразования представляет параллелограмм, основание которого расположено в плоскости сдвига, проходящей через режущую кромку абразивного зерна; в процессе деформации металла направления скоростей сдвига мало изменяется; объем зоны сдвига характеризуется конечными значениями ее толщины и объема; пластическая деформация металла в зоне стружкообразования происходит путем простого сдвига; объема металла в зоне сдвига в процессе пластической деформации остается неизменным; зерна шлифовального круга работают по схеме свободного резания, так как ширина среза, как правило, во много раз больше толщины среза, т.е. можно рассматривать плоскую схему деформации металла в зоне сдвига [7].

Суммарная тангенциальная и радиальная составляющая сила резания единичным зерном находится по формулам [7]:

$$P_Y = P_{YS} + P_{YTP} = \left(\frac{\sqrt{3,25}a \sin\beta}{\sin\beta_1} + 0,5l_3 \right) \cdot \frac{0,5\sigma}{\sqrt{3}},$$
$$P_Z = P_{ZS} + P_{ZYTP} = \left(\frac{\sqrt{3,25}a \cos\beta}{\cos\beta_1} + 0,5\mu l_3 \right) \cdot \frac{0,5\sigma}{\sqrt{3}}, \quad (1)$$

где P_{YS}, P_{ZS} – нормальная и тангенциальная составляющая силы от всестороннего сжатия и сдвига металла, действующей в зоне стружкообразования при резании единичным зерном, Н; P_{YTP}, P_{ZTP} – нормальная и тангенциальная составляющая силы трения, возникающей в результате действия напряжений на площадке затупления зерна и вызывающей трение по площадке затупления, Н; a – толщина среза единичным зерном, мм; β – угол между направлением скорости резания и равнодействующей силы при резании острым зерном, град; β_1 – угол между вектором скорости зерна и плоскостью сдвига, град; μ – коэффициент трения абразивного зерна по обрабатываемому материалу; $l_з$ – длина площадки затупления зерна, мм; σ – интенсивность напряжений в движущемся объеме деформируемого металла, характеризующая сопротивление металла пластическому течению, Н/м^2 [7];

Формулы (1), предложенные С.Н. Корчаком [7], связывают силы резания с сечением среза от единичного зерна, но не имеют законченной связи со всеми режимными параметрами процесса шлифования. Поэтому в работе [6], основываясь на функциональной взаимосвязи интенсивности съема

металла шлифовальным кругом с деформируемыми в зоне сдвига элементарными объемами металла получен баланс мощностей сил резания для единичного зерна:

$$\sigma\varepsilon Q = V_p \sum_{n=1}^{P} P_{VSn} \qquad (2)$$

где ε – интенсивность степени деформаций; Q – интенсивность съема металла, м^3/с; V_p – скорость резания абразивного зерна шлифования круга, м/с; P – число зерен, в данный момент времени в зоне контакта круга с деталью; P_{VS} – составляющую результирующую силу резания в направлении скорости резания.

На рис. 2 представлены схемы действия сил резания, учитывающая кинематические особенности внутреннего шлифования.

Смысл обозначений следующий, P_Y, P_Z, P_X – радиальная, тангенциальная и осевая составляющая равнодействующая силы резания, состоящей из суммы двух сил: P_{YS}, P_{ZS}, P_{XS} – радиальной, тангенциальная и осевая составляющие силы резания от напряжений пластического сдвига, Н; P_{YTP} – составляющая радиальной силы резания, возникающая в результате действия контактных напряжений на площадке затупления зерна, Н; P_{ZTP}, P_{XTP} – составляющие тангенциальной и осевой сил резания, возникающие в результате трения площадке затупления зерна об обрабатываемую поверхность, Н; φ – угол между осевой скоростью движения заготовки и скоростью резания, град. Выразим составляющую результирующую силу резания в направлении скорости резания через радиальную, тангенциальную и осевую силы резания. При этом необходимо учесть, что составляющая результирующая сил резания есть сумма составляющих сил резания, возникающих в результате действия контактных напряжений и сил трения:

$$P_{VS} = \frac{P_Y - P_{YTP}}{\mathrm{tg}\beta} = \frac{P_Z - P_{ZTP}}{\cos\varphi} = \frac{P_X - P_{XTP}}{\sin\varphi} \qquad (3)$$

Составляющие P_{YTP}, P_{ZTP}, P_{XTP} с учетом площадок затупления абразивного зерна определяются по зависимостям [7]:

$$\begin{gathered}
\sum_{n=1}^{P} P_{YTPn} = \sum_{n=1}^{P} \overline{P}_{Kn} f_{pn} = P_K F, \\
\sum_{n=1}^{P} P_{ZTPn} = \sum_{n=1}^{P} \overline{P_{Kn}} f_{Pn} \mu \cos\varphi = P_K F \mu \cos\varphi, \\
\sum_{n=1}^{P} P_{XTPn} = \sum_{n=1}^{P} \overline{P_{Kn}} f_{Pn} \mu \sin\varphi = P_K F \mu \sin\varphi,
\end{gathered} \qquad (4)$$

где P_K – среднее контактное давление по всей площадке трения в момент резания металла; f_p – площадь площадки затупления единичного зерна;

F – суммарная площадь площадок затупления режущих зерен круга, находящихся в данный момент времени в зоне контакта круга с заготовкой; $\cos\varphi$ – соотношение скорости заготовки $V_{заг}$ и скорости резания V_P; $\sin\varphi$ – соотношение скорости осевой подачи V_{Soc} и скорости резания V_P.

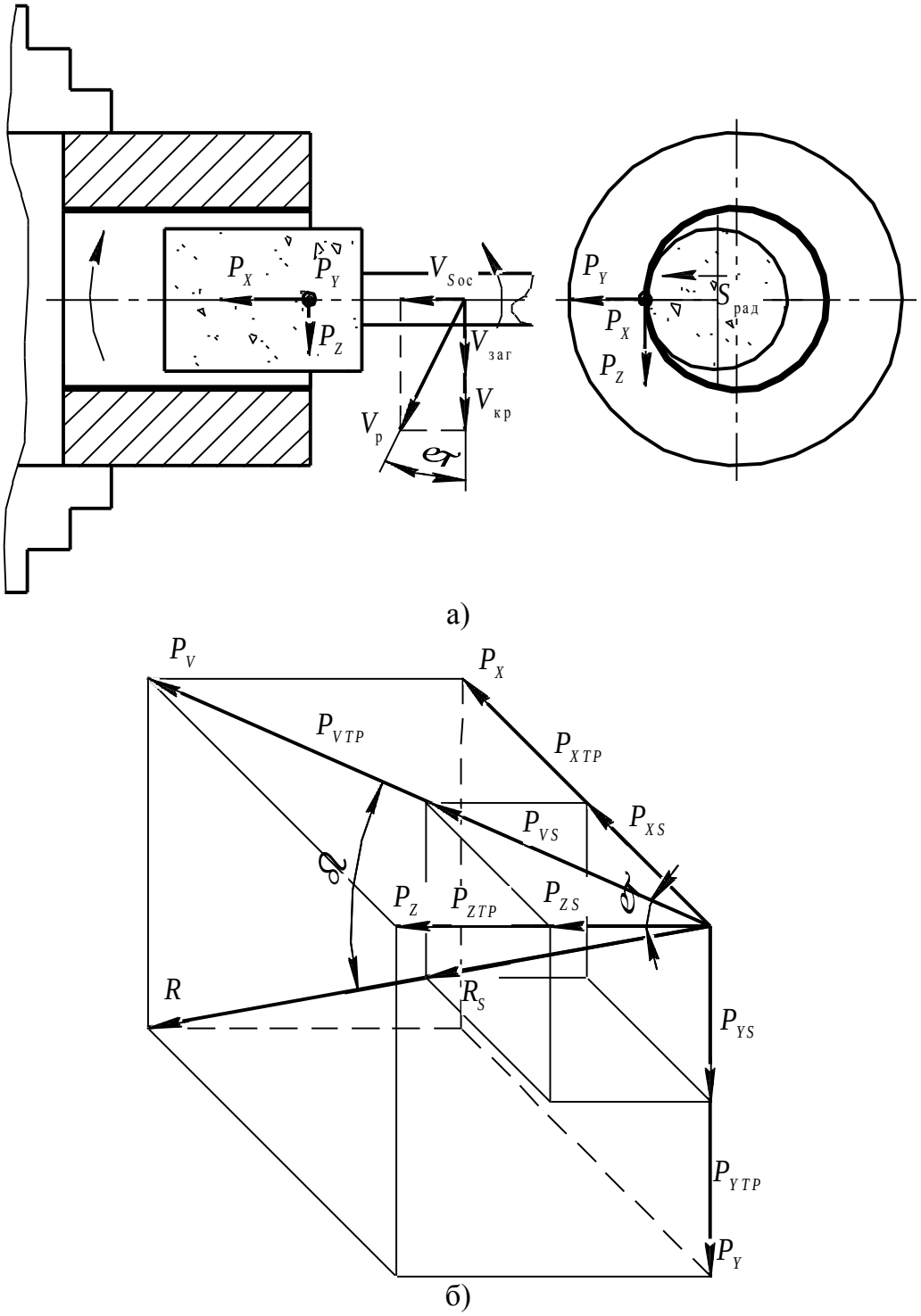


Рис. 2. Схемы действия сил резания: а) схема действия составляющих сил резания при внутреннем шлифовании; б) схема расположения составляющих сил резания при работе единичным зерном

Подставив соответствующую результирующую силу резания (3) и зависимости (4) в уравнение (2), найдем составляющие силы резания:

$$P_Y = \frac{Q\sigma\varepsilon tg\beta}{V_p} + P_K F,$$

$$P_Z = \frac{Q\sigma\varepsilon\cos\varphi}{V_p} + P_K F\mu\cos\varphi, \qquad (5)$$

$$P_X = \frac{Q\sigma\varepsilon\sin\varphi}{V_p} + P_K F\mu\sin\varphi,$$

где F – суммарная площадь площадок затупления режущих зерен круга, находящихся в данный момент времени в зоне контакта круга с заготовкой, $F = S_K\eta$, м^2; S_K – геометрическая площадь зоны контакта круга с заготовкой, м^2; η – степень затупления шлифовального круга. Степень затупления шлифовального круга можно найти через отношение суммарной площади площадок затупления зерен круга, находящихся на рабочей поверхности круга к геометрической площади рабочей поверхности круга. Величина степени затупления круга определяет относительную долю площадок затупления от геометрической зоны контакта круга с заготовкой [6].

Геометрическая площадь контакта шлифовального круга с заготовкой – это площадь пятна контакта круга и заготовки в плоскости действия соответствующей силы резания [8]. В плоскости действия радиальной и тангенциальной силы резания геометрическую площадь зоны контакта круга с заготовкой можно определить по формуле

$$S_{P_{Y,Z}} = L_{\text{ВН}}B = B\sqrt{\frac{d_{\text{заг}}D_{\text{круга}}S_{\text{рад}}}{d_{\text{заг}} - D_{\text{круга}}}}, \qquad (6)$$

где $L_{\text{ВН}}$ – длина дуги контакта круга с заготовкой, возникающая в процессе внутреннего шлифования, м [8]; B – высота круга, м; $d_{\text{заг}}$ – внутренний диаметр заготовки, м; $D_{\text{круга}}$ – диаметр шлифовального круга, м; $S_{\text{рад}}$ – радиальная подача за *i*-ый ход шлифовального круга, м/ход.

Среднее контактное напряжение под площадкой затупления, зависящие от интенсивности напряжений, определяется по формуле [7]

$$P_K = \frac{0{,}5}{\sqrt{3}}\sigma = \frac{\sigma}{c} = \frac{\sigma}{3}, \qquad (7)$$

где c – коэффициент, устанавливающий соотношение между интенсивностью напряжений σ и контактным давлением P_K ($c \approx 3{,}0$, [6]).

Интенсивность съема представляет собой объем металла, снимаемый шлифовальным кругом в единицу времени, и может быть рассчитана по формуле:

$$Q = \pi d_{\text{заг}} V_{Soc} S_{\text{рад}}, \tag{8}$$

где V_{Soc} – скорость осевой подачи, м/с. Скорость резания абразивного зерна шлифования круга можно определить формуле

$$V_p = \sqrt{(V_{\text{кр}} + V_{\text{заг}})^2 + V_{Soc}^2}, \tag{9}$$

где V_p – скорость резания абразивного зерна шлифования круга, м/с; $V_{\text{заг}}$ – скорость вращения обрабатываемой детали, м/с.

В работе [6] получено среднее значение интенсивность степени деформации ($\varepsilon_i \approx 2{,}732$) и среднее значение угла между направлением скорости резания и равнодействующей силы при резании острым зерном ($\beta \approx 34^\circ 18'$). Подставив в уравнения (5) зависимости (6), (7), (8) и (9), найдем формулы для расчета сил резания при внутреннем шлифовании.

Радиальная сила резания находится по формуле:

$$P_Y = \frac{1{,}86\sigma\pi d_{\text{заг}} V_{Soc} S_{\text{рад}}}{\sqrt{(V_{\text{кр}} + V_{\text{заг}})^2 + V_{Soc}^2}} + \frac{\sigma\eta B}{3}\sqrt{\frac{d_{\text{заг}} D_{\text{круга}} S_{\text{рад}}}{d_{\text{заг}} - D_{\text{круга}}}}. \tag{10}$$

Тангенциальная сила резания находится по формуле:

$$P_Z = \frac{2{,}732\sigma V_{\text{заг}} \pi d_{\text{заг}} V_{Soc} S_{\text{рад}}}{(V_{\text{кр}} + V_{\text{заг}})^2 + V_{Soc}^2} + \frac{\sigma\eta\mu V_{\text{заг}} B}{3\sqrt{(V_{\text{кр}} + V_{\text{заг}})^2 + V_{Soc}^2}}\sqrt{\frac{d_{\text{заг}} D_{\text{круга}} S_{\text{рад}}}{\mathrm{d}_{\text{заг}} - D_{\text{круга}}}}, \tag{11}$$

Осевая сила резания находится по формуле:

$$P_X = \frac{2{,}732\sigma\pi d_{\text{заг}} V_{Soc}^2 S_{\text{рад}}}{(V_{\text{кр}} + V_{\text{заг}})^2 + V_{Soc}^2} + \frac{\sigma\eta\mu V_{Soc} S_{P_X}}{3\sqrt{(V_{\text{кр}} + V_{\text{заг}})^2 + V_{Soc}^2}}. \tag{12}$$

Разработанная модель сил резания получила подтверждение экспериментальным путем. Измерение сил резания производилось на специализированном стенде, выполненного на базе внутришлифовального станка модели 3К228А. Для измерения значений радиальной и тангенциальной силы резания на данном стенде установлены специальные индуктивные преобразователи, спроектированные на базе измерительной электронной системы модели БВ-6134, предназначенной для регистрации линейных перемещений. Испытания проводились для шлифовального круга 80х40х25 24А F40 М 6 В ГОСТ Р 52781-2007, в качестве заготовки использовалась втулка (внешний диаметр 120 мм, толщина стенки 8 мм, длина 200 мм, материал Сталь 12ХН3А ГОСТ 4543-71). Полученные результаты показали, что погрешность расчетов в среднем не превышает 10 %. Данная погрешность связана с тем, что интенсивность напряжений σ принималась по усредненным значениям, не учитывающих изменения температуры в зоне резания в процессе обработке [6, 7].

Выводы

1) разработанная на основе фундаментальных закономерностей механики пластической деформации металла в зоне резания модель сил резания для внутреннего шлифования: учитывает кинематику и особенности процесса внутреннего шлифования; связывает силы резания с режимами обработки (радиальная и осевая подачи, скорость вращения заготовки и круга и т.д.); охватывает большую часть основных технологических параметров (физико-механические свойства шлифуемого металла, геометрические параметры зоны контакта круга и заготовки, характеристику круга, степень его затупления и т.д.);

2) теоретические результаты расчетов, полученных с помощью разработанной модели сил резания, согласуются с экспериментальными данными (погрешность расчетов в среднем не превышает 10 %);

3) полученная силовая модель послужит основой методики проектирования оптимальных управляющих программ для операций внутреннего шлифования [9, 10].

Библиографический список

1. Переверзев, П.П. Моделирование и оптимизация управляющих программ в автоматизированном машиностроительном производстве / П.П. Переверзев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Машиностроение». – 2012. – № 12 (271). – С. 152–157.

2. Переверзев, П.П. Моделирование технологических ограничений при оптимизации автоматических циклов шлифования / П.П. Переверзев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Машиностроение». – 2012. – № 12 (271). – С. 165–168.

3. Справочник технолога машиностроителя: справочник: в 2 т. / под ред. А.Н. Малова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1972. – Т. 2. – 568 с.

4. Справочник металлиста: справочник: в 5 т. / Е.Г. Анненкова, П.П. Грудов, Н.С. Дегтяренко, К.П. Имшенник, М.А. Касенво, Н.Ф. Мельников. – М.: МАШГИЗ, 1961. – 4 Т. – 750 с.

5. Манохин, Ю.И. Повышение эффективности внутреннего врезного шлифования на основе оптимального управления: дис. … канд. техн. наук / Ю.И. Манохин. – Челябинск, 1977. – 223 с.

6. Переверзев, П.П. Взаимосвязь производительности и точности операций шлифования с интенсивностью затупления кругов из различных абразивных материалов: дис. … канд. техн. наук / П.П. Переверзев. – Челябинск, 1981. – 203 с.

7. Корчак, С.Н. Теоретические основы влияния технологических факторов на повышение производительности шлифовальных стальных деталей: дис. … д-ра техн. наук / С.Н. Корчак. – Челябинск, 1973. – 372 с.

8. Маслов, Е.Н. Основы теории шлифования металлов / Е.Н. Маслов. – М.: Машгиз, 1951. – 190 с.

9. Pereverzev P.P., Popova A.V. and Pimenov D.Yu. Relation between the Cutting Force in Internal Grinding and the Elastic Deformation of the Technological System // Russian Engineering Research. 2015. vol. 35. no. 3. pp. 215–217. DOI: 10.3103/S1068798X15030156.

10. Попова, А.В. Принципы проектирования высокопроизводительных циклов на примере внутреннего шлифования / А.В. Попова // СТИН. – 2014. – № 6. – С. 17–23.

К содержанию

УДК 621 + 378.44

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКЗАМЕН БАКАЛАВРОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ 15.03.05 (151900.62). ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ

Н.Н. Суворова, Д.В. Ардашев

В статье дается описание первого этапа проведения итоговой государственной аттестации бакалавров по направления 15.03.05 (151900.62) «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» по профилю «Технология машиностроения» – государственного экзамена.

Ключевые слова: итоговая государственная аттестация, экзаменуемый, государственный экзамен.

В 2015 году кафедра технологии обработки материалов «ТОМ» ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) филиала в городе Кыштыме выпускает первых бакалавров по направлению 15.03.05 (151900.62) «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» по профилю «Технология машиностроения»

Целью итоговой государственной аттестации является установление уровня подготовки выпускника к выполнению профессиональных задач и соответствия его подготовки требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) и основной образовательной программы высшего профессионального образования (ООП ВПО), разработанной в филиале.

Итоговая государственная аттестация бакалавров проводится на основании рабочей программы составленной в соответствии с ФГОС ВПО, утвержденным приказом Минобрнауки от 24.12.2009 г. № 827

Основной образовательной программой предусматривается подготовка выпускников к следующим видам профессиональной деятельности: проектно-конструкторская; производственно-технологическая; организа-

ционно-управленческая; научно-исследовательская; сервисно-эксплуатационная; специальные виды деятельности.

Перечень компетенций, освоение которых проверяется в ходе государственного экзамена (в соответствии с ФГОС):

Общекультурные: ОК-1, ОК-2, ОК-9, ОК-10, ОК-13, ОК-15, ОК-17, ОК-18, ОК-19;

Профессиональные: ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-13, ПК-14, ПК-16, ПК-17, ПК-19; ПК-21, ПК-23, ПК-24, ПК-26, ПК-28.

Государственный экзамен по направлению 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» является обязательной частью итоговой государственной аттестации.

Форма проведения государственного экзамена определена исходя из основных задач государственного экзамена: определения соответствия подготовки выпускников квалификационным требованиям ФГОС ВПО. Государственный экзамен проводится в письменной форме на основе разработанной и утвержденной кафедрой программы государственного экзамена и экзаменационных билетов.

Фонды оценочных средств для проведения государственного экзамена являются полным и адекватным отображением требований ФГОС ВПО по данному направлению и соответствуют целям и задачам ООП. Они призваны обеспечить оценку качества общекультурных и профессиональных компетенций, приобретенных выпускниками.

Задания для государственного экзамена составляются по дисциплинам, вошедшим в основные учебные модули программы на основе содержания образовательной программы подготовки бакалавра по направлению 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». Экзаменационное задание содержит пять разделов, соответствующих основным учебным модулям. Экзаменуемый должен ответить на все пункты каждого раздела. Каждый раздел индивидуального экзаменационного задания оценивается в баллах по пятибалльной системе.

Время проведения государственного экзамена определяется графиком учебного процесса на текущий учебный год.

Варианты экзаменационных заданий хранятся в запечатанном виде на кафедре.

Перед проведением экзамена проводится цикл консультаций по всем основным учебным модулям, вынесенным на государственный экзамен.

Длительность государственного экзамена составляет 6 академических часов. Экзамен проводится в письменной форме. Индивидуальные задания выдаются экзаменуемым непосредственно перед экзаменом.

Вопросы для сдачи государственного экзамена по направлению 151900.62 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

По выбранному номеру задания и указанной позиции детали в узле:

1. Выполнить эскиз указанной детали и установить точность ее элементов (поверхностей) в соответствии с требованиями сборочного чертежа.

1.1. Проставить все линейные и диаметральные размеры на эскизе детали с указанием допускаемых отклонений.

1.2. Обозначить параметры шероховатости поверхностей, отклонения формы и взаимного расположения поверхностей.

1.3. Привести 2 схемы методов контроля и средств измерений отклонения формы и взаимного расположения поверхностей.

1.4. Для деталей с зубчатым венцом привести одну из схем контроля зубьев (радиального биения, длины общей нормали или шага зацепления, толщины зуба по постоянной хорде).

2. Предложить вариант технологического процесса механической обработки заданной детали применительно к серийному типу производства.

2.1. Выбрать и дать обоснование метода получения заготовки детали. Оформить ее эскиз с указанием литейных и штамповочных уклонов. Обозначить необходимые размеры (без номиналов) с отклонениями.

2.2. Разработать маршрутный технологический процесс:

2.2.1. Выполнить операционные эскизы на все операции механической обработки с указанием номера операции, ее наименования, станочного оборудования, приспособления и обрабатывающего инструмента.

2.2.2. Построить размерную схему линейных размеров детали, записать уравнения для 3-х припусков, выполнить расчет одного (любого) операционного промежуточного размера или одного размера заготовки.

3. На основе анализа технологического процесса привести обоснование необходимости применения существующих модулей систем сквозного проектирования (CAD\CAM\CAE\CAPP\PLM\ERP и т. д.).

3.1. Для заданного типа производства и выбранного оборудования выбрать систему сквозного проектирования CAD\CAM\CAE\CAPP. Дать экспертное заключение об ее достоинствах и недостатках.

3.2. Привести укрупненный алгоритм выбора оборудования для выбранной CAD\CAM\CAE\CAPP системы с учетом применяемой в ней СУБД.

4. Для одной из операций технологического процесса (одного перехода) изобразить схему механической обработки, для которой:

4.1. Указать наименование инструмента, изобразить его конструкцию, указать материал режущий части и ее геометрические параметры.

4.2. Произвести расчет (выбор) режимов резания для этой операции.

5. Для одной из операций технологического процесса разработать принципиальную схему станочного приспособления.

5.1. Провести предварительный анализ технологического эскиза.

5.2. Изобразить возможную схему обработки (без элементов станочного приспособления) с указанием сил резания и закрепления, а также структуры зажимного устройства.

5.3. Изобразить конструкцию приспособления (упрощенно).

После получения задания экзаменуемый знакомится с ним и, при необходимости, уточняет с экзаменатором возникшие вопросы. Задание выполняется на специальных экзаменационных листах, подготовленных членами ГЭК.

Экзаменуемый имеет право пользоваться печатной учебно-методической документацией основной и дополнительной литературой, методическими рекомендациями по подготовке к государственному экзамену (размещенными на сайте kf.susu.ac.ru.), электронной учебно-методической документацией.

По истечении времени проведения экзамена, все экзаменационные листы с ответами сдаются членам ГЭК.

Проверка ответов проводится членами ГЭК. Работы экзаменуемых оцениваются всеми членами комиссии. ГЭК на своем заседании производит перевод бальной оценки всех ответов в стандартную (общую оценку), принятую в высшей школе, и дает заключение о соответствии подготовки выпускников требованиям ФГОС, вынесенным на государственный экзамен.

Итоговые результаты государственного экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Оценки, согласованные всеми членами ГЭК, утверждаются председателем ГЭК и объявляются в тот же день после оформления протокола заседания экзаменационной комиссии.

В день объявления результатов государственного экзамена может быть предусмотрена возможность проведения апелляции.

Выпускникам, получившим неудовлетворительные оценки, предоставляется право повторной сдачи экзамена в течение последующих пяти лет в периоды работы государственной экзаменационной комиссии.

На этом первый этап проведения итоговой государственной аттестации завершается, и выпускники приступают ко второму этапу выполнению и защите бакалаврской работы.

К содержанию

УДК 621 + 378.44

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ 15.03.05 (151900.62). ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ

Н.Н. Суворова, Д.В. Ардашев

В статье дается описание второго этапа проведения выпускной квалификационной аттестации бакалавров для направления 15.03.05 (151900.62) «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» по профилю «Технология машиностроения» – выполнение выпускной квалификационной работы.

Ключевые слова: итоговая государственная аттестация, выпускник, выпускная квалификационная работа, защита.

Завершающим этапом процесса обучения студентов в ВУЗе является выполнение и защита выпускной квалификационной работы (ВКР). В 2015 году кафедра технологии обработки материалов (ТОМ) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «ЮУрГУ» (НИУ), филиала в городе Кыштыме выпускает первых бакалавров для направления 15.03.05 (151900.62) «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» по профилю «Технология машиностроения»

Защита ВКР является вторым этапом итоговой государственной аттестации (ИГА) выпускников. ИГА бакалавров проводится на основании рабочей программы составленной в соответствии с ФГОС ВПО, утвержденным приказом Минобрнауки от 24.12.2009 г. № 827. Целью ИГА является установление уровня подготовки выпускника к выполнению профессиональных задач и соответствия его подготовки требованиям ФГБОУ ВПО и основной образовательной программы высшего профессионального образования (ООП ВПО), разработанной в филиале.

После завершения курса теоретического обучения, студентом оформляется задание на бакалаврскую работу, в котором указывается срок выполнения работы. За каждым студентом закрепляется руководитель работы, осуществляющий консультативную помощь студенту, а также проверку и подписание материалов работы. Составляется календарный график работы на весь период проектирования с указанием очередности, сроков выполнения отдельных этапов работы. Этот график находится у студента и предъявляется руководителю проекта при консультации, который отмечает в нем ход работы. Задание на бакалаврскую работу находится у студента, а после окончания работы подшивается в расчетно-пояснительную записку.

Перечень компетенций, формируемых в ходе выполнения и защиты выпускной квалификационной работы (в соответствии с ФГОС):

Общекультурные компетенции: ОК-3, ОК-5, ОК-11, ОК-12, ОК-14, ОК-16;

Профессиональные компетенции: ПК-18, ПК-20, ПК-22, ПК-25, ПК-27, ПК-29, ПК-30, ПК-31, ПК-34, ПК-35, ПК-36, ПК-37, ПК-39, ПК-40, ПК-42, ПК-43, ПК-45, ПК-46, ПК-47, ПК-48, ПК-49, ПК-50, ПК-52, ПК-53.

Перечень компетенций, освоение которых проверяется при защите выпускной квалификационной работы (в соответствии с ФГОС):

Общекультурные компетенции: ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-20;

Профессиональные компетенции: ПК-15, ПК-32, ПК-33, ПК-38, ПК-41, ПК-44, ПК-51, ПК-54.

ВКР выполняется в форме бакалаврской работы. Тематику ВКР можно разделить на два направления: **технологическое** и **конструкторское**. Направление ВКР определяется в зависимости от места прохождения студентом преддипломной практики, или задается руководителем работы, при наличии достаточного исходного материала. Основным материалом для разработки работы являются данные, собранные студентом на производственной практике. Тема ВКР утверждается приказом по университету и не подлежит изменению вплоть до защиты работы. ВКР должна выполняться с применением персонального компьютера, современных расчетных и графических пакетов и текстовых редакторов.

В структуру **технологической темы** входит: *пояснительная записка* (ПЗ) (титульный лист, задание, аннотация, введение)*; общая часть* (назначение и описание узла изделия, в состав которого входит обрабатываемая деталь, служебное назначение детали и технические требования, предъявляемые к ней); *технологическая часть* (анализ технологичности детали, анализ действующего технологического процесса, выводы из анализа действующего техпроцесса и предложения по разработке проектного варианта технологического процесса, разработка проектного технологического процесса, описание планировки участка на котором будет производиться обработка детали); *конструкторская часть* (проектирование станочного приспособления, проектирование контрольного приспособления, проектирование режущего инструмента); *безопасность жизнедеятельности; заключение; библиографический список; приложения; графическая часть* (чертежи детали, заготовки, лист сравнения технологий, схемы механической обработки, расчетно-технологической карты, лист САПР (при наличии), чертежи станочного и контрольного приспособлений, чертеж режущих инструментов, планировки участка механической обработки). *Карты технологического процесса.*

В структуру **конструкторской темы** входит: *пояснительная записка* (содержание которой практически совпадает с (ПЗ) технологической темы, однако в дипломе конструкторской направленности значительная часть ПЗ

должна быть отведена под расчеты отдельных деталей и узлов, обоснование выбора той или иной конструкции или схемы механизма, с подробным описанием принципа и отличительных особенностей работы устройства); *графическая часть* (включает листы, перечисленные для технологической темы, с бóльшим количеством чертежей технологической оснастки, приспособлений, оригинальных конструкций узлов станка или дополнительных устройств)*; карты технологического процесса; лист технико-экономических показателей*

Выполнение ВКР ведется студентом самостоятельно, под руководством преподавателя кафедры. В процессе работы студент должен выполнить задание на основе знаний и практических навыков, полученных по всем учебным дисциплинам, используя нормативные документы, методические указания, справочники, а также материалы из отечественных и зарубежных технических журналов, проспекты выставок. ВКР должна быть представлена в виде пояснительной записки с необходимым иллюстрационным материалом и библиографией, а также комплектом чертежей и комплектом документов на технологический процесс. Средний объем пояснительной записки – 60–70 страниц, формата А4 (без учета приложении, если таковые имеются). Объем графической части – 8 листов формата А1. Объем технологической документации не регламентируется. Чертежи, плакаты и карты технологического процесса должны быть оформлены с соблюдением требований ЕСКД, ЕСТД и содержать все необходимые размеры, пояснения и надписи.

Выпускная квалификационная работа бакалавра техники и технологии носит квалификационный и, одновременно, аттестационный характер. Темы работ должны: отвечать требованиям актуальности; обеспечивать самостоятельность выполнения работы; предусматривать проработку большого объема технической литературы; использовать при подготовке работы знаний, приобретенных при изучении фундаментальных дисциплин; обеспечивать возможность анализа технико-экономической или научной значимости проделанной работы.

К защите ВКР допускаются студенты, успешно завершившие в полном объеме освоение основной образовательной программы по направлению 15.03.05 (151900.62) «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», разработанной выпускающей кафедрой в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и успешно сдавшие итоговые государственные экзамены. Допуск к защите ВКР производится выпускающей кафедрой за две недели до защиты на основании предварительного рассмотрения работы. Работа допускается к защите при наличии положительного отзыва руководителя, подписи автора ВКР, нормоконтролера, консультантов по смежным разделам, заведующего кафедрой, а также отзыва рецензента. ВКР представляется в ГАК за три дня до назначения сро-

ка защиты. Защита ВКР бакалавра проводится в Государственной экзаменационной комиссии по защите ВКР, которая утверждается приказом ректора. Защита работы проводится в сроки, установленные графиком учебного процесса и распоряжением декана факультета. Защита дипломной работы предполагает выступление студента дипломника перед Государственной аттестационной комиссией (ГАК) с докладом, в котором коротко освещаются решенные в работе задачи.

Персональный состав ГАК в количестве 8 человек утверждается приказом ректора университета.

В начале процедуры защиты ВКР секретарь ГАК представляет студента и объявляет тему работы, после чего защищающийся получает слово для доклада (не более 10 минут). Одновременно с этим ГАК демонстрируется графическая часть работы в виде чертежей, плакатов, схем и ГАК знакомится с содержанием пояснительной записки и технологического процесса. По завершению доклада члены ГАК имеют возможность задать вопросы защищающемуся по любой части дипломного проекта. Затем зачитывается отзыв руководителя работы и рецензия. Студенту предоставляется возможность ответить на замечания руководителя и рецензентов.

Члены ГАК дают оценку соответствия подготовки выпускников требованиям ФГОС ВПО и выставляют рекомендуемую оценку по бальной системе, принятой в высшей школе и на закрытом заседании обсуждает защиту ВКР, суммирует результаты всех оценочных средств и принимает общее решение о присвоении выпускнику соответствующей квалификации и выдаче ему диплома. Решение ГАК о присвоении квалификации объявляется приказом ректора, после чего выпускнику вручается диплом.

К содержанию

УДК 621.833.001.2

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Н.А. Погорелов, В.В. Ахлюстина

В статье рассмотрены вопросы получения параметров зубчатых колес в соответствии со степенями и нормами точности при использовании различных методов обработки.

Ключевые слова: точность, зубчатое колесо, методы обработки.

В современных машинах широко применяют зубчатые передачи (цилиндрические, конические, червячные, смешанные). Различают силовые зубчатые передачи, предназначенные для передачи крутящего момента с изменением частоты вращения валов, и кинематические передачи.

Стандарт устанавливает 12 степеней точности цилиндрических зубчатых колес (в порядке убывания точности): 1,2,3,4,5,6,7, 8,9,10, 11, 12. Для 1, 2-й степеней допуски стандартом не предусматриваются. Для каждой степени точности предусматривают следующие нормы: – кинематической точности колеса, определяющие полную погрешность угла поворота зубчатых колес за один оборот; – плавности работы колес, определяющие составляющую полной погрешности угла поворота зубчатого колеса, многократно повторяющейся за оборот колеса; – контакта зубьев, определяющие отклонение относительных размеров пятна контакта сопряженных зубьев в передаче. Независимо от степени точности колес установлены нормы бокового зазора (виды сопряжений зубчатых колес). Существуют шесть видов сопряжений зубчатых колес в передаче, которые в порядке убывания гарантированного бокового зазора обозначаются буквами A, B, C, D, E, H, и восемь видов допуска (Tjn) на боковой зазор: x, y, z, a, b, c, d, h [3, 4].

При изготовлении высокоточных колес (6,5 и выше степеней точности) механическая обработка должна чередоваться с операциями термической обработки для снятия внутренних напряжений, а количество отделочных операций технологических баз и зубчатого венца значительно возрастает.

Для рассматриваемого зубчатого колеса (рис. 1):

– посадочное отверстие диаметром 60 мм выполняется по 7-му квалитету;

– точность формы не задается;

– точность взаимного расположения ограничена величиной допуска торцового биения плоских поверхностей относительно оси отверстия не 0,016 мм, а также величиной допуска симметричности шпоночного паза относительно оси отверстия 0,025 мм;

– шероховатость поверхности зубчатого венца Ra = 1,6 мкм, отверстия и торцов – 1,6 мкм. Зубчатый венец закаливается ТВЧ до HRC 45–50 на глубину 1–2 мм.

В зависимости от служебного назначения зубчатые колеса изготовляют из углеродистых, легированных сталей, чугуна, пластических масс. Легированные стали обеспечивают более глубокую прокаливаемость и меньшую деформацию по сравнению с углеродистыми. Материал зубчатых колес должен обладать однородной структурой, обеспечивающей стабильность размеров после термической обработки, особенно по размеру отверстий и шагу колес. Нестабильность возникает после цементации и закалки, когда в заготовке сохраняется остаточный аустенит, она может также возникнуть в результате наклепа и при механической обработке. Установлено, что наибольшее коробление дает цементация и меньшее – закалка, поэтому часто исправление коробления и повышение точности шевингованием производят не до цементации, а между цементацией и закалкой. При изготовлении высокоточных колес рекомендуется чередовать механическую обработку с операциями термической стабилизации размеров для снятия внутренних напряжений.

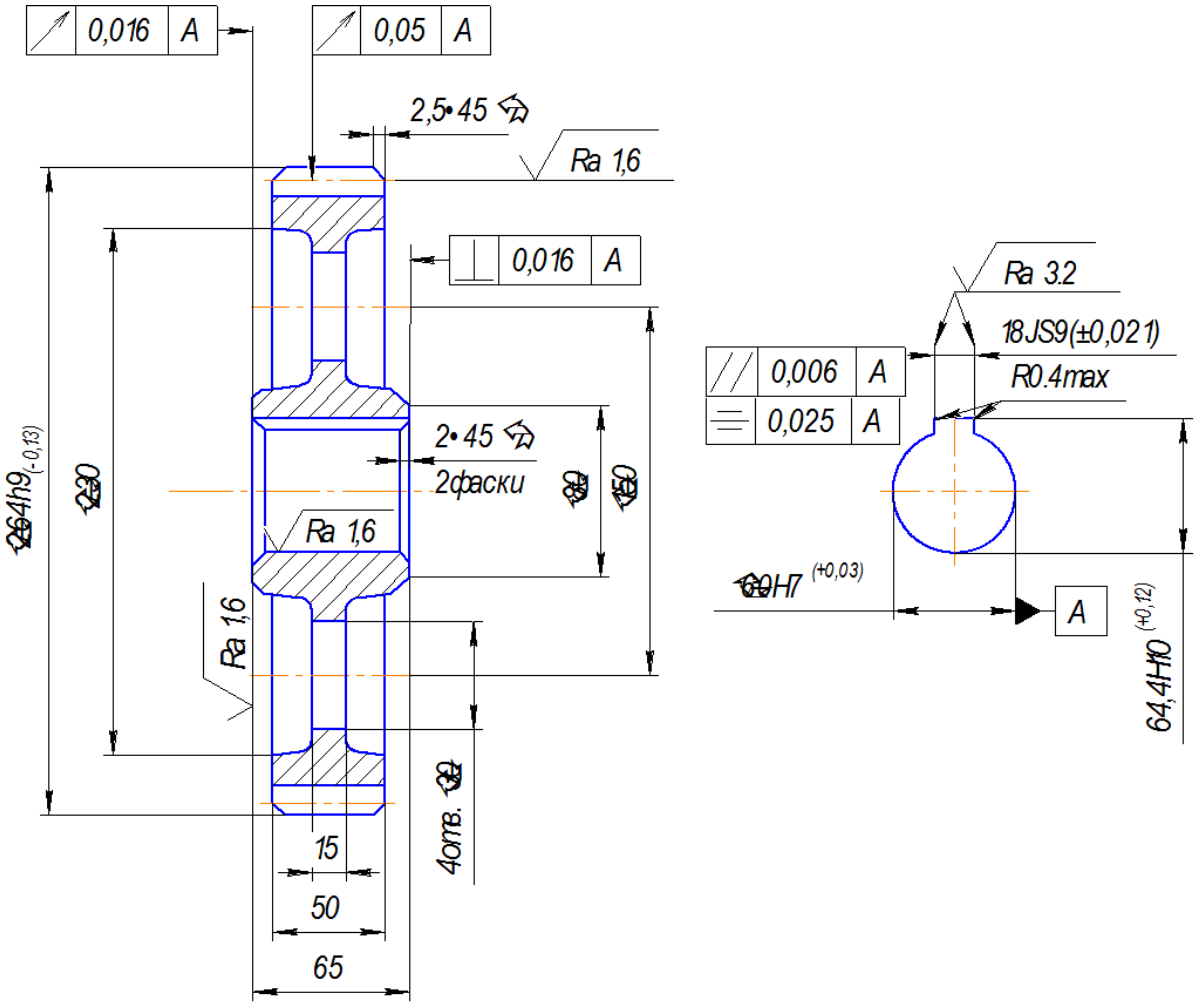


Рис. 1. Зубчатое колесо с типовыми требованиями к точности

Виды заготовок зубчатых колес при разных конструкциях и серийности выпуска: из проката; поковка, выполненная свободной ковкой на ковочном молоте; штампованная заготовка в подкладных штампах, в закрытых штампах, выполненная на молотах или прессах и горизонтально-ковочных машинах. Заготовки, получаемые свободной ковкой на молотах, по конфигурации не соответствуют форме готовой детали, но структура металла благодаря ковке улучшается Штамповка заготовок в закрытых штампах имеет ряд преимуществ: снижается расход металла из-за отсутствия облоя, форма заготовки ближе к готовой детали, снижается себестоимость. На прессах можно штамповать с прошиванием отверстия.

В зависимости от способа образования зубьев различают два метода зубонарезания: копирование и обкатку. Оба метода используют на различных зубообрабатывающих станках [1, 2].

Нарезание зубчатых колес методом копирования. Распространенной разновидностью метода копирования является зубофрезерование, осуществляется на зубофрезерных вертикальных и горизонтальных станках полуавтоматах.

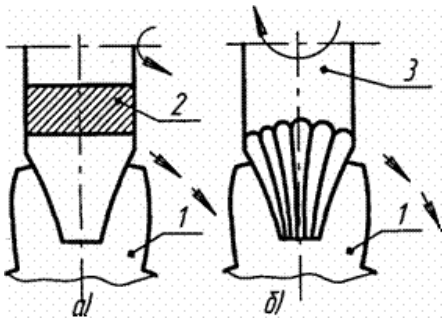


Рис. 2. Схемы фрезерования цилиндрических колес
методом копирования: а – дисковой фрезой; б – концевой фрезой;

Нарезание зубьев по методу копирования осуществляют модульной дисковой или модульной концевой фрезой. Режущие кромки зубьев этих фрез изготовляют по форме впадины между зубьями колеса, и при фрезеровании они копируют форму впадины, создавая, две половины профилей двух соседних зубьев. После нарезания одной впадины заготовка поворачивается на один зуб с помощью делительного механизма, и фреза снова проходит по новой впадине между зубьями (рис. 2). Производительность данного способа низкая, точность и качество поверхности невысокие.

В массовом производстве применяют зубодолбежные резцовые головки, работа которых основана на методе копирования.

Другой разновидностью нарезания зубчатых колес методом копирования является протягивание как наружных, так и внутренних зубчатых поверхностей, характеризующееся высокой производительностью.

Нарезание зубчатых колес методом обкатки. При методе обкатки заготовка и инструмент воспроизводят движение пары сопряженных элементов зубчатой или червячной передачи. Для этого либо инструменту придается форма детали, которая могла бы работать в зацеплении с нарезаемым колесом (зубчатое колесо, зубчатая рейка, червяк).

Зубонарезание червячными фрезами. Фрезу на станке устанавливают, чтобы ее ось была повернута под углом β подъема винтовой линии витков фрезы (рис. 3). Червячная фреза, кроме вращения, совершает поступательное движение подачи вдоль образующей цилиндра нарезаемого колеса, в результате чего колесо обрабатывается по всей его ширине.

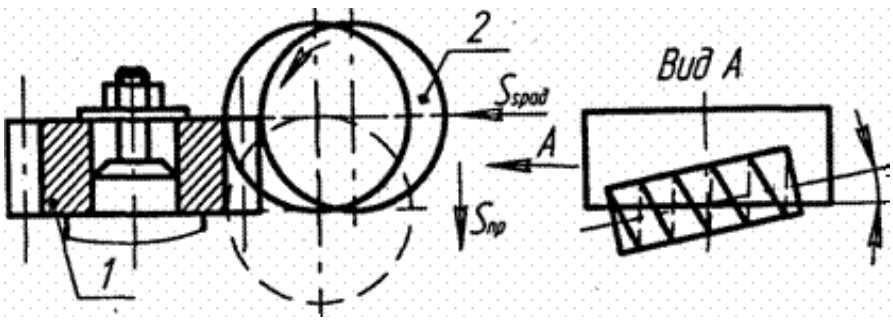


Рис. 3. Схема фрезерования зубьев червячной фрезой

В зависимости от модуля устанавливают число рабочих ходов фрезы: для m= 2–2,5 мм – один рабочий ход, для m> 2,5 мм – два рабочих хода и более.

Повышения производительности при зубофрезеровании достигают путем увеличения диаметра фрезы (повышается стойкость инструмента), жесткости ее установки, использования специальных инструментальных материалов, твердосплавных, композиционных, применения многозаходных червячных фрез и увеличения числа одновременно нарезаемых колес.

Зубодолбление. Режущим инструментом является долбяк, представляющий собой зубчатое колесо с эвольвентным профилем зубьев. В процессе нарезания долбяк и нарезаемое зубчатое колесо находятся в относительном движении зацепления (без зазора). Зубодолбление является единственным методом для нарезания колес с внутренним зацеплением (при средних и малых диаметрах), а также при обработке зубчатых венцов в блочных шестернях [1].

Зубострогание. Этот метод основан на зацеплении колеса и рейки, воспроизводимом инструментом – гребенкой. У зубострогания производительность меньше, чем у зубофрезерования червячной фрезой и зубодолбления.

Накатывание зубчатых поверхностей имеет большие преимущества перед способами обработки резанием: повышает производительность в 5–30 раз; увеличивает износостойкость и прочность зубьев; значительно уменьшает отходы металла и др. Различают горячее и холодное накатывание (рис. 4). Горячее накатывание применяют для профилей с модулем больше 2 мм; холодное накатывание рекомендуется для мелкомодульных колес с модулем до 1,5–2 мм [2].

Может применяться и комбинированное накатывание для средних и крупных модулей (основная пластическая деформация проводится в горячем состоянии, а окончательное профилирование – в холодном).

Перед накатыванием заготовку нагревают до 1000–1200 ºС за 20–30 с до накатывания.

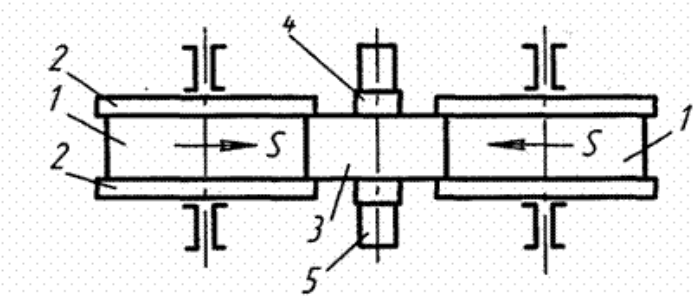
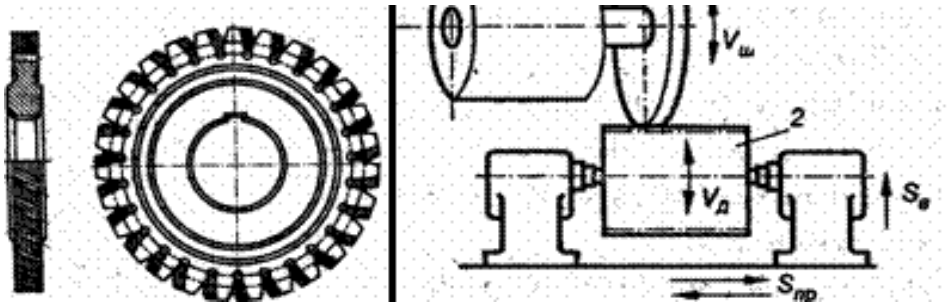


Рис. 4. Схема горячего накатывания зубьев колес:
1 – накатники; 2 – реборды; 3 – заготовка;
4 – переходная втулка; 5 – оправка

Шевингование – чистовая обработка зубьев незакаленных цилиндрических зубчатых колес (твердость обычно не более HRC 40), осуществляемая инструментом – шевером (рис. 5а). Шевингование зубчатых колес заключается в срезании весьма тонких волосовидных стружек толщиной 0,05–0,01 мм острыми кромками канавок шевера (рис. 5б). В процессе шевингования точность зубчатых колес повышается на одну степень, реже – на две [1].



а) б)

Рис. 5. Шевингование: а – дисковый шевер;
б – схема обработки зубьев колес дисковым шевером

Шевингуют зубчатые колеса как наружного, так и внутреннего зацепления.

Шлифование зубьев зубчатых колес – наиболее надежный метод отделочной обработки, обеспечивающий высокую точность закаленных зубчатых колес. Шлифование зубьев производят на различных зубошлифовальных станках методом копирования и методом обкатки. На станках, работающих по методу копирования, шлифуют прямозубые зубчатые колеса профилированными кругами (рис. 6). Метод обкатки осуществляется на зубошлифовальных станках, которые точны и универсальны в наладке. При шлифовании зубьев этим методом (рис. 7) воспроизводится зубчатое зацепление пары рейка – зубчатое колесо. Инструментом является воображаемая рейка, боковые стороны зуба которой образованы шлифовальными тарельчатыми кругами 2.

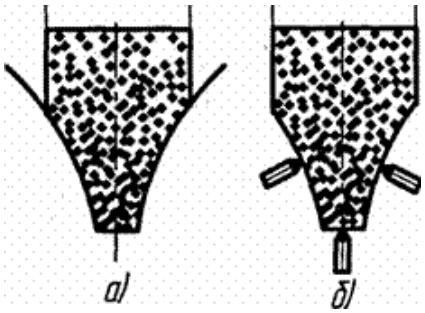


Рис. 6. Схемы профильного шлифования зубьев:
а – профилирование зубьев; б – правка шлифовального круга

Движение обкатки складывается из вращения заготовки вокруг своей оси А и поступательного движения вдоль воображаемой рейки Б.

Существуют различные методы шлифования цилиндрических зубчатых колес: дисковым кругом; двумя дисковыми кругами; червячным кругом и др.

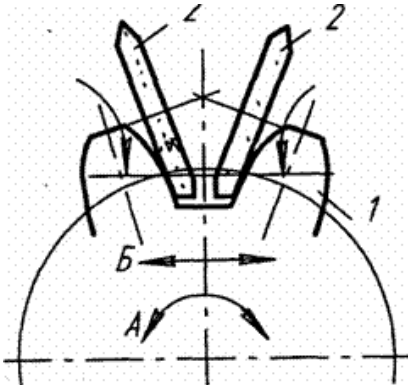


Рис. 7. Схема шлифования зубьев методом обкатки:
1 – зубья колеса; 2 – шлифовальные круги

Немаловажным вопросом при зубошлифовании является постоянство профиля круга, что может быть обеспечено за счет учета интенсивности износа абразивных зерен при проектировании операции [5, 6, 7].

Хонингование применяют для чистовой отделки зубьев закаленных цилиндрических колес внешнего и внутреннего зацеплений. Процесс осуществляется на зубохонинговальных станках с помощью зубчатого абразивного инструмента – хона.

Зубчатые хоны представляют собой прямозубые или косозубые колеса, обычно состоящие из стальной ступицы и абразивного венца того же модуля, что и обрабатываемое колесо. Хонингование позволяет уменьшить параметры шероховатости и тем самым повысить долговечность зубчатой передачи.

К отделочным методам относятся также: обкатка зубьев и прикатка (зацепление с эталонным колесом); притирка (искусственное изнашивание рабочей поверхности зубьев притирами с применением абразивной пасты); приработка (притирание пары зубчатых колес без притира).

Библиографический список

1. Калашников, А.С. Технология изготовления зубчатых колес / А.С. Калашников. – М: Машиностроение, 2004. – 480 с.

2. Михайлов, А.В. Основы проектирования технологических процессов / А.В. Михайлов, Д.А. Расторгуев, А.Г. Схиртладзе. – Ст. Оскол: ТНТ, 2004. – 336 с.

3. Радкевич, Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для ВУЗов / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – М.: Высш. шк., 2004. – 767 с.

4. ГОСТ 1643-81 Передачи зубчатые цилиндрические Допуски и посадки. – М., 1981.
5. Ардашев, Д.В. Определение величины механического износа абразивных зерен при шлифовании / Д.В. Ардашев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Машиностроение». – 2014. – № 4. – С. 55–65.
6. Ардашев, Д.В. Прогнозирование величины износа абразивного зерна в результате физико-химического взаимодействия с обрабатываемым материалом / Д.В. Ардашев // СТИН. – 2014. – № 11. – С. 33–37.
7. Ардашев, Д.В. Определение износостойкости абразивного зерна при шлифовании на основе кинетической теории прочности / Д.В. Ардашев // Технологическое обеспечение машиностроительных производств: сб. трудов I Межд. заочн. Научно-техн. конф. – 2013. – С. 260–267.
8. URL: www.autowelding.ru.

К содержанию

УДК 621.922

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В.В. Ахлюстина, И.С. Власов

В статье рассмотрены вопросы влияния на точность геометрической формы и взаимного расположения поверхностей деталей от выбора заготовки, оборудования и режущего инструмента.

Ключевые слова: точность, погрешность обработки, станок, инструмент.

Одним из параметров, обеспечивающих высокое качество и надежность машин, является точность их изготовления. Точность изготовления деталей – это степень соответствия ее параметров параметрам, заданным конструктором в рабочем чертеже, техническим условиям, стандартам детали. Соответствие реальной и заданной конструктором деталей определяется факторами: определяемым шероховатостью и физико-механическими свойствами (материалом, термообработкой).

На всех этапах технологического процесса изготовления деталей и сборки узлов и машин неизбежны погрешности, поэтому достижение абсолютной точности невозможно. На практике для определения точности пользуются квалитетами точности, которые устанавливаются на отдельные параметры деталей и на изделия в целом. В зависимости от предъявляемых к машине (прибору) требований, а также условий работы деталей в узле и узлов в машине назначают точность изготовления деталей. Различают: точность формы (степень соответствия поверхностей детали определённым геометрическим телам); точность размеров детали; точность взаимно-

го расположения поверхностей детали. Точность детали определяется отклонениями от заданных форм и размеров. Погрешности формы деталей в виде тел вращения выражаются в овальности, огранке, бочкообразности и седлообразности, конусности, изогнутости. Для деталей, имеющих плоские поверхности, отклонениями формы являются непрямолинейность и неплоскостность, о которых можно судить по выпуклости или вогнутости поверхностей. Погрешности размеров деталей регламентируются предельными отклонениями в соответствии с системой допусков и посадок. Отклонения взаимного расположения поверхностей характеризуются непараллельностью и неперпендикулярностью осей и плоскостей, отклонениями от симметричности, соосности и биения поверхностей. Точность деталей машин определяет технологию их изготовления, сборки и влияет на выбор измерительных средств [1].

Повышение точности изготовления деталей сокращает трудоемкость сборки машин способствует достижению взаимозаменяемости элементов машин и обеспечивает возможность поточной сборки и сокращения срока ремонта машин, находящихся в эксплуатации.

Достижение требуемой точности обработки заготовок, деталей и готовых машин связано с затратами средств. Чем меньше допуск, тем больше необходимо затратить средств на оборудование, инструмент и создание соответствующей производственной обстановки. Проблема соотношения точности и стоимости обработки является одной из основных при разработке технологических процессов.

Точность характеризует наряду с геометрическими параметрами изделия и единообразие качественных показателей, таких как мощность, производительность, КПД и др. Более точно изготовленные машины имеют более узкое поле разброса этих показателей и более высокие эксплуатационные качества. Точность изготовления детали зависит от комплекса технологических процессов, применяемых в данном производстве. Повышение точности изготовления первичных заготовок позволяет снизить припуски на обработку, что определяет структуру процесса обработки, снижает его стоимость и объем сборочных работ. Часть размеров детали должна быть выполнена с гарантированной точностью (в пределах заданных допусков), а остальные размеры выполняют без заданных чертежом пределов отклонений. При изготовлении таких деталей на «свободные размеры» устанавливают допуски по 12-му или14-му квалитету.

Точность взаимного расположения поверхностей определяется различными факторами технологического процесса. При обработке детали в несколько операций, точность взаимного расположения поверхностей зависит от ошибок установки этой детали на различных операциях. При обработке деталей сложной формы можно одновременно обработать все поверхности одним фасонным инструментом, в этом случае точность взаимного расположения поверхностей определяется точностью инструмента.

При изготовлении точных деталей допустимое отклонение формы задается в более жестких пределах, чем точность размера и обозначается на чертеже соответствующим условным обозначением.

Например: обозначение допуска полного радиального биения диаметра 20n6 относительно образующей конуса рис. 1.

Пределы отклонения формы для плоских и цилиндрических поверхностей установлены ГОСТом. Точность формы поверхности, как правило, выше точности взаимного расположения поверхностей, а эта точность выше точности размеров, связывающих поверхности [1, 2, 3, 4].

Обозначение допуска соосности отверстия диаметром 20Н7 относительно отверстия с диаметром 12Н7 рис. 2.

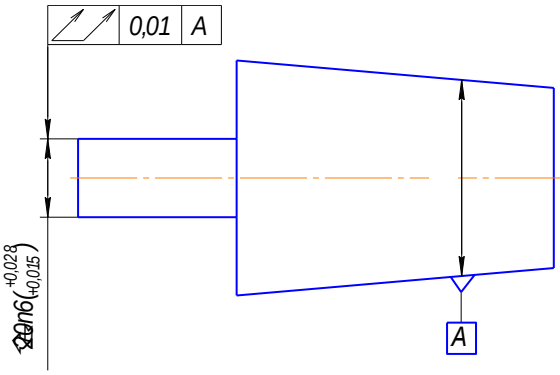


Рис. 1. Обозначение допуска полного радиального биения

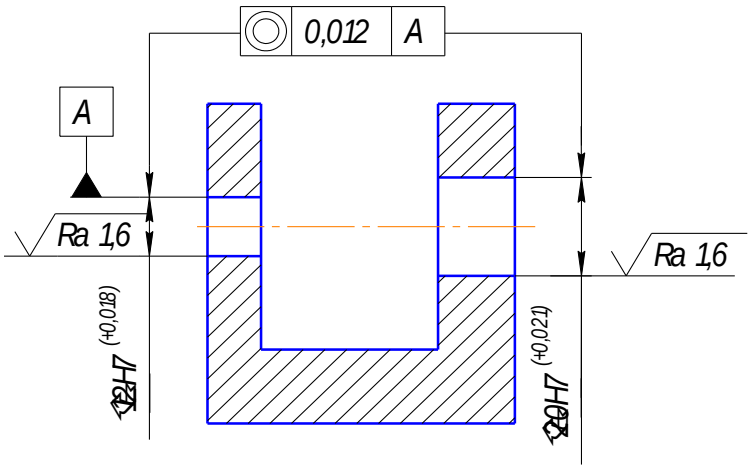


Рис. 2. Обозначение допуска соосности отверстий

Если требования к отклонениям формы или взаимного расположения поверхностей не указаны условным обозначением на чертеже или в технических требованиях, точность их исполнения должна быть в пределах допуска на размер детали [2, 3, 4].

На точность обработки влияют следующие факторы:

- неточность и износ станка;
- неточность и износ приспособлений и инструментов;
- погрешность установки детали на станке;
- нежесткость системы СПИД (станок-приспособление-инструмент-деталь);
- температурные деформации;
- остаточные напряжения обрабатываемой детали;
- копирование погрешностей предшествующей обработки;
- неточность средств и методов измерения.

Градации точностей в машиностроении определяются 17 квалитетами точности: 1, 2, 3…16, 17. Квалитет в переводе означает «степень точности» (точнее «степень качества»).

От точности обработки деталей зависит качество машины: чем выше точность, тем долговечнее и надежнее машина. С усложнением конструкций современных машин и увеличением интенсивности нагрузки непрерывно повышаются требования к точности обработки их деталей. Но чем выше точность, тем сложнее технологический процесс изготовления деталей и тем больше затраты труда на изготовление.

Понятие точности обработки тесно связано с понятием о погрешности обработки. На образование погрешности влияют многие причины. В большинстве случаев в процессе резания они возникают одновременно, определяя суммарную погрешность обработки.

Точность станков. Металлорежущие станки, как и все изделия, изготовляют с определенной степенью точности. Точность станка в ненагруженном состоянии называют геометрической точностью. В процессе эксплуатации отдельные детали и узлы станка изнашиваются. Вследствие износа, например, подшипников качения вала шпинделя токарного станка появляется биение обрабатываемой детали и образование неточности ее геометрической формы. Биение вращающихся центров станка также приводит к биению обрабатываемых поверхностей заготовки относительно оси центральных отверстий. Кроме того, возникают упругие деформации отдельных частей станка от действия сил резания. Величина упругой деформации тем больше, чем больше силы резания и меньше жесткость узлов станка.

Точность инструмента. Точность обработки в значительной степени зависит от точности изготовления режущего инструмента [5]. Инструмент изготавливается с определенными погрешностями размеров, формы и взаимного положения его отдельных элементов. Погрешности инструментов (зенкеров, разверток, протяжек, фрез и др.) влияют впоследствии на точность формы или размера обработанной поверхности. Поэтому чем точнее изготовлен инструмент, тем точнее и размеры деталей, полученные после обработки этим инструментом. В процессе резания инструмент изнашива-

ется. Точность инструмента в процессе изнашивания снижается, что приводит к искажению его формы и размеров. Инструмент изнашивается быстрее, чем детали станка. Интенсивность изнашивания инструмента в значительной степени зависит от режимов обработки, вида инструмента, геометрии его режущей части, материала инструмента.

Деформация обрабатываемой заготовки. При обработке заготовок на металлорежущих станках силы зажатия и силы резания могут значительно деформировать заготовку, вследствие чего размеры обработанной детали изменяются и появляются отклонения от правильной геометрической формы.

Температурные деформации. В процессе резания механическая энергия расходуется на деформирование срезаемого слоя металла и на преодоление сил трения, возникающих при контакте сходящей стружки и изделия с режущим инструментом. В результате превращения механической энергии в тепловую выделяется большое количество тепла, поглощаемого стружкой, обрабатываемой заготовкой, режущим инструментом и окружающей средой. При этом температура рабочей поверхности резцов в зоне резания составляет 800–1000 ºС и выше.

Повышение температуры обрабатываемой заготовки и инструмента приводит к температурным деформациям, вызывающим соответствующие погрешности обработки. Например, нагрев проходного резца средней величины на 200 ºС приводит к увеличению его длины на 0,01 мм, что вызывает уменьшение диаметра обрабатываемой заготовки на 0,02 мм. Тонкостенные заготовки нагреваются при обработке в большей степени, чем массивные, что обусловливает более значительную их деформацию. Поскольку наиболее теплонапряженным процессом чистовой обработки является шлифование, очень важно обеспечивать бесприжоговую обработку деталей на этой стадии. Одним из путей решения этого вопроса является учет интенсивности затупления абразивных зерен в процессе их работы [6, 7, 8].

Обработка заготовок на станках с ЧПУ обеспечивает высокую степень автоматизации и широкую универсальность выполняемой обработки, требует меньших затрат времени на перестройку станка с одной операции на другую.

При использовании станков с ЧПУ повышается точность обработки вследствие исключения влияния ошибок, вызванных недостаточной квалификаций рабочих.

Системы управления программными станками выполняются дискретными, смешанными и непрерывными. Системы автоматического регулирования обеспечивают высокую точность обработки. Это достигается за счет компенсации влияния на точность не только силовых упругих деформаций, но и износа инструмента, увеличения производительности, обработки путем поддержания оптимальной скорости износа инструмента, расширения диапазона регулирования скорости резания, в котором точность работы не снижается.

На станках с ЧПУ и типа «Обрабатывающий центр» с автоматической сменой инструментальных блоков, состоящих из режущего и вспомогательного инструмента, применяют инструментальную оснастку.

Режущий инструмент применяют стандартный и специальный, к которому предъявляются повышенные требования по точности, жесткости, быстроте смены и наладки на размер, стойкости, стабильному стружкоотводу, надежности. Вспомогательный инструмент в основном используют сборный, который хотя и имеет немного меньшую жесткость по сравнению со сплошным, но хорошо гасит возникшие при обработке вибрации.

Стойкость инструмента, в частности размерная стойкость, является комплексной характеристикой технологического процесса, учитывающей не только конструкцию, геометрию, материал режущей части, точность, жесткость системы СПИД, допуски на обработку. Размерная стойкость инструмента составляющая долю его общей стойкости при обработке деталей на станках с ЧПУ и типа «обрабатывающий центр», должна обеспечивать полную обработку одной или партии деталей а пределах установленного поля допуска.

На станах с ЧПУ при обработке не желательно образование длинной сливной, и мелко дробленой стружки. Наиболее рациональной формой является завитая в короткие спирали (200–300 мм) стружка. Поэтому на инструменте для станков с ЧПУ делают стружкозавивающие канавки или порожки, а также накладные регулируемые и нерегулируемые стружкозавиватели. Широкое распространение получили неперетачиваемые твердосплавные пластины со стружкозавивающими канавками на передней поверхности.

В последнее время появились трех и четырехгранные пластины со сложной формой передней поверхности. Такие пластины расширяют диапазон эффективного дробления и завивания стружки на область малых глубин резания (0,5–0,8 мм) и более широкий интервал подач (0,25–0,3 мм/об). Применяется инструмент со стружколомом, жестко закрепленным на неподвижной оси чашечного резца [5].

Для исключения торцового биения на оси чашечного резца выполнен направляющий поясок, диаметр которого не превышает диаметр рабочей части оси.

Фрезы рекомендуется применять торцовые насадные со вставными ножами из быстрорежущей стали твердого сплава. Такая конструкция исключает напайку и заточку пластин твердого сплава, тем самым обеспечивая повышенную стойкость режущих кромок.

Инструмент для обработки отверстий – отверстия могут быть получены сверлением, растачивание, зенкерованием, фрезерованием. Литые отверстия сначала растачивают, т.к. уменьшается увод оси отверстия. При зенкерование используют инструмент с главным углом в плане равным или близким 90 градусам. При этом осевые силы меньше деформируют стержень инструмента.

Расточной инструмент – состоит из оправки и режущих элементов в виде резца или резцовой вставки. Он должен иметь небольшой допускаемый размерами отверстия диаметр, и наименьшую длину. Увеличение длины уменьшает жесткость и понижает производительность и качество поверхности.

Библиографический список

1. Ахлюстина, В.В. Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие / В.В. Ахлюстина, Э.Р. Логунова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 207 с.

2. Радкевич, Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для ВУЗов / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – М.: Высш. шк., 2004. – 767 с.

3. Сергеев, А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация / А.Г. Сергеев, М.В. Латышев, В.В. Терегея. – М.: «Логос», 2001. – 525 с.

4. Димов, Ю.В. Метрология. Стандартизация и сертификация / Ю.В. Димов. – СПб: «Питер», 2006. – 432 с.

5. Гречичников, В.А. Инструментальное обеспечение автоматизированного производства: учеб. для машиностроительных специальностей вузов / В.А. Гречичников, А.Р. Маслов, Ю.М. Соломенцев и др., под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высшая школа, 2001. – 271 с.

6. Ардашев, Д.В. Определение величины механического износа абразивных зерен при шлифовании / Д.В. Ардашев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Машиностроение». – 2014. – № 4. – С. 55–65.

7. Ардашев, Д.В. Прогнозирование величины износа абразивного зерна в результате физико-химического взаимодействия с обрабатываемым материалом / Д.В. Ардашев // СТИН. – 2014. – № 11. – С. 33–37.

8. Ардашев, Д.В. Определение износостойкости абразивного зерна при шлифовании на основе кинетической теории прочности / Д.В. Ардашев // Технологическое обеспечение машиностроительных производств: сб. трудов I Межд. заочн. научно-техн. конф. – 2013. – С. 260–267.

К содержанию

УДК 621.922 + 621.923.01

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПРОБЛЕМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

А.В. Попова, С.В. Тиль

В данной статье раскрыты проблемы проектирования операций шлифования в условиях современного производства: отсутствия рекомендаций по выбору количества ступеней цикла (стадий обработки), распределения припуска между ними, геометрических параметров круга (диаметра, высоты), режимов обработки.

Ключевые слова: внутреннее шлифование, структура цикла, режимы обработки, геометрические параметры и характеристика шлифовального круга.

Появления современных шлифовальных станков с ЧПУ, высокопроизводительного режущего инструмента, позволяющих производить обработку изделий на более высоких скоростях [1, 2], столкнуло современное машиностроение с рядом проблем. Рассмотрим данные проблемы на примере внутреннего шлифования, являющегося одним из распространенных видов чистовой обработки отверстий (составляет более 27 % от общего объема шлифовальных операций). Внутреннее шлифование позволяет обрабатывать отверстия в тех случаях, когда развертывание не может применяться (обработка точных отверстий больших диаметров, отверстий в закаленных деталях и т.п.).

Данный вид шлифования может обеспечить следующие параметры точности и качества обработки: 1) точности обработки отверстий находится в пределах 6–7 квалитета; 2) шероховатости обрабатываемой поверхности соответствует Ra 0,8–0,05 мкм.

Большинство современных станков имеют возможность производить высокопроизводительную обработку отверстий по заданным циклам. В состав большей части циклов внутришлифовальной обработки входят следующие элементы: ускоренный повод (отвод) круга; снятие чернового припуска; первое выхаживание; правка круга; снятие чистового припуска; второе выхаживание и др. В результате сочетания между собой данных элементов можно получить различные структуры циклов. Структура цикла оказывает значительное влияние на чистоту точность геометрической формы отверстий, на обеспечения надлежащих физико-механических свойств обрабатываемой поверхности и на производительность процесса внутреннего шлифования. Одним из спорных вопросов в процессе проектирования операции шлифования является определение количества стадий обработки (ступеней цикла) и распределению припуска между ними.

В советское время повышение производительности процесса механической обработки достигалось за счет деления процесса на две стадии обра-

ботки (черновую и чистовую) [1, 2, 3 и др.]. Разделение общей величину припуска по стадиям обработки производилось технологом на основании его знаний и опыта, так как точные рекомендации о соотношение черновой и чистовой части припуска в нормативно-справочной литературе отсутствуют (табл. 1).

Таблица 1

Соотношение черновой и чистовой части припуска

Вид обработки	Величина черновой части припуска в зависимости от суммарного припуска, %	Величина чистовой части припуска в зависимости от суммарного припуска, %	Источник
Внутреннее шлифование	60–70	30–40	[4]
	70–90	10–30	[5]
	45–55	5–15	[6]

На черновой ступени обработки принимали максимально возможные значения припуска и радиальной подачи, исходя из прочности и жесткости системы СПИД, мощности станках и других ограничивающих факторов. В процессе черновой обработке старались снять максимально возможный припуск за минимальное время на повышенных подачах. При этом на качество и точность обработанной поверхности, наличие прижогов не обращают внимания, считая, что данные параметры будут достигнуты на чистовой стадии обработки «по умолчанию». На черновых операциях не допускалось лишь появления неисправимого брака – трещин. Обработка на чистовой стадии происходит в зависимости от требований к точности и качеству при пониженных режимах резания. При этом происходило значительное увеличение основного времени на чистовом переходе операции.

«Условное деление» процесса обработки на черновые и чистовые стадии, несомненно, повышает точность и качества обработки, но при этом за счет увеличения вспомогательного времени и ввода дополнительных операций идет возрастание штучного времени. В массовом производстве данный момент компенсируется созданием поточных и особенно автоматических линий, с автоматизацией межоперационного контроля и транспортирования заготовок на конвейерах, исключающего необходимость складирования и межоперационного пролеживания заготовок. В серийном производстве с целью экономии материально-технических средств и времени вынуждены объединять черновые и чистовые переходы в один, теряя при этом точность, качество обрабатываемой поверхности.

В процессе проектирование внутришлифовальных операций обработки на предприятиях машиностроительной отрасли назначение режимов обработки производят по общемашиностроительным нормативам резания и нормативно-справочной литературы 70-х, 80-х годов, составленных для станков с ручным управлением и на основании статистических данных тех

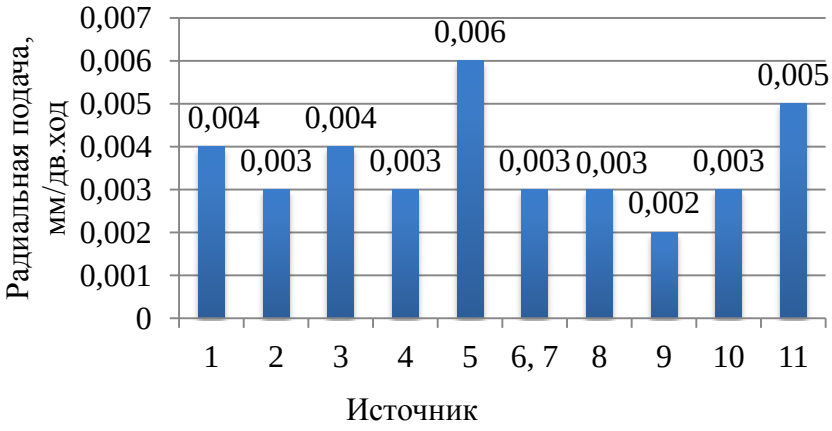
лет. Приведенные в них параметры режимов резания предназначены для расчета основного времени, а не для практического применения в процессе обработки. Необходимо также отметить следующие, данные по выбору режимов резания, приведенные в различной нормативно-справочной литературе, очень часто противоречат друг другу, так как составлялись на основании производственного опыта. На рис. приведен сравнительный анализ режимов резания, назначенных по следующим источникам (авторам): 1 – заводские данные (полученные методом подбора режимов резания); 2 – Барановский Ю.В., 1972 [6]; 3 – Кащук В.А., 1988 [7]; 4 – Баранчиков В.И., 1990 [8]; 5 – нормативы 1978 (2007) [9, 10]; 6 – Монахов Г.А., 1974 [11]; 7 – Панов А.А., 1988 [12]; 8 – Косилов А.Г., 1986 [13]; 9 – Ваксер Д.Б., 1967 [4]; 10 – Панкин В.А., Давидович Н.М., 1966 [14]; 11 – Акимов В.Л., 1986 [5]. Расчет режимов резания рассмотрен на пример детали – трубка распределительная П110Р.009 ОП. Исходные данные по рассматриваемой детали: 1) материала – Сталь 20ХГНМ ГОСТ 4543-71; 2) диаметр обрабатываемого отверстия – 24,7 Н14 мм; 3) длина обработки без учета перебегов круга – 150 мм; 4) шероховатость – Ra 0,8 мкм; 5) величина припуска – 2П = 0,2 мм; 6) оборудование – внутришлифовальный станок 3К227В.

Рассмотренная нормативно-справочная литература износилась физически, и достаточно устарела морально и, как следствие, не пригодна в условиях современного производства. В результате чего на предприятиях машиностроительной отрасли вынуждены подбирать режимные параметры внутришлифовальной обработки путем шлифования ряда пробных заготовок с ограниченной вариацией значений режимов резания. Процесс подбора режимов резания имеет ряд значительных недостатков: значительная затраты средств, времени на подбор режимов, требуемые качества и точность изделия не всегда достигаются, потеря производительности процесса обработки, нерентабельность для серийного и мелкосерийного типа производства из-за ограниченности количества заготовок и др.

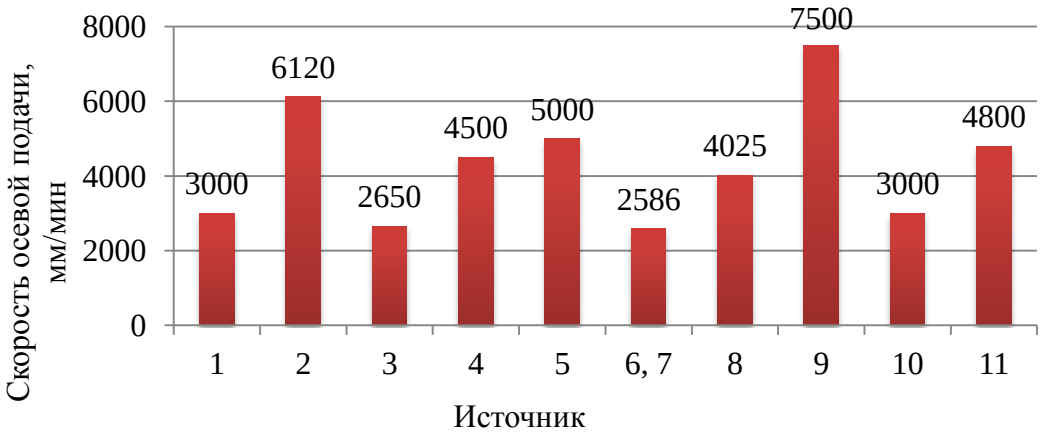
На данный момент практически отсутствуют теоретические разработки, позволяющие разрабатывать оптимальные управляющие программы для станков с ЧПУ для различных видов обработки. Существующие разработки уделяют моделированию силы резания и технологических ограничений, оказывающих на производительность процесса обработки.

Например, в работе [15], разработана методика совершенствования проектирования операций плоского шлифования. Данная методика является инженерным метод подбора режимов обработки, содержащих в себе ряд существенных недостатков: 1) отсутствуют модели точности формы и расположения поверхностей (невозможно производить ограничение скорости подачи по величине упругого отжатия); 2) отсутствует учет изменения условия обработки (степени затупления круга, исходного биения припуска заготовки, величины снимаемого припуска и др.); 3) не учитывается величина фактической скорости подач, из-за этого, неправильно рассчитывается количество ходов, необходимых для снятия заданной величины припуска на

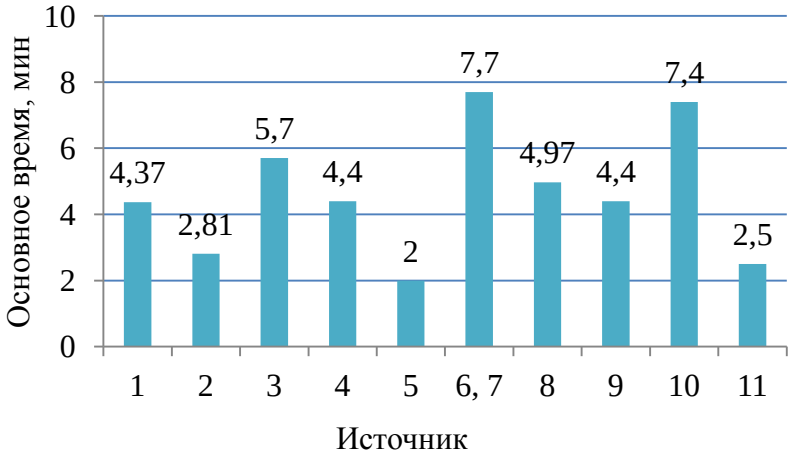
ступени; 4) формула времени рассчитывается без учета переходных процессов; 5) значительные затраты по времени на расчет для одной точки и т.д.



а)



б)



в)

Графики изменения основных параметров режимов резания в зависимости от методики расчета: а) изменения радиальной подачи в зависимости от методики расчета; б) изменения скорости осевой подачи в зависимости от методики расчета; в) изменения основного времени в зависимости от методики расчета

Внутренне шлифования является один из наиболее сложных процессов абразивной обработки, накладывающие ограничения на геометрические параметры шлифовального инструмента (диаметр и высота круга) и условия обработки (длина вылета шлифовального шпинделя, величина перебега). Рассмотрим более подробно рекомендации по выбору диаметра шлифовального круга.

Диаметр круга подбирается меньше чем диаметр обрабатываемого отверстия. В результате чего, в особенности при обработке отверстий небольших диаметра, условия работы внутришлифовального круга являются достаточно тяжелыми: наличие большой площади контакта круга с заготовкой способствует значительному теплообразованию в зоне обработке; закрытость зоны обработки приводит к трудностям с отводом тепла и подачей СОТС и т.д. Отвод тепла можно улучшить, увеличив значения продольной подачи, но из-за возрастания сил инерции движущихся масс это не всегда возможно сделать. Уменьшение поверхности контакта круга и заготовки у кругов небольших диаметров приводит к повышению давления на единицу площади круга. Вследствие, чего увеличивается величина снимаемого слоя металла и ухудшает шероховатость обрабатываемой поверхности. Внутришлифовальные круги небольших диаметров быстрее изнашиваются и выкрашиваются, так как абразивные зерна испытывают большую нагрузку из-за того, что более часто вступают в контакт с заготовкой.

Диаметр круга находиться в зависимости от диаметра обрабатываемого отверстия. На основании данных, представленных в табл. 2, можно сделать вывод, что единых рекомендаций по выбору диаметра внутришлифовального круга на данный момент в известных источниках не существует. Например, для обработки отверстия диаметром 100 мм может использоваться кругом диаметром от 70 до 90 мм. При этом длины дуги контакта изменяется в 2 раза, скорость круга в 1,3 раза.

Таблица 2

Отношение диаметра шлифовального круга к диаметру отверстия детали

Источник	Диаметр отверстия, мм						
	до 30	от 30 до 50	от 50 до 80	от 80 до 125	от 125 до 150	от 150 до 200	от 200 до 250
[15]	–	0,85–0,95	0,75 – 0,85			–	–
[4]	0,95	0,9		0,85–0,8	0,75	0,7	0,65
[6]	0,88–0,92	0,88–0,9	0,81–0,87	0,83–0,86	0,78	0,75	–
[7]	0,6–0,8						
[10]	0,7–0,9						
[17]	–	0,95	0,85–0,75			–	–
[18]	0,8–0,9						
[19]	–	0,95	0,85–0,75			≥ 0,5	
[20]	0,6–0,93		0,83				–
[14]	0,95	0,9	0,75–0,8				

На данный момент в известных источниках отсутствуют единые рекомендации по выбору количества стадий обработки (ступеней цикла), распределение припуска между ними, диаметра шлифовального круга. Информация по режимам резания, представленные в различной нормативно-справочной литературе, очень часто противоречат друг другу, так как составлялись на основании производственного опыта 60-х, 70-х годов и, как следствие, не пригодна в условиях современного производства

Для решения данных проблем на основе метода динамического программирования, впервые разработана методика оптимизации ступенчатых циклов обработки внутришлифовальной обработки. Разработанная методика оптимизации ступенчатых циклов внутреннего шлифования позволяет оперативно рассчитать оптимальные режимы резания, осуществить подбор оптимальных типоразмеров шлифовального круга (диаметр, ширина круга) и технических условий обработки (величина перебега круга, конструктивных параметров шлифовального шпинделя и др.) [21, 22, 23].

Библиографический список

1. Гаврилов, А.Н. Современное состояние и направления развития технологии машиностроения и приборостроения / А.Н. Гаврилов – М.: Машигиз, 1960. – 564 с.

2. Справочник металлиста. В 3 т. / под ред. И.С. Черкан. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машгиз, 1966. – 812 с.

3. Лоскутов, В.В. Шлифовальные автоматы и полуавтоматы / В.В. Лоскутов. – М: Машиностроение, 1959 – 292 с.

4. Ваксер, Д.Б. Внутреннее шлифование / Д.Б. Ваксер. – Л.: Машиностроение, 1967. – 99 с.

5. Акимов, В.Л. Внутреннее шлифование / В.Л. Акимов, В.А. Иванов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 128 с.

6. Режимы резания металлов: справочник / под ред. Ю.В. Барановского. – М.: Машиностроение, 1972. – 407 с.

7. Кащук, В.А. Справочник шлифовщика / В.А. Кащук, А.Б. Верешагин. – М.: Машиностроение, 1988. – 480 с.

8. Баранчиков, В.И. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: справочник / В.И. Баранчиков, А.В. Жаринов, Н.Д. Юдина, А.И. Садыхова. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.

9. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Часть 3. Протяжные, шлифовальные и доводочные станки. – М., 1978. – 360 с.

10. Режимы резания на работы, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках с ручным управлением и полуавтоматах: справочник / Д.В. Ардашев [и др.]. – Челябинск: Изд-во АТОКСО, 2007. – 384 с.

11. Обработка металлов резанием. Справочник технолога / под ред. Г.А. Монахова. – М.: Машиностроение, 1974. – 598 с.

12. Обработка металлов резанием: справочник технолога / под ред. А.А. Панова, В.В. Аникина, Н.Г. Бойм и др. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.

13. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 305 с.

14. Панкин, В.А. Современные внутришлифовальные станки / В.А. Панкин, Н.М. Давидович. – М.: Машиностроение, 1966. – 245 с.

15. Шипулин, Л.В. Проектирование операций плоского шлифования периферий круга на базе комплексного имитационного моделирования: дис. … кан. тех. наук / Л.В. Шипулин. – Челябинск, 2013. – 187 с.

16. Попов, С.А. Шлифовальные работы: учебник для СПТУ / С.А. Попов. – М.: Высшая школа, 1987. – 383 с.

17. Краткий справочник металлиста: справочник / под ред. П.Н. Орлова, Е.А. Скороходова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 960 с.

18. Альпирович, Т.А. Конструкция шлифовальных станков: учебник / Т.А. Альпирович, К.Н. Константинов, А.Я. Шапиро. – М.: Высшая школа, 1989. – 287 с.

19. Лоскутов, В.В. Шлифование металлов: учебник / В.В. Лоскутов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 243 с.

20. Лоскутов, В.В. Шлифование металлов: учебное пособие / В.В. Лоскутов. – М.: МАШГИЗ, 1956. – 351 с.

21. Переверзев, П.П. Аналитическое моделирование взаимосвязи силы резания при внутреннем шлифовании с основными технологическими параметрами / П.П. Переверзев, А.В. Попова // Металлообработка. – 2013. – № 3. – С. 24–30.

22. Переверзев, П.П., Аналитическое моделирование взаимосвязи силы резания при внутреннем шлифовании с упругими деформациями технологической системы / П.П. Переверзев, А.В. Попова, Д.Ю. Пименов // СТИН. – 2014. – Вып. 9. – С. 23–27.

23. Попова, А.В. Принципы проектирования высокопроизводительных циклов на примере внутреннего шлифования / А.В. Попова // СТИН. – 2014. – № 6. – С. 17–23.

К содержанию

УДК 378.44 + 514.18

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПРЕПОДАВАНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА СТАНДАРТЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Л.А. Силаева

В статье рассмотрены нетрадиционные методы преподавания графических дисциплин, заключающиеся в использование компьютерных программ, видеофильмов, мультимедийных фильмов.

Ключевые слова: профессиональное обучение; компьютеризация обучения; учебная визуализация; средства мультимедиа, компьютерные технологии; начертательная геометрия.

При переходе на Федеральный государственный образовательный стандарт (ФГОС), так называемый стандарт третьего поколения, преподаватели вузов столкнулись с проблемой значительного сокращения аудиторных часов преподаваемых дисциплин при сохранении, как правило, прежнего объема учебного материала. Это вызвано тем, что подготовка инженера всегда велась в течение 5-ти лет (по отдельным специальностям и более), а в современных реалиях необходимо подготовить технического специалиста – бакалавра, за 4 года. Это привело к тому, что значительная часть учебного материала была выведена на самостоятельную работу студентов. Такой подход к планированию учебного процесса может негативно отразиться на качестве и результативности обучения студентов младших курсов, так как в школе они привыкли к тому, что изучаемый материал осваивается на уроках под контролем учителя. Процесс обучения осложняется также тем, что на первом курсе студенты сталкиваются с проблемой социальной адаптации к условиям вуза.

Какие же образовательные технологии необходимо применять преподавателям при организации образовательного процесса в сложившихся условиях, когда в результате перехода на ФГОС происходит сокращение аудиторных часов?

По-прежнему остается актуальным применение традиционных форм организации образовательной деятельности (лекции, семинары, практические занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа). Методы обучения (упражнение, инструктаж, выполнение учебных проектов, проектно-организованная работа, организация профессионально-ориентированной учебной работы студента). Так как использование традиционных информационно-развивающих технологий обучения, базирующихся на объяснительном принципе, направлено на формирование системы знаний, умений и навыков, их максимальное обогащение, запоминание и свободное оперирование ими, что особенно важно при работе с первым курсом.

Помимо традиционных технологий обучения необходимо вводить и продуктивные (активные), смещающие акцент с обучения под руководством преподавателя на самообучение и самообразование. Это проблемные лекции и семинары, экскурсии и студенческие конференции. А также учебные дискуссии, деловые игры, организация коллективной мыслительной деятельности, проектно-организованная работа в малых группах [1].

Использовать в учебном процессе для передачи информации компьютерные средства. Их применение позволяет повысить эффективность и разнообразить приемы традиционных педагогических требований, усилить самостоятельную работу студентов. Компьютерные обучающие системы могут значительно активизировать работу обучаемых, повысить их заинтересованность.

Одной из базовых дисциплин при подготовке специалистов технического профиля является «Начертательная геометрия и инженерная графика». Основные цели изучения этой дисциплины сводятся к развитию пространственного представления и воображения, конструктивно-геометрического мышления, способностей к анализу пространственных форм и отношений, изучению способов конструирования различных геометрических пространственных объектов. Способов получения их чертежей на уровне графических моделей и умению решать на этих чертежах задачи, связанные с пространственными объектами.

Традиционно считается, что начертательная геометрия является одной из сложных дисциплин в вузе. В значительной мере это связано с весьма поверхностными знаниями абитуриентов и недостатками процесса обучения черчению в школе.

Практический опыт показывает, что данная дисциплина не воспринимается студентами первого курса, как необходимая в дальнейшей деятельности и учебной и производственной. Это связано, в первую очередь с тем, что рассматриваемые графические элементы (точка, прямая, плоскость, поверхность) формирующие объект проектирования (деталь) располагаются где-то в виртуальном пространстве. Отображение их на реальной плоскости, и все преобразования, выполняемые над ними, никак не связаны с реальным объектом или задачей, даже если преподаватель приводит конкретные примеры применения этого в реальных задачах. То есть складывается ощущение, что уровень абстрактного представления графических элементов располагается выше, чем уровень абстрактного мышления большинства студентов первого курса.

Во- вторых, студент первого курса не владеет информацией о том, что он будет изучать на последующих курсах, а следовательно, он просто не может знать в первом семестре где и когда эти знания могут пригодиться, и пригодятся ли они вообще. То есть, получается, что эта дисциплина как бы не связана с другими дисциплинами в конкретном семестре на прямую, что влечет за собой непонимание студентами ее необходимости.

Рассмотрим возможности повышения качества усвоения материала по начертательной геометрии студентами первого курса в настоящем и будущем времени.

Можно выделить два вида обучения [1]:

• традиционное (преподаватель у доски с инструментом);

• компьютерное (использование видеофильмов, мультимедийных фильмов, дополнительных программных систем и т.п.).

Традиционное обучение, при нынешнем развитии техники вроде как устарело, так как требуется в сжатые сроки выдать большой объем информации и проверить качество усвоения его студентами. А времени катастрофически не хватает. Обучение с использованием компьютерных систем позволяет в короткие сроки выдать большой объем информации, провести текущую и итоговую оценку усвоения материала студентами.

В настоящее время самым логичным и оптимальным подходом в обучении студентов начертательной геометрии будет использование обоих видов обучения, традиционным способом и с применением компьютерных систем, так как и тот и другой вид обучения обладает определенными достоинствами и недостатками.

Лекция является одним из видов преподавания, на которой педагог-лектор излагает изучаемый материал в виде последовательно-связанного рассказа. Основная цель лекции – формирование ориентировочной основы для последующего усвоения студентами учебного материала.

В учебном процессе лекция выполняет следующие функции [2]:

• информационную (дает студентам необходимые сведения);

• стимулирующую (пробуждает интерес к теме);

• развивающую (дает оценку явлениям, развивает мышление);

• воспитывающую;

• ориентирующую (в проблеме, в литературе);

• разъясняющую и убеждающую (с акцентом на системе доказательств).

Однако наряду с положительными факторами лекции имеют и ряд недостатков:

• приучают к пассивному восприятию чужих мнений, тормозят самостоятельное мышление, и чем лучше лекция, тем эта вероятность больше;

• не все слушатели лекционного курса успевают осмыслить преподаваемый материал.

Благодаря возможностям компьютерных программ мы можем рассмотреть любую мельчайшую деталь, изменить способ отображения модели на экране, придать ей прозрачность или превратить в каркас. В процессе работы можно выполнить множество операций, экспериментируя с моделью. Обучающийся имеет возможность рассмотреть объект со всех сторон, рассечь, объединить с другой моделью, переместить и пр.

Поэтому, на этапе введения слушателей в новый раздел, тему, дисциплину наряду с общепринятой обзорной лекцией можно использовать лекцию-визуализацию. Преподаватель изменяет, переконструирует учебную информацию по теме лекционного занятия в визуальную форму для представления студентам через технические средства обучения или вручную (схемы, рисунки, чертежи и т.п.). Чтение лекции сводится к связному, развернутому комментированию преподавателем подготовленных наглядных материалов, полностью раскрывающих тему данной лекции. Например, при чтении лекции на тему «Пересечение двух многогранников» в курсе «Начертательная геометрия» лектору необходимо донести до студентов мысль, что весь окружающий нас материальный мир имеет геометрические формы, ограниченные различными поверхностями. Необходимо видеть эти поверхности, чтобы изображать их на чертежах. Показать слайд (рис. 1) с примером пересечения двух многогранников на эпюре.

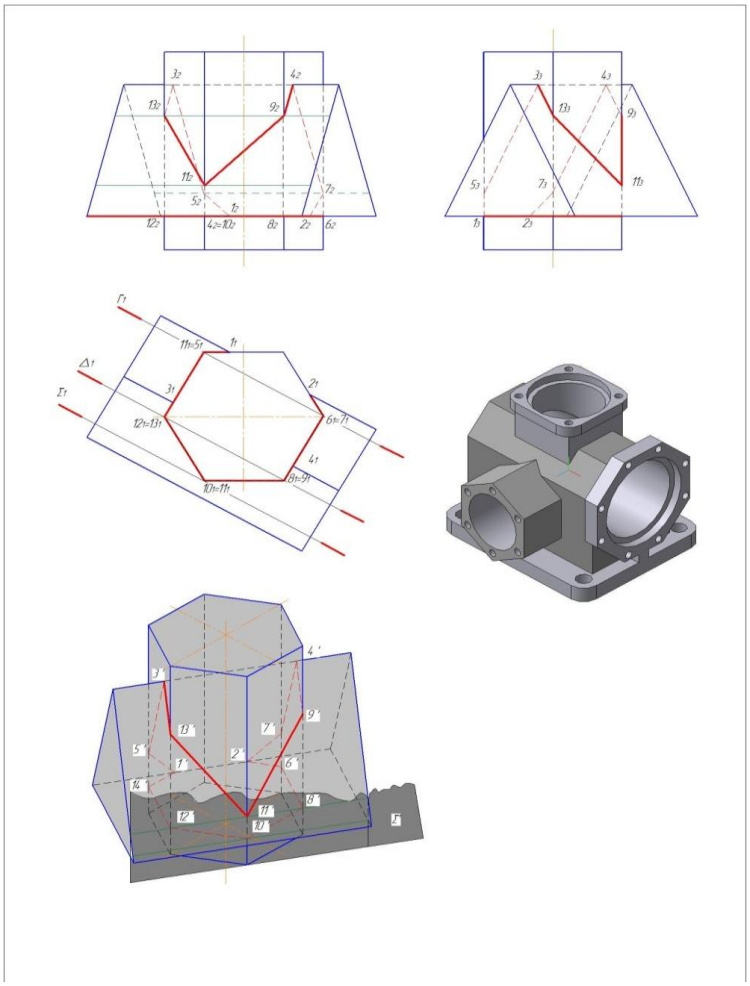


Рис. 1. Пересечение двух многогранников

Или рассказывая студентам о поверхностях вращения, показать слайд с эпюром этих поверхностей использование этих поверхностей в конструкции (рис. 2).

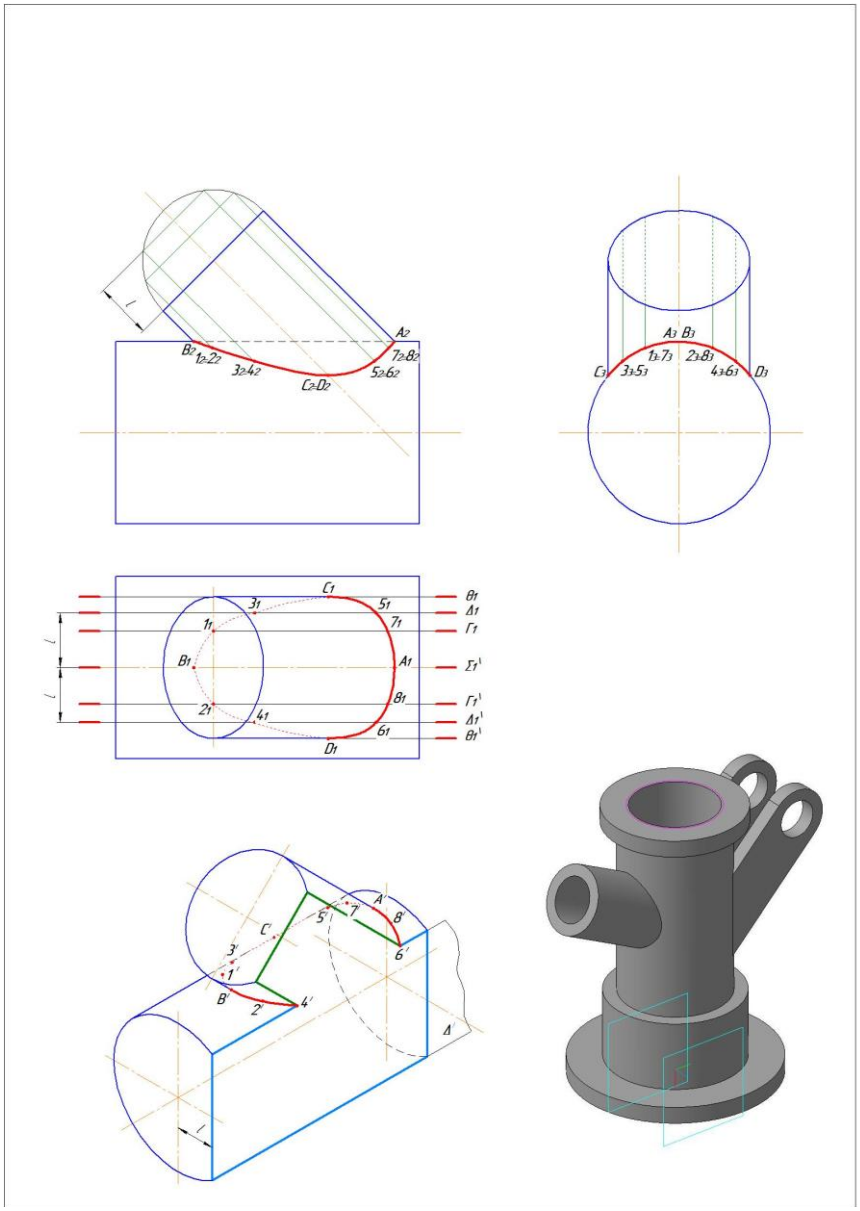


Рис. 2. Пересечение поверхностей вращения

Предложить студенту найти такие поверхности в конструкциях машиностроительных деталей, в конструкциях здания и т.д.

Лекция – визуализация способствует созданию проблемной ситуации, которая создает психологическую установку на изучение материала, развитие навыков наглядной информации в других видах обучения.

В конце лекции в пределах 5–10 минут можно провести коллоквиум, на предмет освоения студентом лекционного материала как в компьютерном варианте, так и на бумажном носителе. Использование такого метода обя-

зывает студента более внимательно слушать и конспектировать лекцию. Принимать активное участие в обсуждении проблемных вопросов данной лекции. По результатам ответов преподаватель анализирует степень и качество усвояемости материала. И обращает внимание студентов на самостоятельную проработку данного материала.

Для самостоятельной части блока можно применить проблемную лекцию, которая начинается с вопросов, с постановки проблемы, которую в ходе изучения материала необходимо решить, она строится таким образом, что познания слушателя приближаются к поисковой, исследовательской деятельности. Таким образом, этот вид лекций активизирует учебно-познавательную деятельность студентов, их самостоятельную аудиторную и внеаудиторную работу, усвоение знаний и применение их на практике.

Таким образом, организация учебного процесса для студентов первого курса требует особых подходов к проведению лекций, практических занятий, организации самостоятельной работы. Сокращение числа аудиторных часов, отводимых на изучение предмета, с перенесением их на самостоятельную работу студентов, повышает роль лекций, практических и лабораторных занятий и вместе с тем поднимает ответственность преподавателей при подготовке к ним. Используемые нами методы позволяют студентам в дальнейшем применять полученные знания на практике, проявлять творческие способности, самостоятельность и индивидуальность, получать навыки анализа данных и выработки решения.

Библиографический список

1. Авдеюк, О.А. Проблема адаптации студентов к условиям вуза и помощь преподавателя в ее решении / О.А. Авдеюк, Е.Н. Асеева, И.А. Тарасова // В мире научных открытий. Серия Гуманитарные и общественные науки. – 2011. – № 4.1(16). – С. 405–408.

2. Вехтер, Е.В. Формирование творческих способностей у студентов инженерных вузов в процессе изучения графических дисциплин / Е.В. Вехтер, Г.Ф. Винокурова, Л.А. Скачкова // Совершенствование подготовки учащихся и студентов в области графики, конструирования и стандартизации: межвуз. научно-метод. сб. – Саратов: Саратовский гос. техн. ун-т, 2010. – С. 158–162.

К содержанию

УДК 378.22 + 514.18

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Л.А. Силаева

В статье рассмотрено использование компьютерной программы Kompas-3D при выполнении графических работ по «Инженерной графике».

Ключевые слова: профессиональные компетенции, компьютеризация обучения, визуализация, средства мультимедиа, начертательная геометрия, инженерная графика.

Графическая подготовка будущих инженеров осуществляется на протяжении всего процесса обучения. Однако базовые графические компетенции закладываются на первом-втором курсе, в процессе изучения дисциплины «Инженерная графика», и закрепляются на специальных дисциплинах, при выполнении курсовых и дипломного проектирования.

Графические компетенции является основой для дальнейшего формирования профессиональной компетентности инженера-техника, проектировщика, технолога, нормативного контроллера. Изучение дисциплин графического цикла позволяет студентам приобрести важнейшие профессиональные знания и навыки в области выполнения, оформления проектно-конструкторской документации.

В дисциплины графического цикла включаются «Начертательная геометрия», «Инженерная графика». Эти дисциплины изучаются в течение первого-второго учебных семестров и связаны в единую цепь непрерывной подготовки. На каждом этапе обучения решаются определённые педагогические задачи.

На первом этапе в курсе «Начертательной геометрии» изучаются теоретические основы черчения: методы построения изображений пространственных фигур на плоскости, способы решений геометрических задач, относящихся к этим формам, выполнение чертежей, в соответствии с правилами оформления конструкторской документации (ЕСКД), овладение навыками обращения со справочной литературой и ознакомление с современными методами и средствами автоматизации. Учебный курс способствует развитию образного, пространственного, логического и алгоритмического мышления, формирует навыки планирования учебной деятельности, ритмичной самостоятельной работы. Студент должен выполнять геометрические построения, мысленно представлять пространственный образ объекта по его проекциям, оформлять чертежи в соответствии со стандартами. На этом этапе объектом изучения являются преимущественно пространственные объекты.

Второй раздел называется «Инженерная графика». Цель изучения – освоение компетенций, связанных с разработкой и оформлением проектной документации. Научить студента «читать чертёж», мысленно воссоздавать объёмный образ объекта по его плоским изображениям. Студент знакомиться с отраслевыми стандартами оформления чертежей и с основами пространственного моделирования.

Развитие компьютерной техники определило необходимость использования компьютерных технологий в инженерно-графической подготовке. Однако, компьютеры на первом этапе, при изучении «Начертательной геометрии» не должны заслонять собой дисциплину. Их неразумное использование поможет рукам, но нанесет огромный вред голове. Поэтому все графические работы и практические задачи выполняются студентом в ручную карандашом с использованием чертежных принадлежностей. На первом этапе компьютер используется преподавателем при чтении лекций для демонстрации слайдов и использование его как инструмент «электронный кульман», который помогает в усвоении материала.

На втором этапе при изучении «Инженерной графике», наоборот предлагается студенту широко использовать компьютер, выполняя чертежи в графическом редакторе.

В учебном процессе студент изучает графический редактор Компас-3D. Эта система трехмерного моделирования, имеющая широкий выбор отраслевых приложений. Свой успех на российском рынке имеет благодаря простоте освоения и работе, полной поддержке российских стандартов. Компас-3D позволяет выполнять твердотельное, поверхностное и параметрическое моделирование, с последующим автоматическим получением документации.

При выполнении задания «Проекционное черчение», студент получает в электронном виде четыре индивидуальные карты рис. 1, на которых он должен выполнить определенный объем работы, указанный в задании для каждой карты. Студенту разрешается использовать оригинал выданной карты в электронном виде для выполнения задания, что значительно сокращает время на выполнение работы, т.к. отпадает необходимость перечерчивания условий.

На рис. 2 показан пример выполненной работы «Проекционное черчение».

Для выполнения задания «Резьбовые изделия и их соединения», студенту частично разрешается выполнять работу в графическом редакторе с использованием компьютерной библиотеки. Например, в соединение болтом рис. 3, студент делает расчет длины болта и выбирает болт, гайку, шайбу из электронной библиотеки. Это дает возможность студенту ознакомиться с содержанием электронной библиотеки и правилами ее использования.

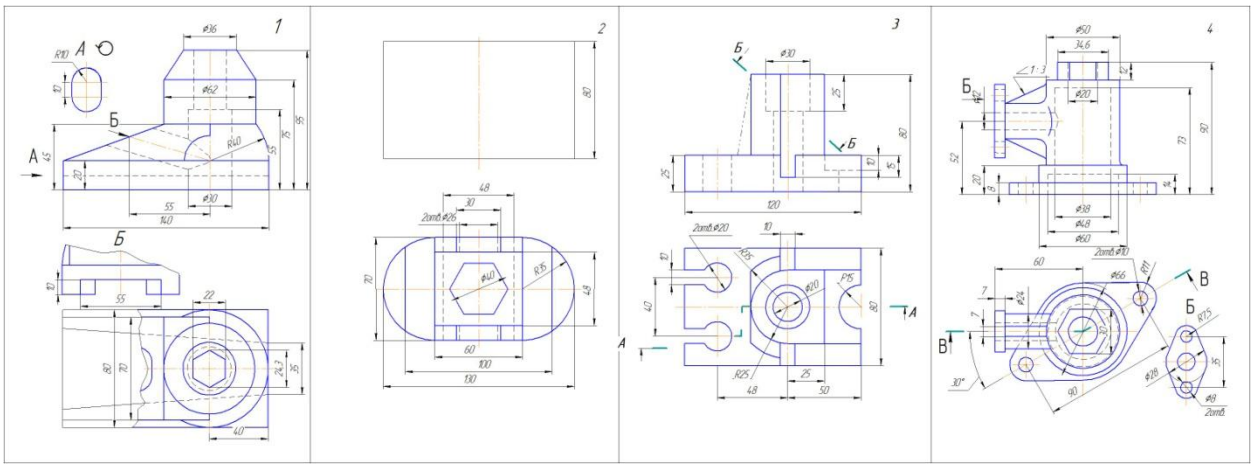


Рис. 1. Образец с исходными данными задания «Проекционное черчение»

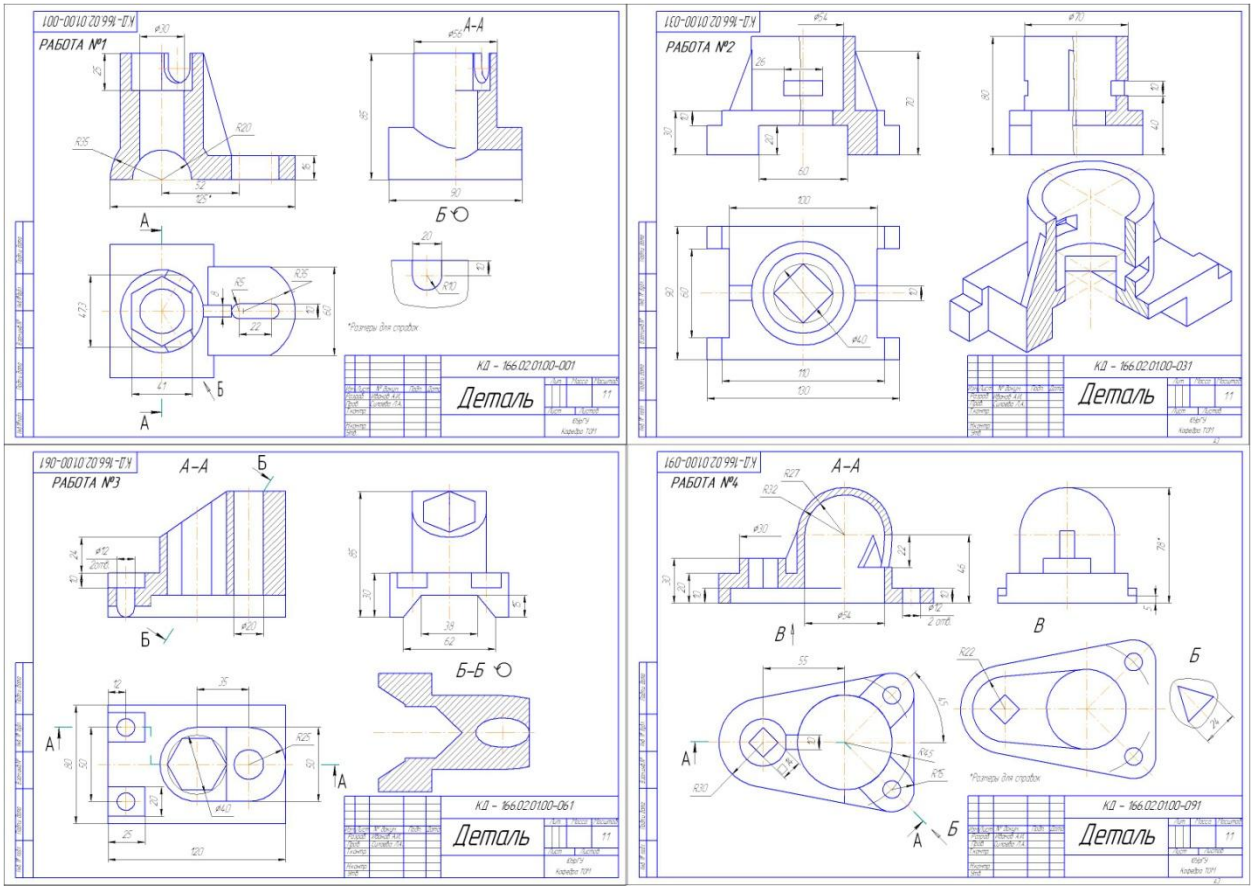


Рис. 2. Образец выполнения задания «Проекционное черчение»

На втором курсе студент выполняет три задания, остановимся на выполнении сборочного чертежа по описанию работы узла и чертежам деталей, входящим в сборку и составление спецификации. На данном этапе у студента возникают определенные трудности выполнения сборочного чертежа по описанию. Поэтому предлагается выполнить для визуализации

сборку трехмерной твердотельной модели рис. 4. Студент знакомится и осваивает построение трехмерной твердотельной модели, которая заключается в последовательном выполнении операций объединения, вычитания и пересечения над простыми объемными элементами (призмы, цилиндры, пирамиды и т.д.), из которых и состоит большинство механических деталей. Многократно выполняя эти простые операции над различными объемными элементами, можно построить сложную модель.

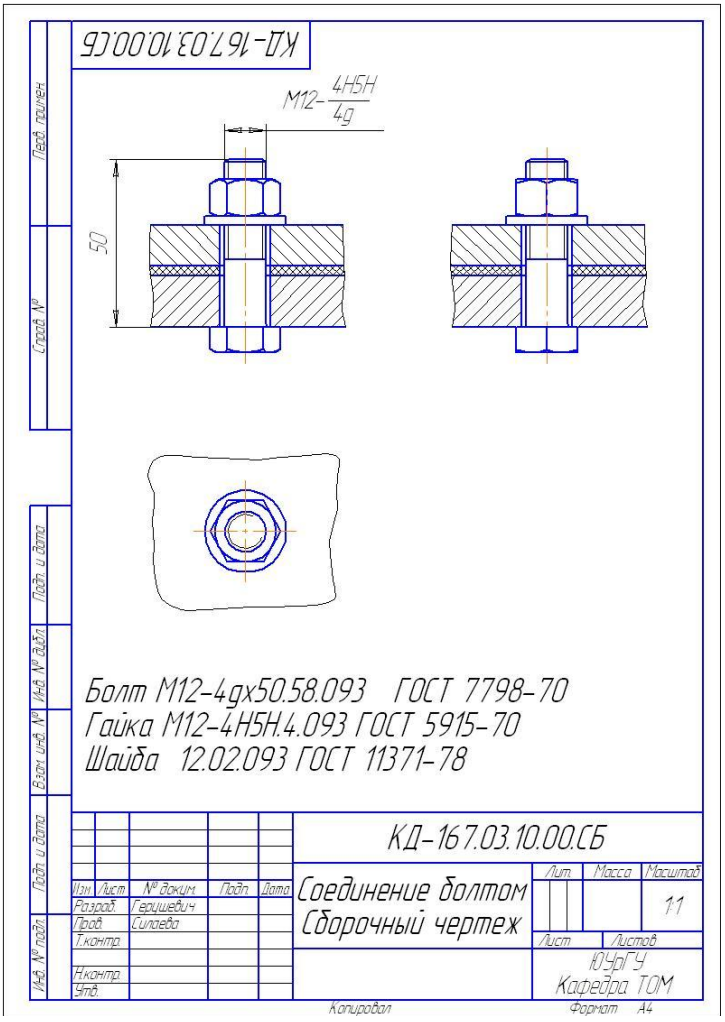


Рис. 3. Выполнение соединения болтом

Трехмерные сборки представляют собой модели, включающие в себя детали, подсборки и стандартные изделия. Сборки можно создавать методами проектирования «снизу вверх» и «сверху вниз». В первом случае вначале создаются отдельные компоненты, которые затем добавляются в сборку и точно позиционируются друг относительно друга с помощью специальных команд (сопряжений). Во втором случае компоненты сразу создаются на нужном месте в контексте сборки.

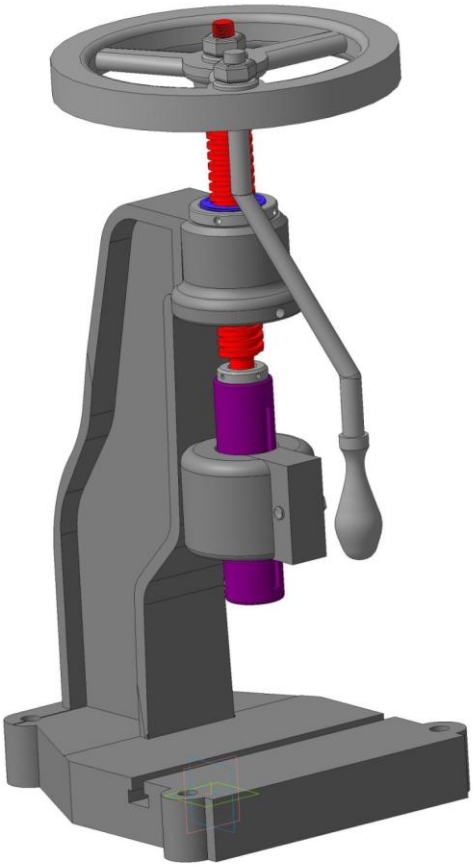


Рис. 4. Пресс винтовой

В ходе проведенной работы были достигнуты следующие результаты: студент изучил программу, позволившую проектировать любую деталь и видеть её в трёхмерном изображении. Это помогает не только развить пространственное воображение, а так же в случае затруднений с чтением чертежа незамедлительно устранить трудности с помощью данной программы.

К содержанию

УДК 744.3

ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СБОРОЧНОГО ЧЕРТЕЖА В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Л.А. Силаева, Е.Д. Чудинова

В статье исследованы способы облегчения чтения и создания сборочного чертежа для студентов первого курса с применением компьютерной графики. При решении задачи используется метод визуализации. Для создания визуальной модели, изучена и использована графическая программа «Компас 3D V13».

Ключевые слова: трехмерная твердотельная модель, операции в графической системе, сборка в 3D.

Чтение чертежа является основой для будущего инженера. На чертеже при правильном его понимании можно прочитать всю необходимую информацию для дальнейшей работы с деталями и сборками моделей. Часто перед студентами технических вузов встает проблема чтения чертежа и его визуального представления. Не имея навыков, бывает довольно трудно выделить из общего чертежа, одну необходимую для дальнейшей работы деталь. Для этого нужно иметь хорошо развитое пространственное воображение. Студенты первого курса, сталкиваются с этой проблемой, именно поэтому решено исследовать эту проблему и найти решение с целью более точного и эффективного изучения такой дисциплины как «инженерная графика».

Учитывая информационные достижения на сегодняшний день, наиболее рациональным было решение прибегнуть к помощи компьютерных программ. Для решения данной задачи выбрали программу «Компас 3D V13». В конечном счете, перед студентами появились следующие задания: изучить программу, научиться в ней работать и в итоге достигнуть цели – применить программу для решения данной проблемы.

В системе КОМПАС-3D трехмерную модель можно построить с использованием двух технологий: моделирование твердых тел и поверхностное моделирование. Их совместное использование позволяет решать самые разнообразные конструкторские задачи.

Построение трехмерной твердотельной модели заключается в последовательном выполнении операций объединения, вычитания и пересечения над простыми объемными элементами (призмы, цилиндры, пирамиды и т.д.), из которых и состоит большинство механических деталей. Многократно выполняя эти простые операции над различными объемными элементами, можно построить сложную модель.

Технология поверхностного моделирования позволяет создавать изделия сложной формы. Поверхности можно создавать разными способами.

Обычно вначале создаются пространственные сетки кривых, на основе которых формируются отдельные участки поверхности изделия. В процессе построения поверхности плавно сопрягаются друг с другом и сшиваются, образуя единую сложную поверхность.

Поверхностной модели можно придать толщину, превратив ее в твердотельную модель. В таком случае принято говорить о гибридном моделировании.

Особый вид моделирования представляют детали, изготавливаемые методом гибки из стального листа. Они создаются как твердые тела с помощью специальных команд для работы с листовыми деталями.

Трехмерные сборки представляют собой модели, включающие в себя детали, подсборки и стандартные изделия. Сборки можно создавать методами проектирования «снизу вверх» и «сверху вниз». В первом случае вначале создаются отдельные компоненты, которые затем добавляются в сборку и точно позиционируются друг относительно друга с помощью специальных команд (сопряжений). Во втором случае компоненты сразу создаются на нужном месте в контексте сборки.

Дополнительные внешние модули (библиотеки) подключаются к системе по мере необходимости и обеспечивают решение прикладных задач – расчет и построение механических передач, анимация механизмов, построение трубопроводов, проектирование металлоконструкций и т.д.

КОМПАС-3D – это программа для операционной системы Windows. Поэтому ее окно имеет те же элементы управления, что и другие Windows-приложения.

Главное окно системы [1]

Заголовок расположен в самой верхней части окна. В нем отображается название программы, номер ее версии и имя текущего документа.

Главное *меню* расположено в верхней части программного окна, сразу под заголовком. В нем расположены все основные меню системы. В каждом из меню хранятся связанные с ним команды.

Стандартная панель расположена в верхней части окна системы под Главным меню. На этой панели расположены кнопки вызова стандартных команд операций с файлами и объектами [1].

На панели *Вид* расположены кнопки, которые позволяют управлять изображением: изменять масштаб, перемещать и вращать изображение, изменять форму представления модели.

Панель *Текущее состояние* находится в верхней части окна сразу над окном документа. Состав панели определяется режимом работы системы. Например, в режимах работы с чертежом, эскизом или фрагментом на ней расположены средства управления курсором, слоями, привязками и т.д.

Компактная панель [1] находится в левой части окна системы и состоит из Панели переключения и инструментальных панелей. Каждой кнопке

на Панели переключения соответствует одноименная инструментальная панель. Инструментальные панели содержит набор кнопок, сгруппированных по функциональному признаку. Состав панели зависит от типа активного документа.

Расширенные панели команд. Кнопки вызова команд сгруппированы по назначению и представлены на инструментальной панели кнопкой одной команды из группы. При нажатии кнопки команды и удержании ее в нажатом состоянии рядом с кнопкой появляется расширенная панель, включающая в себя все команды данной группы. Кнопки, позволяющие вызвать расширенную панель команд, отмечены маленьким черным треугольником в правом нижнем углу.

Панель свойств служит для управления процессом выполнения команды. На ней расположены одна или несколько вкладок и Панель специального управления.

Строка сообщений располагается в нижней части программного окна. В ней появляются различные сообщения и запросы системы. Это может быть: краткая информация о том элементе экрана, к которому подведен курсор; сообщение о том, какие нужно вводить данные; краткая информация по текущему действию, выполняемому системой.

Контекстная панель отображается на экране при выделении объектов документа и содержит кнопки вызова наиболее часто используемых команд редактирования. Набор команд на панели зависит от типа выделенного объекта и типа документа.

Контекстное меню – меню, состав команд в котором зависит от совершаемого пользователем действия. В нем находятся те команды, выполнение которых возможно в данный момент. Вызов контекстного меню осуществляется щелчком правой кнопки мыши на поле документа, элементе модели или интерфейса системы в любой момент работы.

Дерево модели – это графическое представление набора объектов, составляющих модель. Корневой объект Дерева – сама модель, т.е. деталь или сборка. Пиктограммы объектов автоматически возникают в Дереве модели сразу после создания этих объектов в модели. В окне Дерева отображается либо последовательность построения модели (слева), либо ее структура (справа). Способом представления информации можно управлять с помощью кнопки Отображение структуры модели на Панели управления Дерева модели.

Для создания объемных элементов и самых простых поверхностей используется перемещение плоских фигур в пространстве. Плоская фигура, в результате перемещения которой образуется объемное тело или поверхность, называется эскизом, а само перемещение – операцией.

Эскизы. Эскиз может располагаться на одной из стандартных плоскостей проекций, на плоской грани созданного ранее элемента (или поверх-

ности) или на вспомогательной плоскости. Эскизы создаются средствами модуля плоского черчения и состоят из одного или нескольких контуров.

Операции. Система КОМПАС-3D располагает разнообразными операциями для построения объемных элементов и поверхностей, четыре из которых считаются базовыми.

Операция выдавливания. Выдавливание эскиза перпендикулярно его плоскости.

Операция вращения. Вращение эскиза вокруг оси, лежащей в его плоскости.

Кинематическая операция. Перемещение эскиза вдоль направляющей

Операция по сечениям. Построение объемного элемента или плоскости по нескольким эскизам (сечениям).

Для четырех базовых операций, добавляющих материал к твердотельной модели, существуют аналогичные операции, вычитающие материал.

Операции имеют дополнительные возможности (опции), которые позволяют изменять или уточнять правила построения объемного элемента. Например, если в операции выдавливания прямоугольника дополнительно задать величину и направление уклона, то вместо призмы будет построена усеченная пирамида.

Такие же опции доступны при создании простых поверхностей.

Создание трехмерной твердотельной модели заключается в многократном добавлении или вычитании объемов. Примерами добавления объема могут быть различные бобышки, выступы, ребра, а примерами вычитания объема – отверстия, проточки, канавки, пазы.

При создании трехмерных поверхностных моделей, кроме упомянутых выше четырех простых типов поверхностей, можно использовать более сложные поверхности: линейчатые, поверхности по сети кривых, по сети точек и т.д. Дополнительные команды позволяют изменять построенные поверхности или создавать на основе существующих поверхностей новые: продлевать и усекать поверхности, строить эквидистанты к поверхностям и т.д.

Построение детали начинается с создания *основания*. Построение основания начинается с создания его плоского эскиза. Как правило, для построения эскиза основания выбирают одну из стандартных плоскостей проекций.

Выбор плоскости для построения эскиза основания не влияет на дальнейший порядок построения модели и ее свойства. От этого зависит положение детали в пространстве при выборе одной из стандартных ориентаций.

- В Дереве модели раскройте «ветвь» *Начало координат* щелчком на значке слева от названия ветви, и укажите Плоскость XY (фронтальная плоскость). Пиктограмма плоскости будет выделена цветом.

- Нажмите кнопку *Эскиз* на панели *Текущее состояние*. Система перейдет в режим редактирования эскиза, Плоскость XY станет параллельной экрану.
- Нажмите кнопку *Геометрия* на *Панели переключения*. Ниже откроется одноименная инструментальная панель.
- Нажмите кнопку *Прямоугольник* на панели *Геометрия.*
- Начертите небольшой прямоугольник так, чтобы точка начала координат эскиза оказалась внутри прямоугольника. Для построения достаточно указать две точки на любой из диагоналей, например точки 1 и 2.

Привязки – механизм, позволяющий точно задать положение курсора, выбрав условие его позиционирования (например, в ближайшей характерной точке объекта, в его середине, на пересечении двух объектов и т.д.). Управлять привязками удобно с помощью специальной панели *Глобальные привязки.*

- Выполните команду Вид – Панели инструментов.
- В Меню панелей укажите Глобальные привязки. На экране появится панель Глобальные привязки.
- Перетащите панель мышью за заголовок на свободное место над окном документа.
- Нажмите кнопку *Отрезок* на панели *Геометрия*.
- Постройте диагональ прямоугольника – с помощью привязки *Ближайшая точка* укажите две вершины прямоугольника. Для этого подведите курсор к вершине прямоугольника. На экране отобразится название привязки, а в указанной точке появится значок, свидетельствующий о срабатывании привязки. Нажмите левую кнопку мыши и точка, отмеченная значком, будет зафиксирована. Аналогично укажите вторую вершину.
- Нажмите кнопку *Прервать команду* на *Панели специального управления*.
- Измените стиль линии диагонали с Основная (синяя линия) на Тонкая (черная линия).
- На панели *Глобальные привязки* отключите привязку *Выравнивание*, включите привязки *Середина* и *Угловая.*
- Нажмите кнопку *Точка*.
- С помощью привязки *Ближайшая точка* постройте точку на середине диагонали.
- Нажмите кнопку *Параметризация* на *Панели переключения* и *кнопку Объединить точки* на *Расширенной панели* команд параметризации точек.
- Укажите начало координат эскиза и точку на диагонали прямоугольника. Центр прямоугольника переместится в точку начала координат.
- Нажмите кнопку *Авторазмер* на инструментальной панели *Размеры.*

- Укажите мишенью верхний горизонтальный отрезок, задайте положение размерной линии.
- В поле *Выражение* диалогового окна *Установить значение* размера введите значение 34 мм и нажмите кнопку ОК.
- Постройте вертикальный размер и присвойте ему значение 56 мм.
- Закройте эскиз. Для этого нажмите кнопку *Эскиз* еще раз.
- Нажмите кнопку *Операция выдавливания* на панели *Редактирование детали.*
- Введите число 16. Значение попадет в поле *Расстояние 1* на *Панели свойств*. Это результат работы режима Предопределенного ввода параметров.
- Нажмите клавишу <Enter> для фиксации значения.
- Нажмите кнопку *Создать объект* на Панели специального управления – будет построено основание детали.

Редактирование эскизов и операций

- Можно отредактировать изображение в любом эскизе, например, чтобы исправить допущенную ошибку, изменить значение размера или отредактировать контур.
- Прекратите работу текущей команды щелчком на кнопке *Прервать команду.*
- В *Дереве модели* укажите эскиз, который нужно отредактировать.
- Выполните на *Контекстной панели* команду *Эскиз.* Система перейдет в режим редактирования эскиза.
- Внесите в эскиз нужные изменения.
- Выйдите из режима редактирования эскиза. Для этого нажмите кнопку *Эскиз* на панели *Текущее состояние*. Формообразующий элемент и созданные на его основе элементы перестроятся в соответствии с новым начертанием контура в эскизе.

Редактирование операций

- Можно изменить параметры любой операции.
- В *Дереве модели* укажите операцию, которую нужно отредактировать.
- Выполните на *Контекстной панели* команду *Редактировать* объект. На Панели свойств появятся те же поля и переключатели для задания параметров операции, что и при построении объекта.
- Отредактируйте нужные параметры.
- Выйдите из режима редактирования операции. Для этого нажмите кнопку *Создать объект* на *Панели специального управления.* Модель будет перестроена в соответствии с новыми параметрами отредактированного объекта.

Сборка в КОМПАС-3D – трехмерная модель, объединяющая модели деталей, подсборок и стандартных изделий, а также информацию о взаимном положении компонентов.

Пользователь задает состав сборки, добавляя в нее новые компоненты или удаляя существующие. Модели компонентов хранятся в отдельных файлах на диске. В файле сборки хранятся только ссылки на компоненты.

Изделие можно собрать из отдельных деталей, не прибегая к созданию подсборок. Однако следует стремиться воспроизвести технологический процесс сборки. Это позволит создать необходимый комплект конструкторских документов.

При проектировании изделия, кроме создания трехмерной модели, нужно получить комплект конструкторских документов: сборочные чертежи и спецификации на само изделие и на входящие в него узлы, а также рабочие чертежи на детали. Данные чертежи были выданы научным руководителем.

Создание файла сборки

- Нажмите кнопку Создать на панели Стандартная.
- Укажите тип создаваемого документа Сборка и нажмите кнопку ОК. На экране появится окно новой сборки.
- Войдите в режим определения свойств сборки. Для этого щелкните правой клавишей мыши в пустом месте окна модели и выполните из контекстного меню команду Свойства модели.
- Введите обозначение сборки и ее наименование
- Для выхода из режима определения свойств сборки нажмите кнопку Создать объект.
- Сохраните сборку на диске под заданным именем.
- Установите для модели стандартную ориентацию Изометрия XYZ.

Добавление компонентов из файлов [2]

- Чтобы добавить в сборку компонент, уже имеющийся на диске в виде файла, нажмите кнопку Добавить из файла на панели Редактирование сборки.
- В диалоге открытия файлов, в папке Блок направляющий, укажите нужную деталь и нажмите кнопку Открыть.
- Аккуратно укажите точку начала координат сборки. Курсор должен находиться в режиме указания начала координат.
- После вставки компонента в сборку его начало координат, направление осей координат и системные плоскости совмещаются с аналогичными элементами сборки. В данном случае указать точку начала координат сборки нужно для того, чтобы система координат добавляемого компонента совпала с системой координат сборки. В результате этого компонент, который был симметричен относительно системных плоскостей в своей системе координат, будет симметричен относительно системных плоско-

стей в системе координат сборки. Это может упростить сборку изделия. Первый компонент автоматически фиксируется в сборке в том положении, в котором он был вставлен. Признаком фиксации элемента служат символы (ф) слева от имени компонента в Дереве модели. Зафиксированный компонент не может быть перемещен или повернут в системе координат сборки. Фиксацию компонентов можно выключать и включать с помощью команд из контекстного меню. Хотя бы один из компонентов сборки обязательно должен быть зафиксирован. Это позволит правильно определить положение всех остальных компонентов.

- Добавьте в сборку выбранную деталь.
- Раскройте «ветвь» Компоненты в Дереве модели.
- Добавленные компоненты появляются в Дереве модели. Компонентам присваиваются названия, взятые из их файлов.

Задание взаимного положения компонентов

При добавлении компонента в сборку, конструктор сначала задает его предварительное положение, а потом определяется его точное положение. Обычно это выполняется за два этапа.

Уточняется положение и ориентация компонента путем его перемещения и вращения в пространстве сборки.

Определяется точное положение компонента путем наложения сопряжений.

Перемещение компонентов

- Для перемещения компонента нажмите кнопку Переместить компонент на панели Редактирование сборки – при этом курсор меняет свою форму.
- Установите курсор на деталь, нажмите левую кнопку мыши и, не отпуская ее, переместите деталь в новое положение. После этого кнопку мыши следует отпустить.

Вращение компонентов

- Для поворота компонента нажмите кнопку Повернуть компонент – при этом курсор меняет свою форму
- Установите курсор на деталь, нажмите левую кнопку мыши и, не отпуская ее, перемещайте курсор. Деталь будет поворачиваться вокруг своего геометрического центра.
- Для выхода из команды поворота нажмите кнопку Прервать команду на Панели специального управления или клавишу <Esc> на клавиатуре.

Сопряжение компонентов

После предварительного размещения компонента можно приступить к заданию его точного положения в сборке. Это достигается за счет создания сопряжений между компонентами.

Сопряжение — параметрическая связь между гранями, ребрами, вершинами, плоскостями или осями разных компонентов сборки. Для того чтобы определить положение детали, нужно задать два сопряжения.

- Нажмите кнопку Соосность на инструментальной панели Сопряжения
- Укажите цилиндрические грани на детали 1 и детали 2. Положение детали 1 фиксировано в пространстве сборки. Деталь 2 развернется так, что указанные грани станут соосны.
- Нажмите кнопку Совпадение объектов и укажите плоские кольцевые грани на детали 1 и детали 2. После этого деталь2 займет точное положение в сборке.
- Нажмите кнопку Прервать команду.
- Нажмите кнопку Перестроить на панели Вид.
- Нажмите кнопку Сохранить на панели Стандартная.

Все сопряжения сохраняются в Дереве модели на «ветви» Сопряжения. При необходимости их можно отредактировать, исключить из расчета или удалить.

В начале работы рассматривая проблему визуального представления чертежа, при отсутствии навыков возникали сложности с выполнениями заданий связанных с чтением чертежей, на которых были представлены сборки моделей. Нужно было найти решение, которое бы эффективно устраняло проблему.

В ходе проведенной работы студентами были достигнуты следующие результаты: студенты изучили программу, позволившую проектировать любую деталь и видеть её в трёхмерном изображении. Это помогло не только развить пространственное воображение, а так же в случае затруднений с чтением чертежа незамедлительно устранить трудности с помощью данной программы.

Библиографический список

1. ЗАО Аскон. Азбука Компас-3D. – М.: Аскон, 2013. – 200 с.

2. Богуславский, А.А. Си++ и компьютерная графика: лекции и практикум по программированию / А.А. Богуславский. – М.: КомпьютерПресс, 2003. – 352 с.

К содержанию

УДК 62-51

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБРАТНЫХ НЕКОРРЕКТНЫХ ЗАДАЧ В РАДИОНАВИГАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Д.В. Иванеев

Рассмотрены вопросы использования задачи фильтрации оценки параметров и сопровождения сигнала, как обратной некорректной задачи и возможности ее решения с помощью методов регуляризации. На основе анализа установлено, что задача редукции сигнала (обратная некорректная задача) является перспективным направлением в радионавигации и может позволить получить уменьшение погрешности при измерении радионавигационных параметров летательного объекта и повышения разрешения близко летящих целей.

Ключевые слова: задача редукции, обратные, некорректные задачи, регуляризация.

В радиотехнике при определении параметров сигналов чаще отдают предпочтение методам, основанным на постобработке массива информации о поведении сигнала, например, методы адаптации, компенсации локальных сигналов-помех, методы, использующие собственные значения и векторы симметрично ковариационной матрицы, теоретико-информационные методы и т.д. Эти методы решают некоторые задачи повышения помехоустойчивости и добиваются значительных результатов. Но эти методы имеют существенный недостаток: они не могут дать оценку потенциальной возможности разработанной аппаратуры в пределах точности параметров сигнала, то есть используют принцип «что сделали, то и получили», а применяемые методы постобработки улучшают только вероятностные характеристики обрабатываемых сигналов.

Методы решения задачи редукции, основанные на определении устойчивого решения обратных некорректных задач, приближают к определению истинных параметров сигнала и определяют потенциальные возможности разработанной аппаратуры.

Измерительное устройство, будь то радиолокатор, телескоп, радиотелескоп, томограф, фотоаппарат, и т.д. характеризуется тем, что измеренный сигнал содержит близкие максимумы, которые слабо разрешены. А слабые максимумы, вследствие наложения шума, невозможно определить. Это обусловлено тем, что аппаратная функция, которая, например, в радиотехнике в большей степени является диаграммой направленности, не имеет бесконечно узкую форму, а имеет некоторую ширину и тем, что на всю систему в целом действуют помехи различной природы.

Варианты задачи редукции в радионавигации. Постановка задачи

Для математической обработки, при условии f – результат измерений, а y– искомая, неизвестная функция, характерно следующее соотношение:

$$f = Ay,$$

где A – математический оператор (например, обратная матрица, а в случае обработки сигналов – система линейных или линейно-нелинейных алгебраических уравнений).

Тогда обратная задача будет иметь вид:

$$y = A^{-1} f. \quad (1)$$

На практике обратная задача может принять вид интегрального, дифференциального уравнения, системы линейных алгебраических уравнений, системы линейно-нелинейных алгебраических уравнений и так далее. Но чаще всего такие задачи описывают интегральным уравнением Фредгольма I рода:

$$\int_a^b A(x,s)y(s)ds = f(x), c \le x \le d, \quad (2)$$

где $A(x,s)$ – ядро; $f(x)$ – выходной сигнал; $y(s)$ – искомая функция (входной сигнал); x и s – параметры (линейные или угловые координаты, время, температура, частота и так далее); c и d– область измерения $f(x)$, a и b область поиска $y(s)$.

Уравнение (2)применяют в спектрометрии, а также для разрешения протяженных сигналов, при моделировании распада клеток и так далее [1].

Существует как минимум три подхода постановки некорректной задачи в радионавигации.

Первый подход предполагает априорные сведения об аппаратной функции, при этом задача радионавигации рассматривается, как:

$$\begin{cases} V = A_1^{-1} V_{\text{изм}} \\ \theta = A_2^{-1} \theta_{\text{изм}} \\ R = A_3^{-1} R_{\text{изм}} \end{cases}, \quad (3)$$

где $V_{\text{изм}}, \theta_{\text{изм}}, R_{\text{изм}}$ – измеренные радионавигационные параметры (скорость, азимут и дальность, соответственно); V, θ, R – истинные радионавигационные параметры; A_1, A_2, A_3 – аппаратные функции.

С учетом ошибок, которые возникают при измерении сигнала уравнение (3) примет вид:

$$\begin{cases} V = A_1^{-1} V_{\text{изм}} + \Delta V \\ \theta = A_2^{-1} \theta_{\text{изм}} + \Delta\theta \\ R = A_3^{-1} R_{\text{изм}} + \Delta R \end{cases} . \quad (4)$$

Если принять, что модель прохождения радиосигнала описывается одномерным интегральным уравнением Фредгольма первого рода типа свертки:

$$\int_{-\infty}^{\infty} A(x-s)y(s)ds = f(x), \quad (5)$$

где $f(x)$– измеренное значение сигнала; $y(x)$ – истинное значение сигнала;

$A(x–s)$ – аппаратная функция, тогда решение (5) по методу регуляризации Тихонова будет иметь вид [1]:

$$\begin{cases} V_{\alpha\text{ист}}(x) = \dfrac{1}{2\pi} \displaystyle\int_{-\infty}^{\infty} \dfrac{\widehat{A}_1(-\omega)\widehat{V}_{\text{изм}}(\omega)}{\left|\widehat{A}_1(-\omega)\right|^2 + \alpha|\omega|^{2p}} e^{-j\omega x} d\omega \\ \theta_{\alpha\text{ист}}(x) = \dfrac{1}{2\pi} \displaystyle\int_{-\infty}^{\infty} \dfrac{\widehat{A}_2(-\omega)\widehat{\theta}_{\text{изм}}(\omega)}{\left|\widehat{A}_2(-\omega)\right|^2 + \alpha|\omega|^{2p}} e^{-j\omega x} d\omega , \\ R_{\alpha\text{ист}}(x) = \dfrac{1}{2\pi} \displaystyle\int_{-\infty}^{\infty} \dfrac{\widehat{A}_3(-\omega)\widehat{R}_{\text{изм}}(\omega)}{\left|\widehat{A}_3(-\omega)\right|^2 + \alpha|\omega|^{2p}} e^{-j\omega x} d\omega \end{cases}$$

где $V_{\alpha\text{ист}}(x), \theta_{\alpha\text{ист}}(x), R_{\alpha\text{ист}}(x)$ – приближенное истинное значение;

$\widehat{V}_{\text{изм}}(\omega), \widehat{\theta}_{\text{изм}}(\omega), \widehat{R}_{\text{изм}}(\omega)$ – Фурье-образы $V_{\text{изм}}(x), \theta_{\text{изм}}(x), R_{\text{изм}}(x)$;

$\widehat{A}_1(-\omega), \widehat{A}_2(-\omega), \widehat{A}_2(-\omega)$ – Фурье-образы аппаратных функций;

α, p – параметры регуляризации.

Второй подход предполагает определение параметров V, θ, R любым известным методом (методом Андерсона, Фроста, методами адаптации и т.д.) при этом вместо аппаратной функции будет использоваться некоторая модель ее замещающая

$$f(x) = \sum_{i=1}^{N} A(x, x_i)\, y_i(x) + \delta f, \quad (6)$$

где x – параметр обработки (угол, скорость и т.д.);

$A(x, x_i)$ – некоторая модель, замещающая аппаратную функцию.

В этом случае получается система линейных алгебраических уравнений, которую можно решать обобщенными методами редукции с использованием методов регуляризации [1].

Третий подход предполагает определение параметров V, θ, R, выполняя обработку сигналов с использованием критерия максимального правдоподобия[2],[3]. В итоге задача сводятся к интегральным уравнениям Фредгольма первого рода, которые решают с помощью методов регуляризации.

В качестве примера решения некорректной задачи можно привести задачу вычисления преобразования Фурье:

$$Y(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t) e^{i\omega t} dt, -\infty < t < \infty, \tag{7}$$

$$y(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} Y(\omega) e^{i\omega t} dt, -\infty < \omega < \infty, \tag{8}$$

где $Y(\omega)$ – прямое непрерывное преобразование Фурье, а $y(t)$ – обратное непрерывное преобразование Фурье.

Пусть имеется функция, для которой необходимо выполнять прямое преобразование Фурье по формуле (7):

$$y(t) = \frac{\sin(\omega_z t)}{\omega_z t}. \tag{9}$$

Подставив в (7) получается:

$$Y(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin(\omega_z t)}{\omega_z t} e^{i\omega t} dt. \tag{10}$$

Аналитически решая уравнение (10), находят спектр:

$$|Y(\omega)| = \begin{cases} \dfrac{\pi}{\omega_z}, \omega \in (-\omega_z, \omega_z) \\ 0, \omega \notin (-\omega_z, \omega_z) \\ \dfrac{\pi}{2\omega_z}, \omega = \pm\omega_z \end{cases}.$$

Преобразование Фурье является некорректной (неустойчивой) задачей, так как связана с уравнением Фредгольма первого рода, хотя неустойчивость несколько сглаживается, потому что это уравнение решают аналитически.

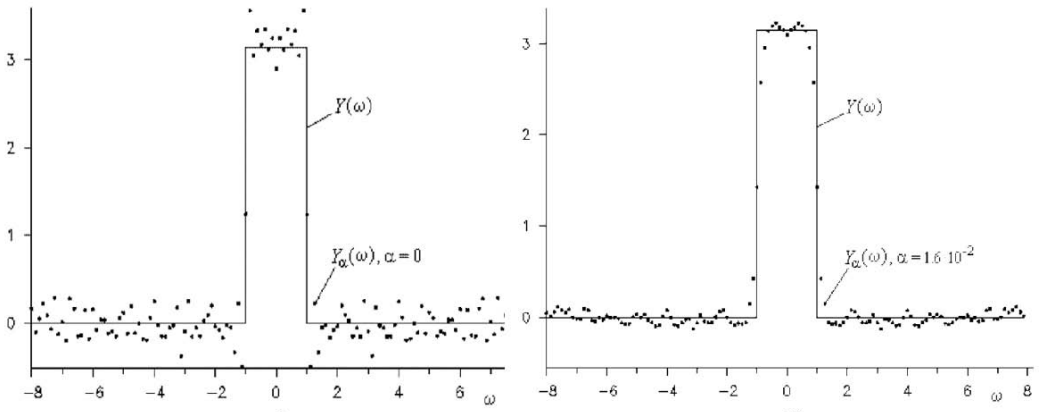
В [4] приводится вывод регуляризированной формулы для нахождения преобразования Фурье на основе метода регуляризации Тихонова.

В общем виде формула имеет вид:

$$Y_\alpha(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{y(t)}{1 + \alpha t^{2n}} e^{i\omega t} dt, \tag{11}$$

где $f(t,\alpha)=\dfrac{1}{1+\alpha t^{2n}}$ – стабилизирующий коэффициент, подавляющий высокие частоты [4]; α, n – параметры регуляризации.

На рис. показан пример регуляризированного преобразования Фурье.



а) б)

Выполнение преобразования Фурье (а) и его регуляризация (б)

Из рис. а видно, что вместо $Y(\omega)$ в виде прямоугольника получается окно с осцилляциями $Y_\alpha(\omega)$. И при $\alpha=0$ (без регуляризации) возникает эффект Гиббса. Если использовать регуляризированную формулу $Y_\alpha(\omega)$ при $\alpha=1{,}6\cdot10^{-2}$, то подавляются те отсчеты, которые вносят наибольшие погрешности и уменьшается погрешность вычислений (1б). Таким образом, регуляризация уменьшает погрешность вычисления $Y(\omega)$ (а значит, увеличивается соотношение сигнал/шум) в несколько раз. Причина этого в том, что слагаемое $\alpha\cdot t^{kn}$ в (11) подавляет умеренно дальние отсчеты в $y(t)$, чьи погрешности вносит наибольший вклад в $Y_\alpha(\omega)$. Метод регуляризации Тихонова является идейным продолжением метода наименьших квадратов (дающий псевдорешение) и метода псевдообратной матрицы Мура–Пенроуза (дающий нормальное решение) [5].

Метод регуляризации Тихонова решается посредством неопределенных множителей Лагранжа:

$$\|Ay-f\|_{L_2}^2+\alpha\|y\|_{L_2}^2=\min_y, \qquad (12)$$

где $\alpha>0$ – параметр регуляризации, играющий роль неопределенного множителя Лагранжа. Если $\alpha=0$, то метод переходит в метод наименьших квадратов с малой невязкой $\|Ay-f\|$ и большой неустойчивостью. С увеличением α решение становится более гладким, но невязка увеличивается. Поэтому подбирая α, можно приблизиться к приемлемой невязке, и решение будет приемлемо устойчивым.

Из (12) вытекает:

$$\left(\alpha E + A^* A\right) y_\alpha = A^* f, \tag{13}$$

где E – единичный оператор.

Существует способы подбора α,три из которых представлены в [1]. В более общем виде метод регуляризации Тихонова можно записать:

$$\left\| Ay - f \right\|_{L_2}^2 + \alpha \left\| y - \psi \right\|_{L_2}^2 = \min_y, \tag{14}$$

где ψ – математическое ожидание или начальное приближение.

Применительно к интегральному уравнению Фредгольма Iрода:

$$Ay \equiv \int_a^b K(x,s) y(s) ds = f(x), \quad c \le x \le d,$$

$$\alpha y_\alpha(t) + \int_a^b R(t,s) y_\alpha(s) ds = F(t), \quad a \le t \le b,$$

где:

$$R(t,s) = R(s,t) = \int_c^d K(x,t) K(x,s) dx,$$

$$F(t) = \int_c^d K(x,t) f(x) dx.$$

Для уравнения Фредгольма Iрода типа свертки:

$$\int_{-\infty}^{\infty} K(x-s) y(s) ds = f(x), \ -\infty \le x \le \infty, \tag{15}$$

решение можно найти с помощью метода преобразовании Фурье и затем регуляризировать найденное решение.

Исходя из [1] аналитическое решение (15) примет вид обратного преобразования Фурье:

$$y(\mathrm{s}) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} Y(\omega) e^{-i\omega s} d\omega,$$

в котором:

$$Y(\omega) = \frac{F(\omega)}{\lambda(\omega)} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{i\omega x} dx}{\int_{-\infty}^{\infty} K(x) e^{i\omega x} dx}.$$

Регуляризированное решение находится из условия минимума сглаживающего функционала (14):

$$\int_{-\infty}^{\infty}\left[Ay - f(x)\right]^2 dx + \alpha\int_{-\infty}^{\infty} M(\omega)\left|Y(\omega)\right|^2 dx = \min_{y}, \qquad (16)$$

где $M(\omega) = |\omega|\lambda q$, где $q \geq 0$.

Из (16) получается регуляризированное решение:

$$y_\alpha(s) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\lambda(-\omega)F(\omega)}{L(\omega) + \alpha M(\omega)} e^{-i\omega s} d\omega,$$

где $L(\omega) = |\lambda(\omega)|^2$.

При выборе q следует учесть, что чем больше это значение, тем сильнее подавляются высокие гармоники, а при выборе параметра регуляризации α использовать уже существующие алгоритмы, такие как метод невязки, метод подбора и т.д.

Метод регуляризации Тихонова является идеальным инструментом для нахождения квазиустойчивого решения некорректных задач с точки зрения сложности алгоритмов и точности. Также не требует большого количества априорных сведений (только значения погрешностей и иногда математическое ожидание ψ), в отличие от метода оптимальной фильтрации Калмана–Бьюси. Поэтому фильтр Калмана относят к методам статистической регуляризации наравне с фильтром Винера. Оптимальный фильтр Калмана требует априорное знание о ковариации ошибок, а также матожидания правых частей.

Таким образом, если существует физическая задача, то ее необходимо свести к интегральному уравнению Фредгольма. Затем решать ее с помощью методов регуляризации.

Выводы

Подводя итог, можно сказать, что решение прикладных задач как некорректных задач интересно, в первую очередь, своей оригинальностью. Несмотря на то, что об обратных задачах (некорректных задачах) знают уже больше ста лет, практическое применение они находят только с недавнего времени, когда нашли способ устойчивого решения с применением методов регуляризации.

На сегодняшний день, когда вычислительная мощность процессоров не ограничивает конструкторов в разработке сложных алгоритмов, необходимо усовершенствовать методы регуляризации и искать новые подходы для улучшения качества обработки сигналов, изображений и т.д. Поэтому необходимость применения обратных задач для обработки сигналов в радионавигации наряду с классическими методами авторы представленной статьи считают обоснованным и актуальным.

Библиографический список

1. Сизиков, В.С. Математические методы обработки результатов измерений / В.С. Сизиков. – СПб: Политехника, 2001. – 240 с.
2. Курикша, А.В. Применение методов решения некорректных задач для синтеза алгоритмов повышения разрешающей способности в радиолокации: дис. … канд. техн. наук / А.В. Курикша. – М., 2006. – 92 с.
3. Плохута, П.А. Исследование методов решения некорректных задач многосигнальной радиопеленгации на одной частоте: дис. … канд. техн. наук / П.А. Плохута. – М., 2009. – 162 с.
4. Сизиков, В.С. Использование регуляризации для устойчивого вычисления преобразования Фурье / В.С. Сизиков // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. – 1998. – Т. 38. – № 3. – С. 376–386.
5. Тихонов, А.Н., Методы решения некорректных задач / А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. – 2-е изд. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 283 с.

К содержанию

УДК 519.6 + 004.922

ПОЛУЧЕНИЕ ОБЪЕМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РЕНТГЕНОВСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Д.В. Аврамов

Рассмотрены методы получения объемных изображений в рентгеновской компьютерной томографии. Приведены принципы формирования исходных данных, включая методы двухмерной и трехмерной реконструкции, основные достоинства и недостатки алгоритмов объемной визуализации.

Ключевые слова: реконструкция, визуализация.

В компьютерной томографии (КТ) процесс получения информации об исследуемом объекте можно разделить на три этапа. На первом этапе производится сканирование объекта измерительной системой – компьютерным томографом. В рентгеновской КТ через объект проходит рентгеновское излучение и, ослабляясь, попадает на сеть детекторов. Совокупность измеренных детекторами величин при различных ракурсах излучения составляют проекционные данные, которые и являются результатом работы измерительной системы.

На втором этапе происходит восстановление или реконструкция изображения по проекционным данным. В сущности, реконструкция изображения заключается в определении искомой физической величины, которая

лежит в основе принципа томографического исследования. Для рентгеновской КТ искомой физической величиной является линейный коэффициент ослабления рентгеновского излучения в объекте. Результатом работы алгоритмов реконструкции являются значения линейного коэффициента ослабления в определенных точках объекта, часто представляемых в числах Хаунсфилда.

На третьем этапе осуществляется вывод полученной информации на экран монитора или на рентгеновскую пленку. Именно эту информацию видят и используют пользователи. В простейшем случае данная задача сводится к переводу измеренной физической величины в экранные величины, в частности, в оттенки серого. Однако с развитием вычислительной техники и компьютерной графики все большую популярность приобретают методы визуализации объемных изображений, которые позволяют выводить на экран всю полученную информацию об объекте, а также проводить различные манипуляции над ней.

Получение исходных данных для объемной визуализации

Исходными данными, для построения изображения объемного объекта, является трехмерный массив данных, отражающий распределение измеренной физической величины в трехмерном пространстве. Алгоритмы объемной визуализации в рентгеновской КТ имеют дело не с сырыми данными полученных с томографа, а с восстановленными распределениями линейного коэффициента ослабления рентгеновского излучения, для получения которых используют методы реконструкции.

Математической основой реконструкции изображений является преобразование Радона и преобразование Фурье. На сегодняшний день существует множество методов реконструкции изображений. Одним из самых популярных аналитических алгоритмов реконструкции является сверточный алгоритм или алгоритм обратного проецирования с фильтрацией сверткой [1, 2, 3]. Достоинствами данного алгоритма называют простоту вычислений, высокую вычислительную эффективность, высокую точность [3].

При двумерном методе реконструкции (т.е. в тонком параллельном или веерном пучке излучения), что мы имеем на современном этапе развития томографии, объемное изображение получается трансформацией отдельных двумерных томограмм (слоев) в некий куб (трехмерный набор данных), который несет всю информацию об объемном изображении.

Метод интегральных преобразований восстановления изображения для веерной схемы, изображенной на рисунке 1, для сверточного алгоритма можно рассматривать как [1]:

$$\tilde{\mu}(x,y)=\frac{1}{2}\int_0^{2\pi}\frac{1}{S^2}d\beta\int_{-\gamma_m}^{\gamma_m}\bar{p}(\gamma,\beta)\tilde{g}(\gamma'-\gamma)d\gamma, \qquad (1)$$

где $\bar{p}(\gamma,\beta)=p(\gamma,\beta)Д\cos\gamma$ – модифицированная проекция;

$\tilde{g}(\gamma'-\gamma)=g(\gamma'-\gamma)\cdot\dfrac{\gamma^2}{\sin^2(\gamma'-\gamma)}$ – модифицированное ядро;

$g(\gamma)=\int_{-1/2\Delta l}^{1/2\Delta l}|\omega|\cdot W(\omega)\exp(-i2\pi\omega\gamma)d\omega$ – не модифицированное ядро;

$Д$ – расстояние от источника до центра вращения;

S – расстояние от источника до исследуемой точки Р;

γ_m – максимальный угол, охватываемый линейкой детекторов.

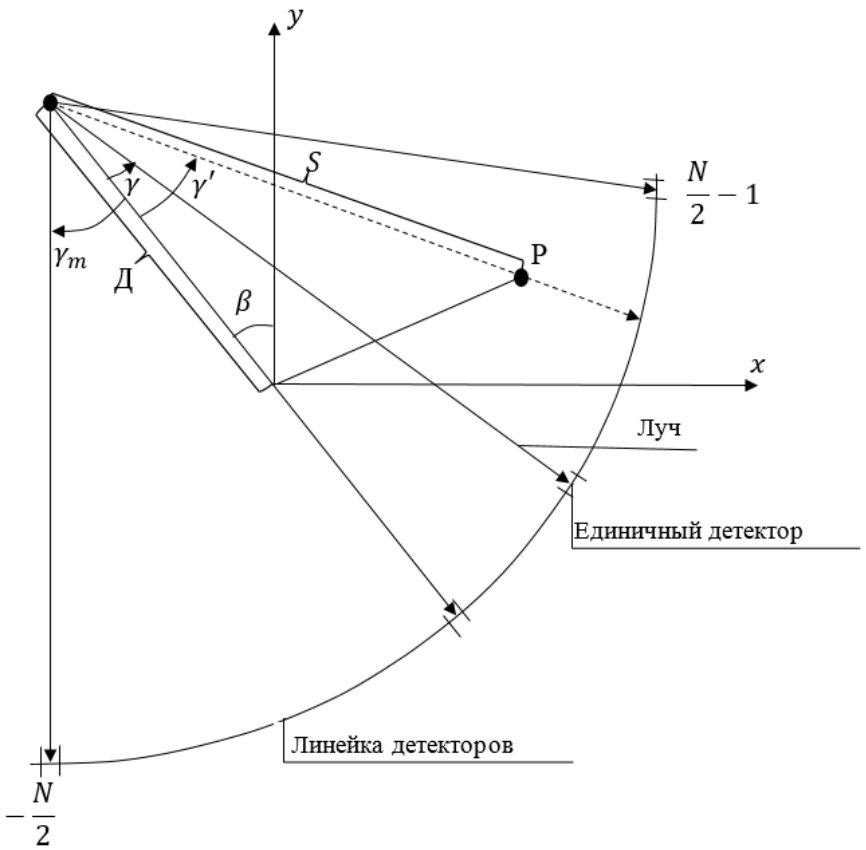


Рис. 1. Веерная геометрия сканирования

В [1] показано, что если для определенности взять одинаковыми количество детекторов l_i, $i\in(1; 512)$, ракурсов θ_j, $j\in(1; 512)$, количество пикселей по обеим осям x и y (512×512), то количество операций умножения для получения одной томограммы по формуле (1) потребуется провести $\approx 2{,}6\cdot 10^8$. А для получения объемного изображения, составленного из отдельных то-

мограмм (слоев по оси z), количеством, например, 512, необходимо получить куб значений $\mu(x, y, z)$ размером 512×512×512. При этом потребуется провести операций умножения порядка $\approx 2{,}6 \cdot 10^8 \times 5 \cdot 10^2 \approx 1{,}3 \cdot 10^{11}$.

Сравнительно новым методом является трехмерная реконструкция с применением схемы сканирования с конусной геометрией луча [4, 5]. Охват большого числа детекторов ведет к значительному повышению скорости сканирования, а возможность реконструировать не только отдельные слои, но и весь объемный исследуемый объект потенциально можно эффективно использовать при дальнейшей обработке и визуализации информации. В настоящее время из-за своей сложности трехмерный метод реконструкции находится на стадии исследования.

Для случая трехмерной реконструкции следует определить двумерную конусную проекцию, как распределение интенсивности прошедшего излучения по поверхности двумерного детектора.

Согласно [4] уравнение конусной проекции записывается следующим образом:

$$f_s(\boldsymbol{q}) = \ln\left(\frac{I_0}{I(\boldsymbol{q})}\right), \tag{2}$$

$$\boldsymbol{q} = (r_s + r_d)\left(\frac{\boldsymbol{S}}{r_s} - \frac{\boldsymbol{n}}{\left|\cos(\boldsymbol{S},\boldsymbol{n})\right|}\right). \tag{3}$$

Где $g(\boldsymbol{r})$, $\boldsymbol{r} \in R^3$ – распределение коэффициента поглощения зондирующего излучения объектом; $\boldsymbol{S}$ – точка, в которой расположен источник излучения; I_0 – интенсивность излучения источника; r_s и r_d – расстояния от начала координат до источника и детектора соответственно; $I(\boldsymbol{q})$– интенсивность, зарегистрированная на детекторе в точке, имеющей на нем двумерную координату $\boldsymbol{q}$; $\boldsymbol{n}$ – вектор, задающий направление из источника на точку с координатой $\boldsymbol{q}$; $(\boldsymbol{S}, \boldsymbol{n})$ – угол между векторами $\boldsymbol{S}$ и $\boldsymbol{n}$. Интегрирование ведется по участку луча, проходящему внутри объекта. Определение конусной проекции объясняет рисунок 2.

Наиболее популярным алгоритмом реконструкции для конусной схемы томографии является алгоритм Фельдкампа, дающий приближенное решение [2, 4, 5].

Согласно [4] он определяется следующими выражениями:

$$\mu(x,y,z) = \frac{1}{4\pi^2}\int_0^{2\pi} \frac{(r_s + r_d)^2\, \tilde{f}\left(\varphi, U(x,y,z), V(x,y,z)\right)}{\left(r_s + r_d + x\cos\varphi + y\sin\varphi\right)^2} d\varphi, \tag{4}$$

где:

$$U(x,y,z)=\frac{(r_s+r_d)(y\cos\varphi-x\sin\varphi)}{(r_s+x\cos\varphi+y\sin\varphi)}, \quad (5)$$

$$V(x,y,z)=\frac{(r_s+r_d)z}{(r_s+x\cos\varphi+y\sin\varphi)}, \quad (6)$$

$$\tilde{f}(\varphi,U,V)=\int_{-\infty}^{+\infty}\Phi_U(U-U')dU'\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{r_s^2\Phi_V(V-V')}{(r_s+r_d)\sqrt{(r_s+r_d)^2+U'^2+V'^2}}dV', \quad (7)$$

$$\Phi_U(U)=\int_0^{\omega_{U_0}}\omega e^{i\omega U}d\omega, \quad (8)$$

$$\Phi_V(V)=\frac{\sin(\omega_{V_0}V)}{\pi V}, \quad (9)$$

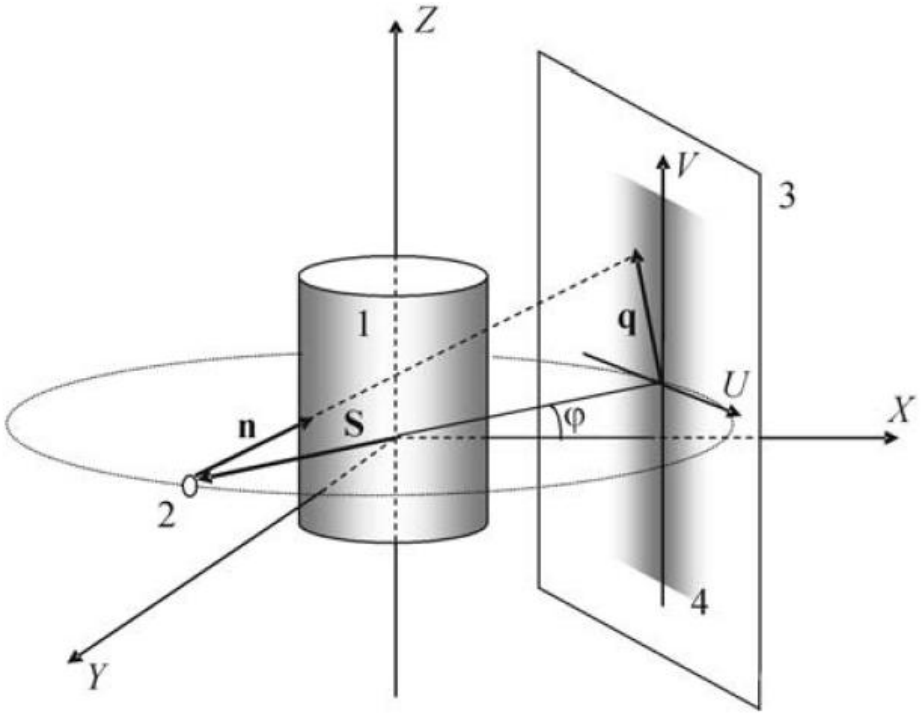


Рис. 2. Схема получения двумерной конусной проекции (1 – исследуемый объект; 2 – источник зондирующего излучения; 3 – детектор; 4 – проекция)

Согласно [4], количество операций, затрачиваемое на реконструкцию на кубической сетке размерностью $N\times N\times N$ алгоритмом Фельдкампа согласно выражениям (4, 5, 6, 7, 8, 9), определяется следующим образом:

$$N_{Fld}=2k_1MN^2+k_2MN^3, \quad (10)$$

где N – количество детекторов;

M – количество ракурсов;

k_1 и k_2 – коэффициенты, не зависящие от N и M.

При достаточно больших N и M имеет место $N_{Fld} \sim MN^3$ [4]. Таким образом, при $N=M=512$ количество необходимых операций умножения будет составлять около $6{,}8 \cdot 10^{10}$, что почти на порядок меньше, чем при двумерной реконструкции ($1{,}3 \cdot 10^{11}$). Приведенные результаты иллюстрируют лучшее быстродействие трехмерных методов реконструкции трехмерных объектов по сравнению с двумерными методами. Следует заметить, что алгоритм Фельдкампа не является самым быстрым, хотя и является самым распространенным.

Методы визуализации объемных КТ данных

Основными методами объемной визуализации являются: мультипланарная реконструкция, отображение затененной поверхности, проекция максимальной интенсивности, проекция минимальной интенсивности, объемный рендеринг [2, 6, 7, 8].

После того, как исходные аксиальные КТ-изображения были реконструированы из сырых данных, они могут быть перестроены в любой плоскости – сагиттальной, коронарной, косой или изогнутой. Получаемые при этом двухмерные изображения называют мультипланарными реконструкциями или мультипланарными реформациями (англ. multiplanar reformation, MPR).

В простейшем случае реформированное изображение в сагиттальной или корональной проекции формируется из рядов вокселей (трехмерный аналог пикселя), одинаково расположенных в серии поперечных срезов. Также можно сформировать изображения срезов произвольной ориентации или поверхностей произвольной формы, совпадающей с формой исследуемых структур.

Отображение затененной поверхности, или поверхностно-оттененное изображение (англ. Surface Shaded Display, SSD), – метод построения поверхностей трехмерных объектов путем выделения наружных вокселей в каждом срезе [8]. В большинстве методов визуализации поверхностей требуется указать пороговое КТ-число. Затем для каждого луча, проходящего через трехмерный объем от точки наблюдения к плоскости изображения, определяется первый воксел, у которого значение КТ-числа совпадает или превосходит заданный порог [2]. Совокупность этих вокселов составляет поверхность при этом вычисляется, какое количество света от мнимого источника было «отражено» каждой точкой поверхности в зависимости от ориентации. Такие методы создают очень реалистичный эффект трехмерности объектов, а использование для этих целей затенения дало название самому методу.

Недостатками SSD-реконструкций являются: возможность визуализировать только объекты, имеющие хорошо выраженную поверхность; значительная часть КТ-данных оказывается невостребованной; SSD-изображения имеют один цвет, а оттенки формируются только за счет использования виртуальной подсветки; критическая зависимость отображения структур от выбранного значения порога плотностей.

Проекция максимальной интенсивности (англ. Maximum Intensity Projection, MIP) – вид 3D-визуализации, при котором из всех вокселей по ходу луча зрения выбираются и отображаются воксели с максимальной плотностью. Этот метод показывает самые плотные ткани просканированного объема независимо от того, расположены они на поверхности или в глубине объема. Структуры с меньшей КТ-плотностью практически не визуализируются [8].

К недостаткам MIP следует отнести: отсутствие визуализации структур, имеющих не самую высокую плотность по ходу луча зрения; эффект суммирования, выражающийся в перекрытии изображений плотных структур друг другом; отсутствие по сравнению с изображениями объемного рендеринга восприятия глубины объектов.

Проекция минимальной интенсивности (англ. Minimum Intensity Projection, MinIP) является противоположностью проекции максимальной интенсивности и показывает воксели с наименьшей плотностью по ходу луча зрения.

Объемный рендеринг (англ. Volume Rendering, VR), или объемное представление, – разновидность 3D-визуализации, при которой все воксели по ходу луча зрения участвуют в формировании изображения. Каждый пиксел результирующего VR-изображения рассчитывается на основе взвешенных вкладов от всех вокселов (а не одного как в методах SSD и MIP) на пути каждого из лучей, исходящих из точки наблюдения. Благодаря интерактивному выбору параметров функции преобразования, каждому КТ-числу можно присвоить значения прозрачности и цвета.

Метод VR является более совершенным подходом по сравнению с вышеописанными методами SSD и MIP как в отношении принципов формирования изображений, так и по своей эффективности, так как он лишен практически всех недостатков, свойственных другим методам, позволяет получать самые разные представления трехмерных данных (с использованием прозрачности и цвета) и создавать легко интерпретируемые изображения.

Выводы

Анализ рассмотренных алгоритмов двухмерной и трехмерной реконструкции томографических изображений показал, что вычислительные затраты на получение объемной информации (куба значений μ (x, y, z)) при трехмерной реконструкции на порядок меньше чем при двумерной.

Учитывая, что подходы в получении объемной визуализации для двухмерной и трехмерной реконструкции одинаковы и требуют одинаковых вычислительных затрат, то трехмерная реконструкция в конусном луче излучения, по вычислительным затратам, является более предпочтительной, но более сложной, чем двумерная реконструкция, и требует дополнительных исследований по разработке вычислительных алгоритмов.

Библиографический список

1. Симонов, Е.Н. Физика визуализации изображений в рентгеновской компьютерной томографии / Е.Н. Симонов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013, – 479 с.

2. Календер, В. Компьютерная томография основы, техника, качество изображений и области клинического использования / В. Календер; пер. с англ. – М.: Техносфера, 2006. – 344 с.

3. Хермен, Г. Восстановление изображений по проекциям: Основы реконструктивной томографии / Г. Хермен; пер. с англ. – М.: Мир, 1983.

4. Лихачев, А.В. Сравнение алгоритма Фельдкампа с алгоритмом синтеза Фурье для трехмерной томографии / А.В. Лихачев // Автометрия. – 2006. – № 1. – С. 88–102.

5. Feldkamp L.A., Davis L.C., Kress J.W. Practical cone-beam algorithm // Journ. Opt. Soc. Amer. A. 1984. 1, N 6. P. 612.

6. Visualization In Medicine Theory, Algorithms, And Applications. Elsevier. / Bernhard Preim, Dirk Bartz, 2007.

7. Computed Tomography: Principles, Design, Artifacts, and Recent Advances. SPIE Press Monograph Vol. PM114 by Jiang Hsieh, 2003.

8. Хоружик, С.А. Основы КТ-визуализации часть 2: постпроцессинговая обработка изображений / С.А. Хоружик, А.Н. Михайлов // Радиология – практика. – 2011. – № 4. – С. 52–65.

К содержанию

МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ В г. МИАСС

УДК 629.4.032

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ РАСШИРЕНИЕМ СПОСОБОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

В.В. Краснокутский, М.Г. Штыка, А.Г. Штыка

В работе предложено использовать навесное оборудование трактора на пожарной машине для навешивания плуга тем самым расширить способы тушения пожаров. Произведены проверочные расчеты, выбран автомобиль и плуг. Разработан надрамник и его крепление к пожарному автомобилю.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, плуг, автоцистерна пожарная, навеска, надрамник.

Летом 2010 года существенная часть территории России была охвачена сильнейшими пожарами, которые были вызваны аномальной жарой. Из-за пожаров в 19 регионах погибли 62 человека, пострадали 199 населенных пунктов, 3,2 тысячи домов сгорели. Общий ущерб составил более 12 млрд рублей. В Челябинской области было зарегистрировано 3710 лесных пожаров. В 14 городах и районах вводился особый противопожарный режим. Статистика гласит, что 72 % природных пожаров произошло из-за неосторожного обращения с огнем, в том числе при сжигании сухой травы на полях.

Данная статистика говорит о том, что необходимо модернизировать современную пожарную технику с целью снижения финансовых, экологических убытков, снижения гибели населения в пожарах, предотвращения гибели животных, растений.

Часто распространение пожаров происходит низовым способом по сухой траве. Появляется необходимость опахать (снять дерн) участок охваченный пожаром. Для этого нужен трактор, который необходим в данный момент времени. Появилась идея создать пожарный автомобиль с навесным оборудованием.

Пожарный автомобиль с навесным оборудованием и противопожарным плугом является универсальным автомобилем, который позволит сократить время на проезд до места пожара и спасти большую часть леса или частного сектора, т.к. транспортная скорость движения пожарного автомобиля в 3–4 раза превышает скорость трактора.

Прокладка заградительных полос (канав) в обычной ситуации производится трактором с противопожарным плугом. В зависимости от конструкции плуга, скорость опахивания изменяется от 1,5 до 8–10 км/ч.

Таким образом, пожарный автомобиль, предназначенный для опашки лесных и сельскохозяйственных угодий, должен обладать высокой проходимостью. Двигатель автомобиля должен иметь высокие тягово-скоростные качества, не должен перегреваться, прост в эксплуатации и ремонте. Также автомобиль должен обладать умеренными габаритами, для движения в условиях леса.

Навесное оборудование трактора МТЗ-80 можно установить на любой пожарный автомобиль, но мы выбрали автомобиль «Урал» который выпускается в нашем городе.

Автоцистерна пожарная на базе автомобиля Урал-5557 является наиболее подходящим шасси, на базе которого планируется разместить пожарное оборудование (цистерна, пожарный насос с обвязкой, пожарно-техническое вооружение) и навесное оборудование с плугом. На данный автомобиль установлен двигатель ЯМЗ-236НЕ2 имеющий высокие тягово-скоростные качества, трансмиссия адаптирована для бездорожья.

Из списка рассматриваемых плугов и условий работы, выбираем дисковый плуг ПДП-1,2. Этот плуг имеет сравнительно малые габаритные размеры, что позволит ему не выходить далеко за габариты автомобиля. Небольшая масса плуга позволит двигаться с ним в транспортном положении с максимально допустимой скоростью автомобиля без вреда для него.

Для определения мощности требуемой для опахивания угодий пожарным автомобилем с автоцистерной воспользуемся типовым расчетом [2; 3].

В качестве примера рассмотрим автомобиль ОАО «АЗ «УРАЛ» Урал-5557 с двигателем и коробкой передач ЯМЗ-2361.

Мощность, требуемая для движения автомобиля с плугом в рабочем положении:

$$N_{max} = N_{\psi} + N_W + N_{\text{кр}}\ , \qquad (1)$$

где N_{ψ} – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления дороги; N_W – мощность, затрачиваемая на преодоление аэродинамического сопротивления; $N_{\text{кр}}$ – мощность, необходимая для преодоления тяговых сопротивлений агрегатируемого с автомобилем плуга.

N_{ψ} определяется по формуле:

$$N_{\psi} = \psi \cdot G \cdot v, \qquad (2)$$

где ψ – коэффициент сопротивления опорной поверхности, учитывающий силу, затрачиваемую на сопротивления качению и подъёма, G – вес автомобиля, v – скорость движения.

Мощностью N_W можно пренебречь, так как рабочая скорость автомобиля с плугом не превышает 10 км/ч.

$N_{\text{кр}}$ приближённо можно определить по формуле:

$$N_{\text{кр}} = F_{\text{кр}} \cdot v = k_p \cdot h_p \cdot b_p \cdot v, \qquad (3)$$

где $F_{кр}$ – тяговое сопротивление плуга; k_p – удельное сопротивление на единицу площади поперечного сечения подрезаемого пласта почвы, Н/м^2; h_p – глубина подрезаемого слоя, м; b_p – ширина захвата плуга, м; v – скорость движения, м/с.

При удельном сопротивлении почвы k_p=50 кН/м^2; толщине подрезаемого слоя h_p=0,12 м; ширине захвата плуга b_p=1,2 м; скорости движения v=10 км/ч; коэффициенте сопротивления опорной поверхности ψ=0,4; весе автомобиля с полной цистерной G=131760 Н, потребуется мощность N_{max}=73 кВт, которую может с запасом обеспечить двигатель ЯМЗ-236НЕ2 мощность которого N_e=169 кВт.

Необходимо определить подходит ли коробка передач ЯМЗ-2361 и раздаточная коробка ОАО «АЗ «УРАЛ» установленная на шасси, для проектируемого автомобиля из условия, что скорость движения автомобиля с плугом в рабочем положении составляет до 10 км/ч [1; 2; 3].

Для этого необходимо определить минимальную скорость автомобиля на 1-й передаче и скорость автомобиля на первой передаче с номинальной мощностью по формулам:

$$V_{amin} = 0{,}105\frac{n_{N_{emin}} \cdot r_k}{i_{\text{тр}max}}, \quad V_{amin} = 0{,}105\frac{n_{N_{emax}} \cdot r_k}{i_{\text{тр}max}}, \tag{4}$$

где $n_{N_{emin}}$, $n_{N_{emax}}$ – минимальная устойчивая (600 об/мин) и номинальная (2100 об/мин) частоты вращения коленчатого вала; r_k – радиус колеса (0,592 м); $i_{\text{тр}max}$ – передаточное число трансмиссии (62,9).

Подставляя значения, получаем скорости 2,13 км/ч и 7,47км/ч соответственно. Таким образом, трансмиссия автомобиля Урал обеспечит движение с необходимой скоростью.

На пожарный автомобиль устанавливается навесное оборудование трактора МТЗ-80 и плуг ПЛП-1,2.

Определим класс тяги пожарного автомобиля, и соответствует ли выбранный плуг по классу тяги [1; 2; 3].

Согласно техническим характеристикам выбранного плуга, он агрегатируется с тракторами класс тяги 1,4 т. (14 кН). Номинальное тяговое усилие свыше 12,6 до 18 кН [6]. Класс тяги определяется по ГОСТ 27021-86 расчетным методом.

Номинальное тяговое усилие энергосредства $P_{кр\,ном}$ в килоньютонах определяют по формуле:

$$P_{кр} = A \cdot m_э, \tag{5}$$

где А – коэффициент в зависимости от вида энергосредства; $m_э$ – эксплуатирующая масса автомобиля.

Коэффициент А по ГОСТ 27021-86 принимаем А=3,92$\cdot 10^{-3}$.

Тогда для пожарного автомобиля с полной цистерной получаем класс тяги 5 т. (расчетное 50 кН), номинальное тяговое усилие (св. 45 до 54 кН). Для пожарного автомобиля с пустой цистерной – класс тяги 4 т (расчетное

38 кН), номинальное тяговое усилие (св. 36 до 45 кН.), что соответствует техническим требованиям плуга в обоих случаях [3; 6].

Главными критериями устойчивости автомобиля против опрокидывания являются характеристики его геометрических параметров и расположение центра масс относительно движителя, определяющие границы статической устойчивости.

Проведенный расчет продольной устойчивости автомобиля с полной и пустой цистерной показал, что максимальный угол преодолеваемого подъема пожарным автомобилем с плугом при полной цистерне α=30,4º, что соответствует полноценной работе агрегата. Максимальный угол преодолеваемого подъёма пожарным автомобилем с плугом при пустой цистерне α=35,4º, что на 5 градусов больше, чем при полной цистерне. Это объясняется тем, что при полной цистерне центр тяжести автомобиля смещается на 0,371 м в сторону задней оси колес автомобиля и на 0,161 м вверх. Поэтому опрокидывание на подъеме с полной цистерной произойдет раньше. Для опахивания местности в горных условиях был посчитан угол подъема автомобиля при работе с плугом, который составил $\alpha_{max} = 19{,}95°$. При необходимости при большем угле подъема рекомендуется подняться на вершину и опахивать вниз по склону.

Так как автомобиль Урал–5557 не предназначен для установки навесного оборудования, необходим надрамник. К надрамнику крепится механизм навески трактора, а на механизм навески – плуг.

Надрамник, (рис. 1) устанавливаемый на заднюю часть рамы автомобиля, является также усилителем рамы, что необходимо при возникновении усилий со стороны плуга.

Так как навесное оборудование от трактора является дополнительным, а функция автомобиля состоит не только в том, чтобы пахать, но и тушить пожары огнетушащими средствами, то при проектировании данной конструкции надо учитывать, что навесное оборудование не должно изменять конструкцию базового автомобиля, а быть его дополнительным оборудованием. Это означает, что навеска должна устанавливаться на машину единым блоком с минимальными доработками шасси с возможностью снятия этого оборудования в случае отсутствия необходимости в нем (в зимний период).

Тяговое сопротивление плуга составляет примерно 8–9 кН. Расчёты показали, что достаточный запас прочности обеспечивается при изготовлении надрамника из стандартного сортамента – квадратной трубы 100х100х5 по ГОСТ 8639-82 и швеллера №16а ГОСТ 8240-89.

Надрамник представляет собой сварную конструкцию, прикреплённую к раме автомобиля посредством стремянок (для обеспечения силовой связи между рамой и надрамником) и болтами (для предотвращения сползания надрамника с рамы автомобиля) (рис. 2).

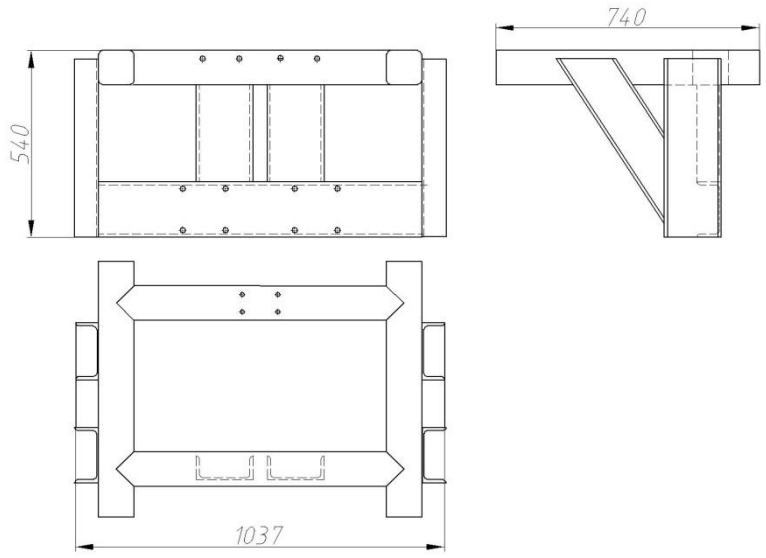


Рис. 1. Надрамник

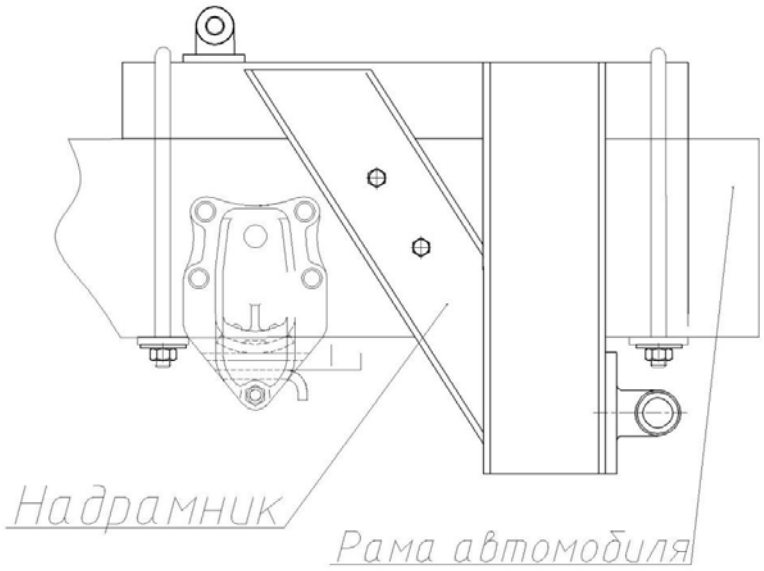


Рис. 2. Установка надрамника на раму автомобиля

Для присоединения механизма навески трактора к надрамнику необходимы кронштейны, которые целесообразней изготовить из чугуна.

По данным проведенного анализа разработанной конструкции надрамника для установки на него всего оборудования был сделан вывод, что данная конструкция, способна выдержать нагрузки, воспринимаемые от плуга в транспортном и рабочем положениях. Данные тягово-динамического расчета автомобиля показали, что двигатель ЯМЗ 236НЕ2 обладает достаточными ресурсами для работы с плугом, трансмиссия автомобиля

обеспечивает необходимую скорость движения с плугом. Рекомендуем расширить способ тушения пожаров, применяя пожарный автомобиль для опашки местности в целях предотвращения распространения пожара.

Библиографический список

1. Барский, И.Б. Конструирование и расчет тракторов / И.Б. Барский. – М.: Машиностроение, 1980. – 335 с.

2. Гуськов, В.В. Тракторы теория / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов и др.; Под общ. ред. В.В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.

3. Карпенко, А.Н. Сельскохозяйственные машины / А.Н. Карпенко. – ВАСХНИЛ, 1983. – 495 с.

4. Краснокутский, В.В. Пожарный автомобиль, агрегатируемый с плугом / В.В. Краснокутский, М.Г. Штыка, К.И. Лукомский // Состояние и перспективы развития социально-культурного и технического сервиса. Материалы 1 Всероссийской научно-практической конференции 25–26 апреля 2013 года г. Бийск.

5. Лукин, П.П. Конструирование и расчёт автомобиля / П.П. Лукин. – М.: Машиностроение, 1984.–376 с.

6. Шарипов, В.М. Конструирование и расчет тракторов / В.М. Шарипов. – М.: Машиностроение, 2009. – 752 с.

7. Шухман, С.Б. Теория силового привода колес автомобилей высокой проходимости / С.Б. Шухман, В.И. Соловьев, Е.И. Прочко; Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. С.Б. Шухмана. – М.: Агробизнесцентр, 2007. – 336 с.

К содержанию

УДК 629.114.3

СНИЖЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ВПУСКА ДВС, РАБОТАЮЩИХ НА ЛЕГКИХ УГЛЕВОДОРОДАХ

М.Г. Штыка, В.В. Краснокутский

Предложен способ увеличить мощность ДВС, работающего на легких углеводородах, путем снижения механических потерь на впуске, создаваемого дроссельной заслонкой. Вместо дроссельной заслонки использовать отработавшие газы ДВС.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, плуг, автоцистерна пожарная, навеска, надрамник.

Анализ технических характеристик автомобилей, особенно легковых с бензиновыми двигателями, показывает, что имеется тенденция увеличения мощности двигателей за счет увеличения частоты вращения [1]. Из теории тепловых двигателей известно, что увеличение частоты вращения приводит к росту потерь на впуске и к снижению наполнения двигателя свежим зарядом. Поэтому снижение потерь на впуске является актуальной задачей.

Известно, что регулирование в связи с изменением нагрузки при карбюраторном питании осуществляется дроссельной заслонкой, которая изменяет количество подаваемой в цилиндры двигателя воздушно-топливной смеси, а при инжекторном питании дроссельная заслонка регулирует количество подачи только чистого воздуха.

Используя этот способ регулирования с помощью заслонки, только на режимах полной загрузки она полностью открыта, а на всех других режимах её положение создает дополнительное сопротивление свежему заряду и на некоторых режимах разряжение в цилиндрах доходит до 0,05 МПа. Учитывая, что двигатели автомобилей, особенно легковых, большую часть времени работы используются на режимах с неполной загрузки, получается, что потери от прикрытия дроссельной заслонки практически всегда присутствуют, что снижает наполнение цилиндров, увеличивает потери на насосные ходы, увеличивает количество остаточных газов в цилиндрах.

Дизельные двигатели, используя качественное регулирование на изменение нагрузки, на различных скоростных и нагрузочных режимах всегда работают на бедных смесях и изменения состава смеси составляет значительный диапазон, коэффициент избытка воздуха (α) изменяется от 1,2–5,5). Это обусловлено тем, что в процессе работы в цилиндрах дизеля на различных скоростных и нагрузочных режимах создаются условия (температура и давление) для самовоспламенения топлива. В отличии от дизеля бензиновый двигатель работает на различных скоростных и нагрузочных режимах в узком диапазоне изменения коэффициент избытка воздуха, который составляет α = 0,8–1,2. При этом необходимо иметь в виду свойство бензина, которое заключается в том, что наибольшая скорость сгорания бензо-воздушной смеси наблюдается при α = 0,85–0,95 и это приводит к получению максимальной мощности. Для различных режимов работы бензинового двигателя (запуск, холостой ход и малые нагрузки, средние и максимальные нагрузки) необходимы свои, строго определенные, составы смеси. На режимах холостого хода (дроссельная заслонка закрыта) в цилиндрах бензинового двигателя коэффициент остаточных газов (γ) составляет более 0,40, а коэффициент наполнения (η) менее 0,03 [1; 2], что является результатом создания сопротивления на впуске. Возникает вопрос, возможно, изменять состав смеси, но при этом не создавать сопротивление на впуске и потери на насосные ходы? Учитывая, что для снижения максимальной температуры цикла с целью снижения образования оксидов азота, используется рециркуляция отработавших газов, по нашему мнению, она может быть также использована для изменения состава смеси, при этом используя избыточное давление отработавших газов на выпуске.

Использование непосредственного впрыска бензина в цилиндры приближает работу бензинового двигателя к дизелю, а возросшие возможности и быстродействие электронных элементов, применяемых в автомоби-

лестроении, позволяют решать сложные задачи. Такой решаемой задачей может быть управление составом смеси изменением количества подаваемого топлива и количества рециркуляционных отработавших газов при полностью постоянно открытой дроссельной заслонке. Взаимосвязь между количеством подаваемого топлива и рециркуляционными отработавшими газами, по мнению авторов, будет иметь обратную зависимость, т.е. изменять состав смеси можно управлением рециркуляционных отработавших газов.

На основании изложенного можно предположить, что регулирование состава смеси с помощью рециркуляционных отработавших газов взамен дроссельной заслонки позволит снизить потери на впуске и увеличить наполнение цилиндров.

Оценка эффективности и подтверждения правильности предложенного способа регулирования состава смеси не дроссельной заслонкой, а отработавшими газами, экспериментальными исследованиями будет опубликована в следующих статьях.

Библиографический список

1. Автомобильные двигатели / Под. ред. М.С. Ховаха. – М.: Машиностроение, 1977. – 591 с.

2. Современные подходы к созданию дизелей для легковых автомобилей и малотоннажных грузовиков / А.Д. Блинов, П.А. Голубев, Ю.Е. Драган и др.; под ред. В.С. Папонова и А.М. Минеева. – М.: НИЦ «Инженер», 2000. – 332 с.

3. Штыка, М.Г. Результаты моделирования распределения температур головки цилиндров на электрической объемной модели / М.Г. Штыка, В.В. Краснокутский // Сборник научных трудов факультета «Машиностроительный» филиала ЮУрГУ в г. Миассе. «Конструкции, технологии, управление в машиностроении и строительстве». – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 221 с.

К содержанию

УДК 656.13(470.55)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕЗДА ПЕРЕКРЁСТКОВ г. МИАССА

В.А. Камерлохер

В связи с увеличением количества автотранспорта, на дорогах, построенных несколько десятилетий назад, пропускная способность в г. Миассе падает. Перекрёстки являются местами, где, как правило, наиболее часто возникают ДТП и задержки движения. В нашей стране около 25 % общего числа ДТП происходит на перекрестках.

Ключевые слова: безопасность, дороги, перекрёстки, интенсивность движения, ДТП.

Безопасность дорожного движения – комплекс мероприятий, направленных на обеспечение безопасности всех участников дорожного движения.

По российскому законодательству безопасность дорожного движения – состояние данного процесса, отражающее степень защищенности его участников от дорожно-транспортных происшествий и их последствий.

Дорожная сеть – одна из важнейших отраслей хозяйства, выполняющая функцию своеобразной кровеносной системы в сложном организме страны [1].

В связи с увеличением количества автотранспорта, на дорогах, построенных несколько десятилетий назад, пропускная способность в г. Миассе падает, для комфортного движения по автодорогам, необходимо их модернизировать (дополнительные полосы, транспортные развязки и т.д.).

Интенсивность движения на конкретном участке автомобильной дороги формируется в результате суммирования интенсивности движения, рассчитанной между всеми парами населенных пунктов, связь между которыми осуществляется с использованием данного участка.

Целью учета интенсивности движения является сбор данных, необходимых для сравнения вариантов проектных решений при реконструкции и строительстве существующих автомобильных дорог и перекрестков.

Основными мероприятиями по повышению безопасности дорожного движения на участках концентрации ДТП являются назначение мероприятий, направленных на устранение неблагоприятных дорожных факторов в целях повышения безопасности движения на участках концентрации ДТП и их реализация [2].

В настоящее время управление дорожным движением невозможно без технических средств организации дорожного движения (рис. 1) и обустройства автомобильных дорог.

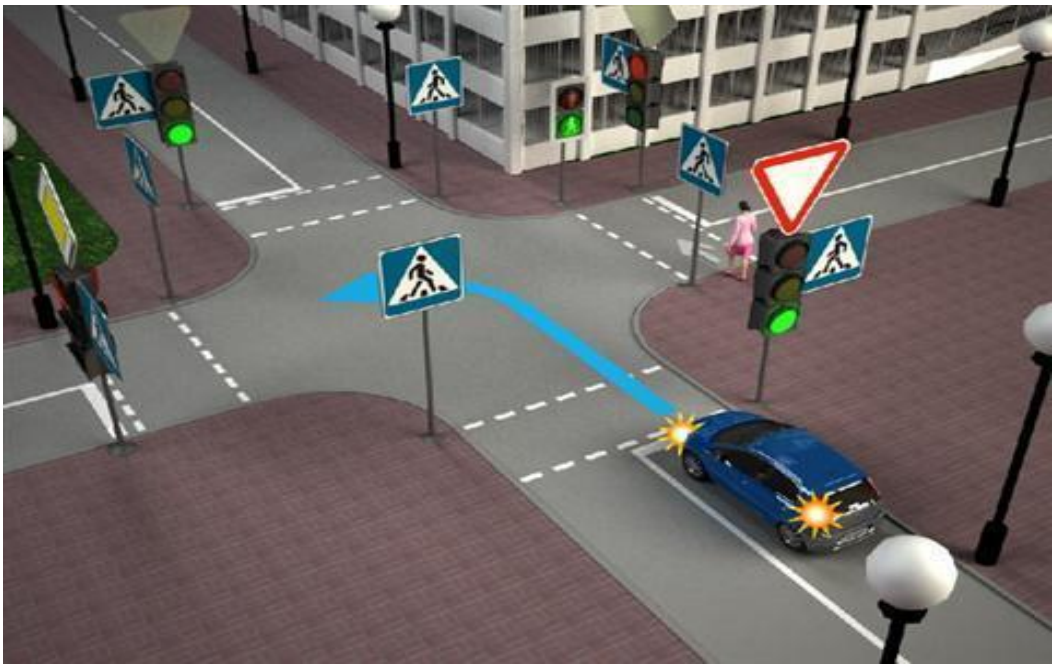


Рис. 1. Перекрёсток в населенном пункте

Перекрёстки являются местами, где, как правило, наиболее часто возникают ДТП и задержки движения. В нашей стране около 25 % общего числа ДТП происходит на перекрестках. Поэтому именно в этих местах, в первую очередь, требуется применение мер по организации дорожного движения и, в частности, введение принудительного регулирования.

Одни из самых напряженных перекрестков города Миасс:

– улица Лихачёва и улица 8 Марта;

– улица 8 Июля и улица Лихачева;

– проспект Автозаводцев и улица Предзаводская;

– Тургоякское шоссе и улица Севастопольская;

– улица Б. Хмельницкого и дорога в пос. Тургояк;

– проспект Октября и улица Жуковского.

1. Перекрёсток: улица Лихачёва и улица 8 Марта

Проблема: Затруднен проезд автомобилей через перекрёсток прямо, невозможно повернуть налево в любом направлении.

Решение проблемы: Добавление дополнительных полос (рис. 2) с целью улучшения разъезда транспорта и уменьшения затора на перекрестке:

– для движения в направлении сверху вниз со стороны улицы Лихачева на проспект Автозаводцев и для движения со стороны улицы 8 Марта в направлении улицы Лихачева добавить за 25 метров дополнительные полосы для поворота направо.

Возможные улучшения данного перекрестка

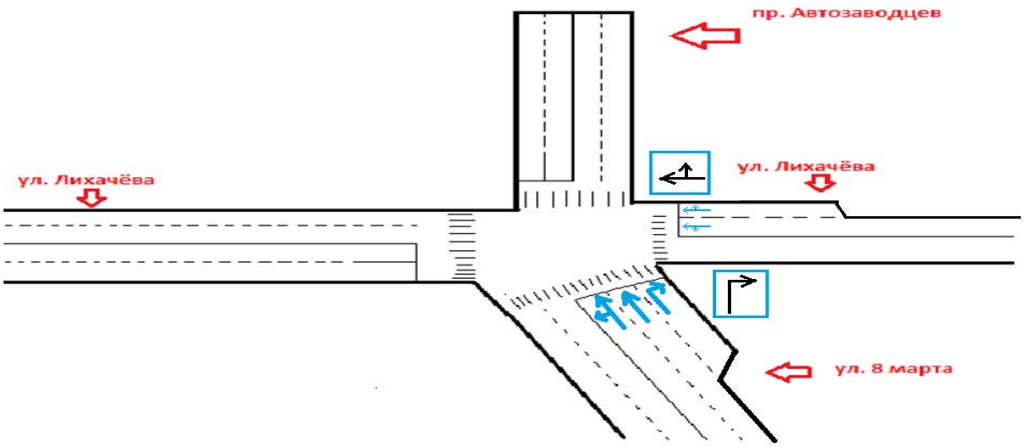


Рис. 2. Перекрёсток улицы Лихачёва и улицы 8 Марта после доработки

2. Перекрёсток: улица 8 Июля и улица Лихачева

Проблема: Затруднён проезд автомобилей на перекрёстке прямо и поворот налево для всех направлений.

Решение проблемы: Необходимо увеличение проезжей части (рис. 3) путем добавления полос на перекрестке (для движения в направлении со стороны улицы 8 Июля на улицу Лихачева на 25 м и для движения со стороны улицы Академика Павлова в направлении улицы Лихачева добавить за 50 метров дополнительные полосы для поворота направо).

Рис. 3. Перекрёсток улицы 8 Июля и улицы Лихачева после доработки

3. Перекрёсток: проспект Автозаводцев и улица Предзаводская

Проблема: 1. Создаётся затор из-за скользкого подъёма дороги, где не могут тронуться с места грузовые автомобили после остановки у светофора.

2. Талые воды стекают на перекресток улиц 8 Июля, где отсутствует сток воды.

На пересечении в одном уровне улица может иметь пропускную способность до 400 авт./ч на одну полосу, а на всем остальном протяжении – не менее 1000 авт./ч на полосу; пропускная способность этой улицы будет определяться пропускной способностью пересечения. В реальных условиях пропускную способность улицы определяет наименьшая пропускная способность одного из ее участков или сечений (пересечений, подъемов, спусков, участков резкого снижения скоростей движения, зон слияния и переплетения потоков).

Решение проблемы: Режим светофоров установить в «зеленой волне», установить или реконструировать водоотводы, а также регулярно проводить уборку и обработку дорог.

При 60 км/ч (16,6 м/сек) автомобиль проедет расстояние 240 м за 14,5 сек.

При скорости 40 км/час (11,1 м/сек) автомобиль проедет расстояние 240 м за 21,6 сек.

Один из путей решения – это пропускать автомобили на светофорах улицы 8 июля и перекрестка улицы Предзаводской (рис. 4) по «зеленой улице», то есть, включать зелёный свет на обоих светофорах одновременно, далее через 20 секунд включать красный свет на светофоре на улице 8 Июля и через 10–15 секунд на перекрёстке проспекта Автозаводцев с улицей Предзаводской [4].

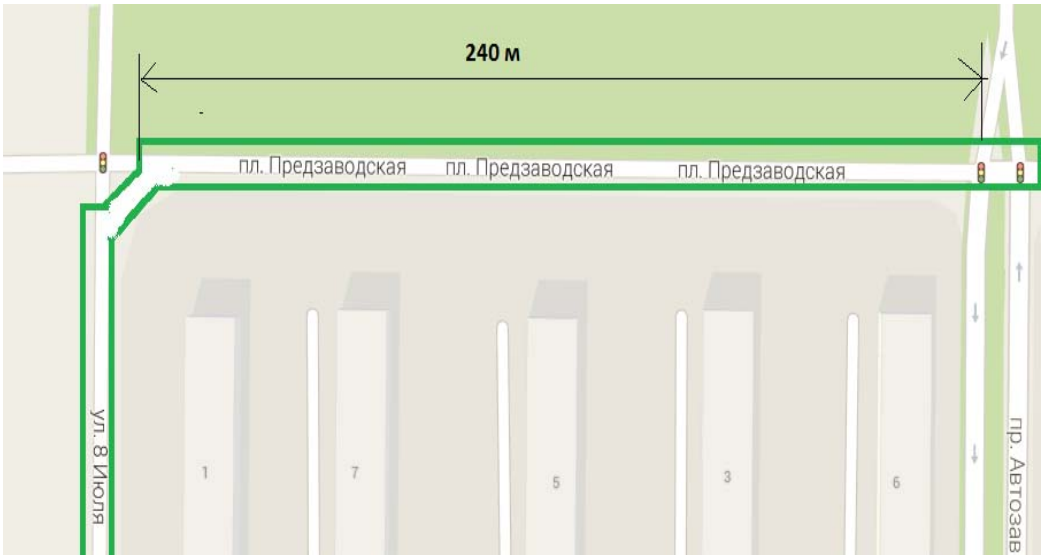


Рис. 4. Поворот с улицы 8 Июля на улицу Предзаводскую после доработки

4. Перекрёсток: Пересечение Тургоякского шоссе и улицы Севастопольской.

Проблема: недостаточное количество полос для разгрузки перекрёстка при движении автомобилей в прямом направлении.

Решение проблемы: необходимо увеличение ширины проезжей части в районе перекрестка путем добавления полосы (рис. 5) за 50 м для поворота направо.

Схема перекрестка после устранения проблемы:

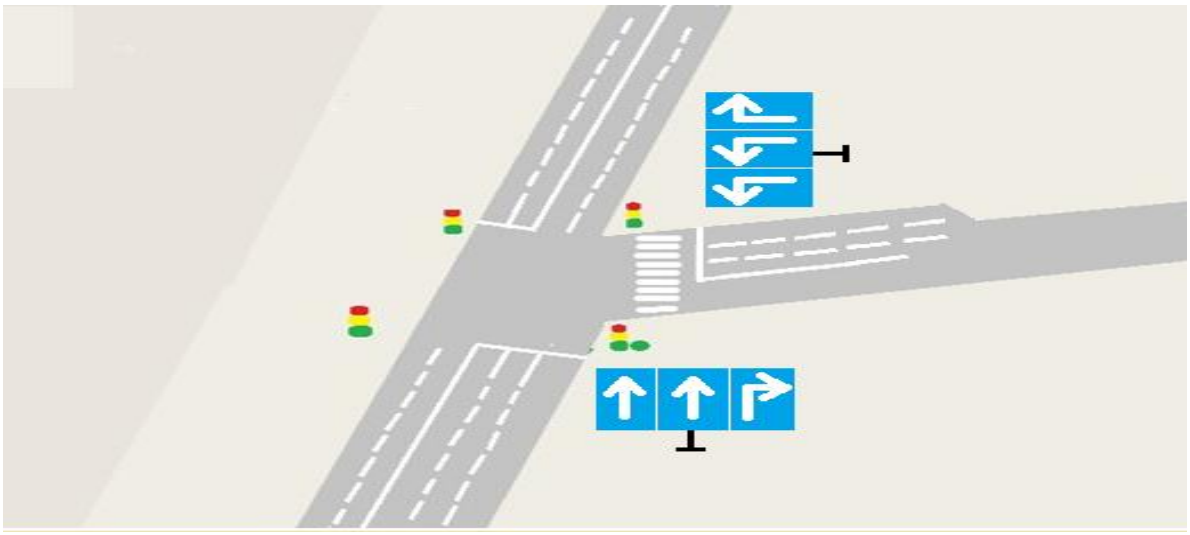


Рис. 5. Перекрёсток Тургоякского шоссе
и улицы Севастопольской после доработки

5. Перекрёсток: улица Б. Хмельницкого и дорога в пос. Тургояк.

Проблема: недостаточное количество полос для разгрузки перекрестка при движении автомобилей во всех направлениях.

Решение проблемы: необходимо увеличение ширины проезжей части в районе перекрестка путем добавления (рис. 6) полос за 100 м для поворота направо и проезда в прямом направлении.

Схема перекрестка после доработки:

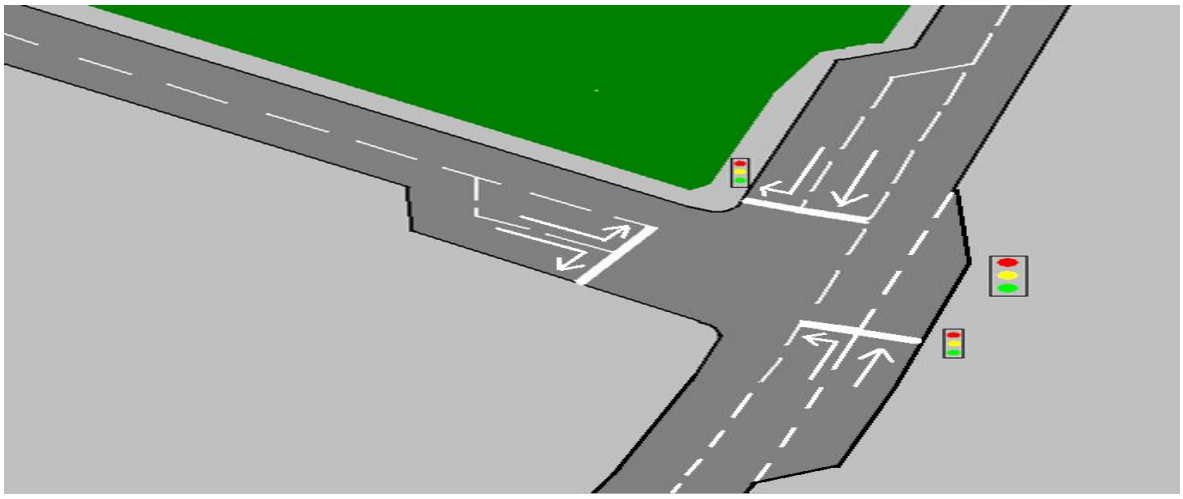


Рис. 6. Перекрёсток улицы Б. Хмельницкого
и дороги в пос. Тургояк после доработки

6. Перекрёсток: проспект Октября и улица Жуковского.

Проблема: недостаточное количество полос для разгрузки перекрестка при движении автомобилей сверху с улицы Жуковского при повороте направо на проспект Октября в районе остановки «улица Жуковского».

Решение проблемы: необходимо оборудовать остановочный комплекс заездным карманом для общественного транспорта, чтобы при повороте направо транспорт не мешал (рис. 7) автомобилям поворачивать.

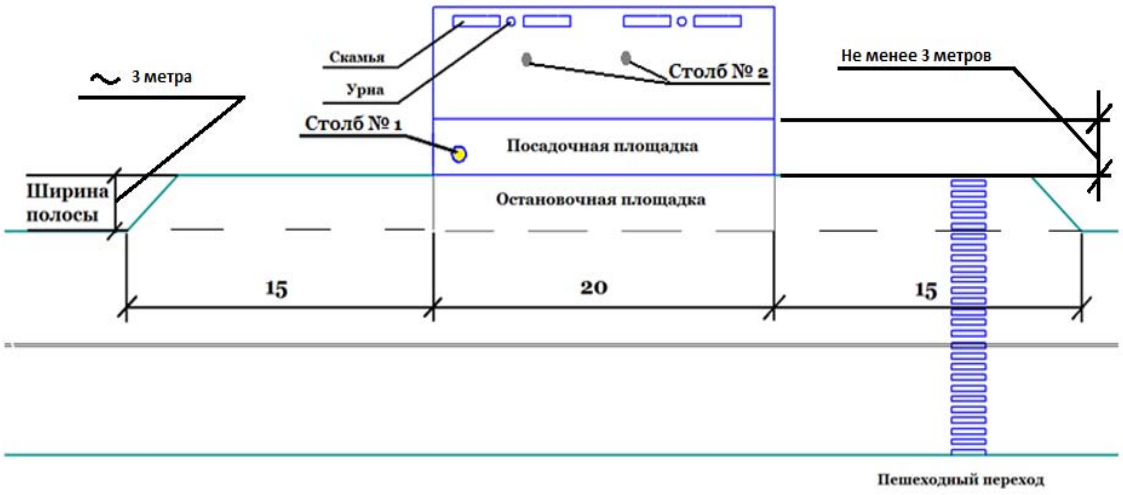


Рис. 7. Перекрёсток проспекта Октября и улицы Жуковского

Анализируя дорожные условия, следует обратить внимание на важнейшие требования по обеспечению безопасности движения.

К ним относятся минимально необходимые условия для нормального функционирования подсистемы «водитель – автомобиль», т.е. условия, обеспечивающие безопасность при заданной скорости движения, а именно:

– достаточная дальность видимости дороги в направлении движения, боковая видимость на пересечениях;

– соответствие основных геометрических элементов дороги габаритным размерам и параметрам, характеризующим транспортные средства, которые преобладают в данных условиях в транспортном потоке;

– состояние покрытия дороги (ровность, коэффициент сцепления) [3].

Организационные мероприятия по изменению движения на перекрёстках способствуют упорядочению движения на уже существующей (сложившейся) улично-дорожной сети. К числу таких мероприятий относятся введение или добавление дополнительных полос с целью улучшения разъезда транспорта, установление режима светофора в «зеленую волну», оборудование остановочного комплекса заездным карманом для общественного транспорта и другие.

Библиографический список

1. Клинковштейн, Г.И. Организация дорожного движения / Г.И. Клинковштейн, М.Б.Афанасьев. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
2. Коноплянко, В.И. Организация и безопасность дорожного движения / В.И. Коноплянко. – М.: Транспорт, 2007. – 383 с.
3. ОСТ 218.1.002-2003.
4. Камерлохер, В.А. Безопасность движения автомобильного транспорта на дорогах г. Миасса Челябинской области / В.А. Камерлохер // Материалы 65-й научной конференции. Технические науки. – Челябинск: Издат. Центр ЮУрГУ, 2014. – Т. 2. – С. 398–403.
5. СНиП 2.05.02-85.

К содержанию

УДК 629.113

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И РАСЧЕТНЫХ ДАННЫХ НАГРУЖЕННОСТИ КОЛЕСНЫХ МАШИН

М.И. Абрамов

При выполнении исследовательских работ по анализу нагруженности колесных машин, как правило, появляется большой объем экспериментальных и расчетных данных, требующих статистической обработки и хранения. С этой целью разрабатываются специализированные базы данных.

Ключевые слова: нагруженность; временная реализация; случайный процесс; спектральный анализ; база данных.

В процессе проектирования колесной машины наиболее объемным и значимым является этап расчетных исследований и экспериментальной отработки конструкции. В ходе исследований динамики движения и нагруженности колесной машины записывается большой объем данных по напряжениям, виброускорениям, относительным перемещениям, скоростям движения. Как правило, эти данные представляют собой временные реализации случайного процесса. На основании полученных данных проводится анализ нагруженности конструкции, идентификация расчетной модели, проверочные расчеты.

Перед анализом конструкции все полученные данные необходимо систематизировать по группам датчиков, по маршрутам движения, по заездам на каждом маршруте, по участкам в пределах каждого заезда. В результате в процессе анализа, при выборе конкретного заезда и участка движения, должно быть видно временные реализации, принадлежащие именно данному участку движения (рис. 1). Учитывая тот факт, что в процессе иссле-

дований накапливается более 1000 записей временных реализаций различной длины и размерности, необходима автоматизация обработки данных.

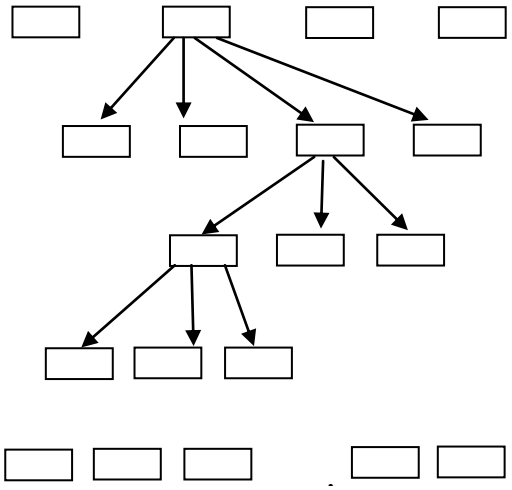
Реализация данной задачи возможна за счет создания специализированной базы данных (БД) на основе графического пользовательского интерфейса (GUI). При этом к БД предъявляются следующие требования:

– ни один измеренный процесс не может быть потерян;

– должна выполняться гибкая автоматизированная обработка большого числа процессов;

– необходимо обеспечить быстрый доступ и наглядное отображение каждого процесса;

– требуется удобство и безошибочность работы за счет внедрения в БД необходимой справочной информации по структуре и характеристикам испытаний, измеренным процессам и правилам работы с БД.



количество групп датчиков

количество маршрутов
для каждой группы датчиков

количество заездов
для каждого маршрута

количество участков
в пределах каждого заезда

количество временных реализации
для каждого участка

Рис. 1. Блок-схема базы данных

Разработанная БД (рис. 2) позволяет решить следующие задачи:

– построить график временных реализаций заездов колесной машины по любому маршруту: по отдельности или всех сразу;

– построить график временных реализаций участков, относящихся к определенной категории дорог (всех сразу или по отдельности) отдельно или на фоне полного сигнала;

– предварительно, перед выводом графиков, провести необходимую фильтрацию;

– провести спектральный анализ любого отрезка временной реализации, причем выбор отрезка осуществляется с помощью «мыши»;

– построить график нагрузочного режима, полученного путем схематизации измеренных временных реализаций методом «падающего дождя»;

– оценить любой стационарный участок временной реализации с точки зрения соответствия распределения его мгновенных значений нормальному закону;

– сохранить выбранный сигнал в файл для последующей обработки в любой другой программе;

– получить справочную информацию по отдельным группам участков, заездам, маршрутам;

– посмотреть места установки датчиков, их описание.

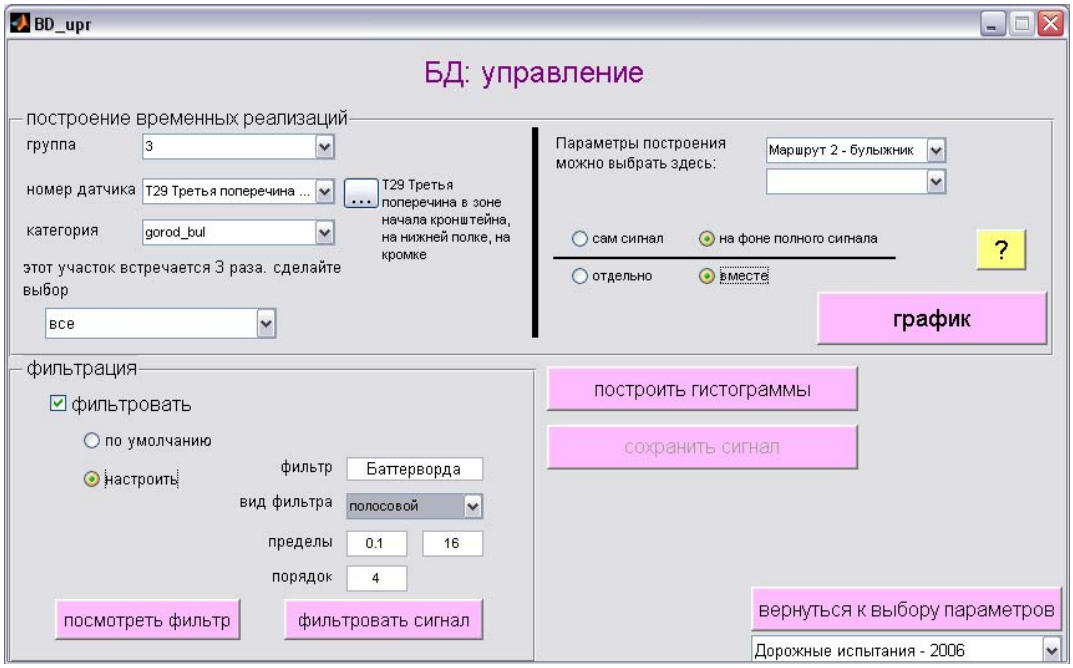


Рис. 2. Форма с параметрами построения графика

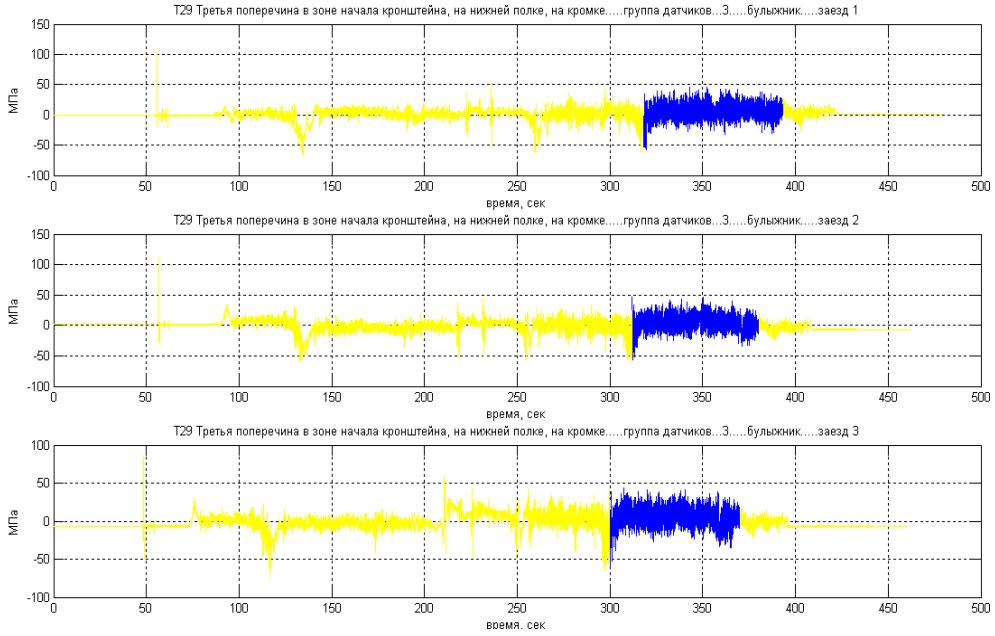


Рис. 3. Пример построения графика

Кроме сортировки массивов данных и вывода графиков временных реализаций в разработанной БД предусмотрена дополнительная обработка сигналов: спектральный анализ и анализ уровня нагруженности.

Спектральный анализ проводится только для отрезков временных реализаций, имеющих признак стационарности. Выполняется методом Уэлча, при котором временная реализация разбивается на ряд перекрывающихся сегментов, как показано на рис. 4.

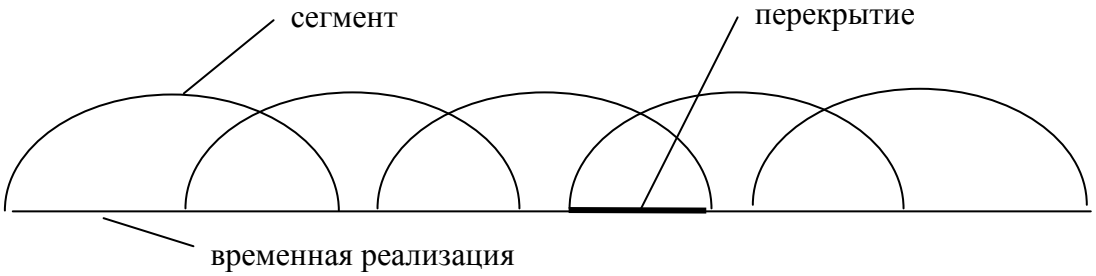


Рис. 4. К описанию метода Уэлча

Результирующая спектральная плотность находится путем осреднения спектральных плотностей отдельных сегментов. В программе используется окно Хамминга. Имеется возможность настроить два параметра метода Уэлча: размер окна и размер перекрытия. Размер окна – число временных точек одного сегмента (окна). Выбирается из ряда значений 2^i, где i – положительное целое число. Связь между числом сегментов (k), размером временной реализации (n), размером окна (s) и размером перекрытия (o) определяется выражением:

$$k = \frac{n - o}{s - o}. \qquad (1)$$

Программа позволяет провести спектральный анализ любого отрезка временной реализации. Для этого строится график временной реализации, выбирается необходимый диапазон (рис. 5), и запускается расчет спектральной плотности мощности (СПМ). В дополнительно всплывающем окне задаются необходимые параметры для расчета (рис. 6). После этого производится построение графика СПМ и расчет СКЗ (рис. 7).

В качестве проверки стационарности выбранного диапазона временной реализации выполняется построение графика плотности вероятности мгновенных значений и распределение по нормальному закону (рис. 8).

Помимо временных реализаций в БД хранятся нагрузочные режимы всех измеренных временных реализаций напряжений. Под нагрузочным режимом понимается дискретизированная функция распределения амплитуд напряжений, приведенная к 100 км пробега по типовой для данного класса колесной машины схеме эксплуатации. Функция распределения амплитуд напряжений вычисляется путем схематизации методом «падающе-

го дождя» временных реализаций отдельных измеренных участков, с последующим их осреднением в пределах категории участков и между категориями. Для построения графика нагрузочного режима в БД выбирается тензодатчик, и строится график нагрузочного режима (рис. 9 и 10).

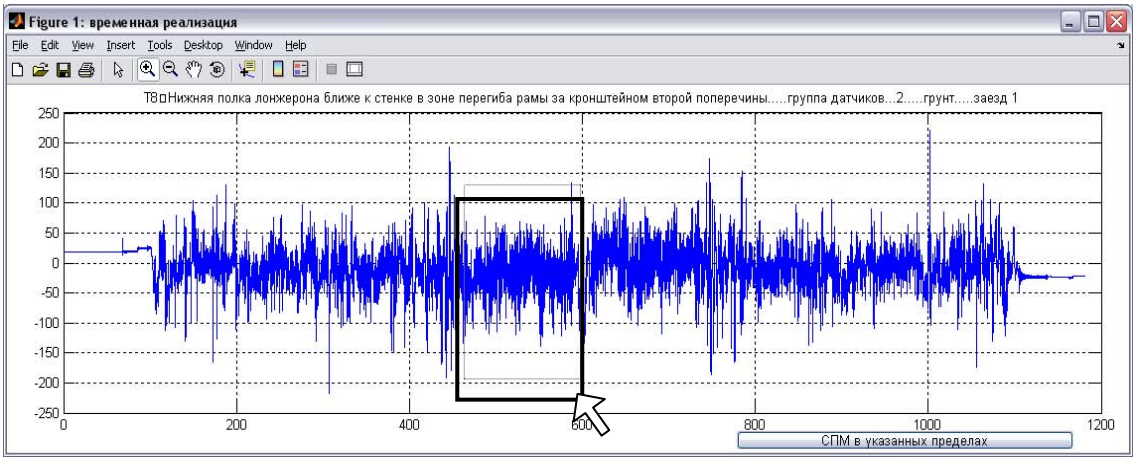


Рис. 5. Выбор участка для построения СПМ

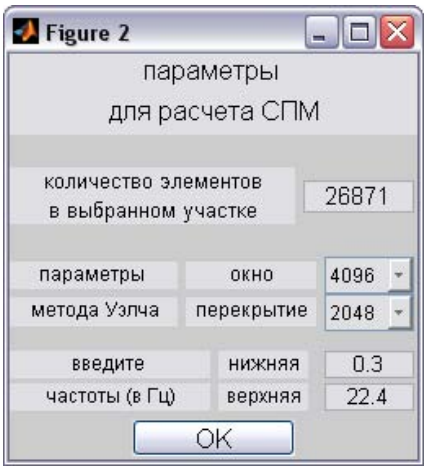


Рис. 6. Параметры для расчета СПМ

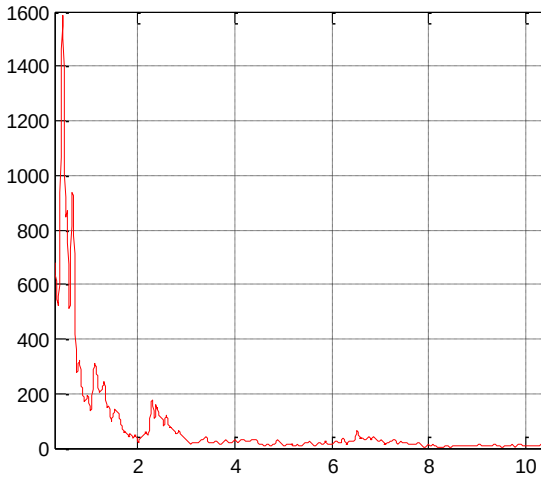


Рис. 7. График СПМ

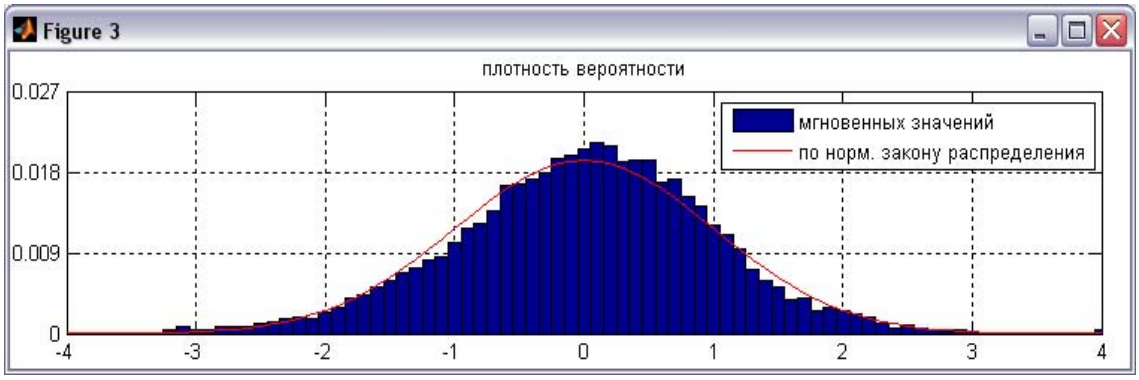


Рис. 8. Проверка закона распределения мгновенных значений

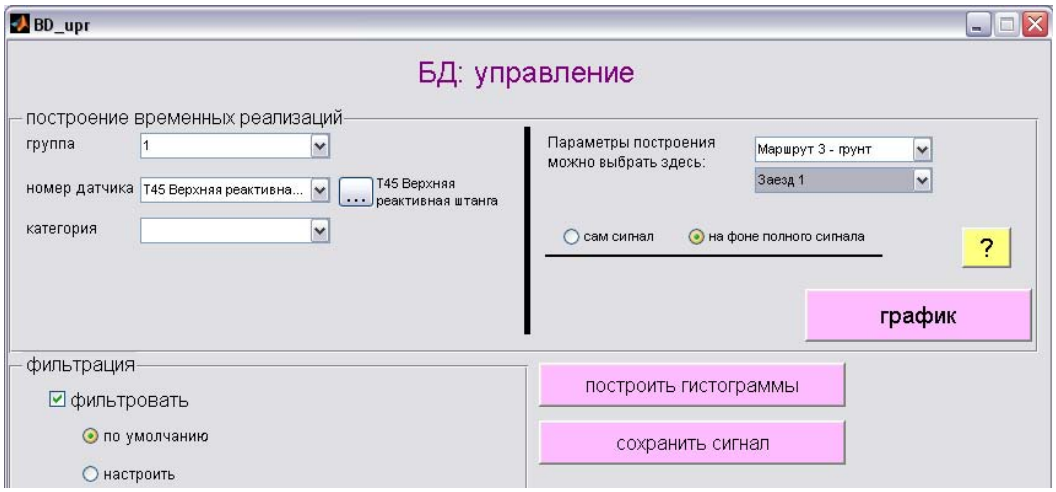


Рис. 9. Форма с параметрами построения гистограммы

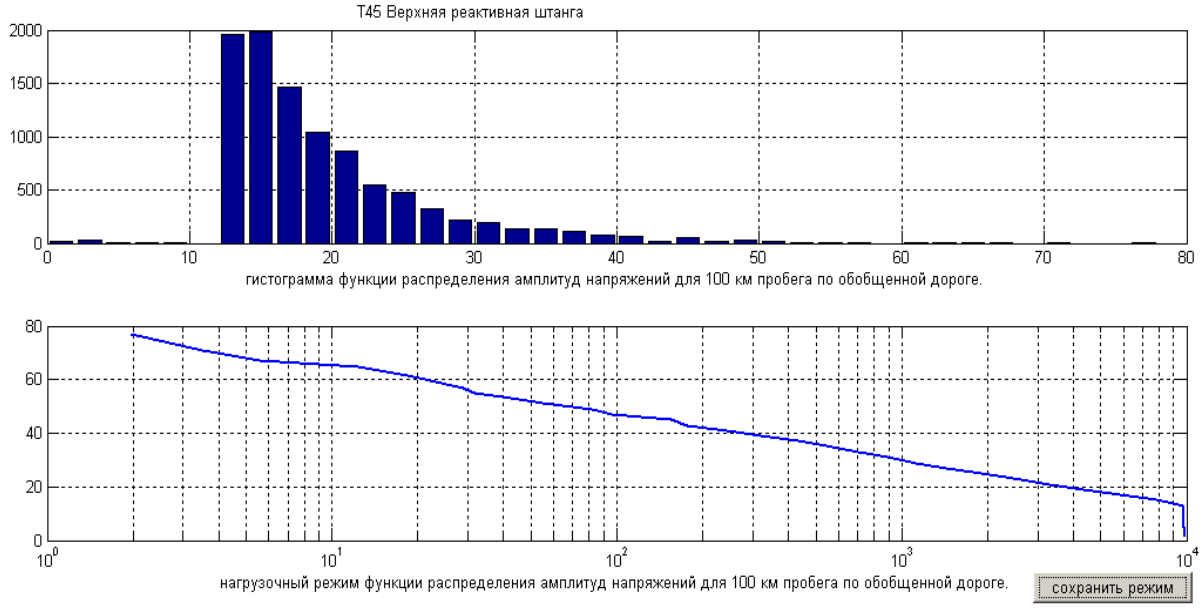


Рис. 10. Графики нагрузочного режима

Нагрузочный режим выводится в виде двух графиков:

а) в виде гистограммы, где по оси X отложены интервалы амплитуд, а по оси Y – число циклов для каждого из этих интервалов при пробеге 100 км;

б) в виде зависимости, где по оси Y отложен уровень амплитуд напряжений, а по оси X – число циклов, превышающих этот уровень за 100 км пробега.

Разработанная БД также содержит подробную справочную информацию с описанием условий испытаний, схем размещения датчиков по группам и заездам.

Автоматизация хранения и обработки данных в значительной степени сокращает время анализа полученных результатов, позволяет сравнивать расчетные и экспериментальные нагрузочные режимы, позволяет схематизировать режимы стендового нагружения для отдельных элементов конст-

рукции. Кроме того, создание специализированных баз данных позволяет накапливать базу знаний и, как следствие, стандартизировать нагрузочные режимы в процессе проектирования колесной машины.

Библиографический список

1. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2006. – 751 с.

2. Ануфриев, И.Е. Matlab 7 / И.Е. Ануфриев, А.Б. Смирнов, Е.Н. Смирнова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.

3. ГОСТ 25.101-83. Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов. – М.

4. Краснокутский, В.В. Состояние вопроса и постановка экспериментального исследования по оценке безопасности дорожного движения автопоездов / В.В.Краснокутский, М.Г. Штыка // Сборник научных трудов факультета «Машиностроительный» филиала ЮУрГУ в г. Миассе, Конструкции, технологии, управление в машиностроении и строительстве. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2008. – 221 с.

К содержанию

УДК 546+544

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ РАСПРОСТРАНЁННОСТЬ ОЛОВА В БИОСФЕРЕ И ЕГО БИОГЕННОСТЬ

В.Г.Мельниченко

В работе вопрос о связи между содержанием химического элемента в природной среде, выраженным через относительное число структурных единиц элемента в этой среде, и биогенностью рассмотрен применительно к олову. По результатам рассмотрения сделан вывод о необходимости исключения олова из числа биогенных элементов.

Ключевые слова: химический элемент; биогенность; структурные единицы.

Химические элементы, постоянно входящие в состав организмов и необходимые им для жизнедеятельности, относят к биогенным элементам

Для решения вопроса о корректном разделении всех химических элементов на биогенные и абиогенные автором была предложена методика оценки биогенности по содержанию химического элемента в природной среде, выраженному через относительное число структурных единиц элемента в этой среде [1, 2].

В качестве опорной была взята неселективная информация о двадцати восьми химических элементах, относимых в специальной литературе к биогенным (табл.) [9]. Распространенность химических элементов принята в соответствии с [10].

Таблица

Базовые биогенные химические элементы

№ п.п.	Литературные источники					
	Г. Браун, Г.Ю. Лемей [3]	А. Глэстон и др. [4]	Ю.Н. Кукушкин [5]	Ж.И. Абрамова и др. [6]	Дж. Эмсли [7]	А. Ленинджер [8]
1	H_2	H_2	H_2	H_2	H_2	H_2
2	C	C	C	C	C	C
3	N_2	N_2	N_2	N_2	N_2	N_2
4	O_2	O_2	O_2	O_2	O_2	O_2
5	Na	Na	Na	Na	Na	Na
6	K	K	K	K	K	K
7	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg
8	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca
9	P	P	P	P	P	P
10	S	S	S	S	S	S
11	Cl_2	Cl_2	Cl_2	Cl_2	Cl_2	Cl_2
12	F_2			F_2	F_2	F_2
13	Si				Si	Si
14	V		V		V	V
15	Cr		Cr	Cr	Cr	Cr
16	Mn	Mn	Mn	Mn	Mn	Mn
17	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe
18	Co		Co	Co	Co	Co
19	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu
20	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn
21	Se			Se	Se	Se
22	Mo	Mo	Mo	Mo	Mo	Mo
23	Sn				Sn	Sn
24	J_2			J_2	J_2	J_2
25		B	B		B	B
26			Ni		Ni	Ni
27		Sr				
28					As	As

Работа проводилась для трёх сценариев возникновения жизни на Земле:

– возникновение жизни в космической среде (на основе относительного общемирового содержания химических элементов). Распространённость химических элементов выражена через число атомов элемента на 10000 атомов. Элементы построены в порядке уменьшения числа молей в веществе;

– возникновение жизни в морской воде (на основе относительного содержания химических элементов в морской воде) Распространённость химических элементов выражена через число миллимолей элемента на килограмм вещества. Элементы построены в порядке уменьшения числа молей в веществе;

– два рассмотренных выше этапа возникновения жизни, следующих друг за другом.

Оценка на основе относительного общемирового содержания химических элементов показала, что гипотеза не подтверждается для 3 элементов, относимых к биогенным: молибдена, олова и йода.

Оценка, выполненная для относительного содержания химических элементов в морской воде, показала, что гипотеза не подтверждается для 6 элементов относимых к биогенным: ванадия, хрома, кобальта, никеля, молибдена и олова. Олово и молибден – два элемента не подтверждающих гипотезу выявлены для варианта возникновения жизни в космической среде с развитием её в морской воде.

Из шести химических элементов отнесенных к биогенным, но не являющихся самыми распространенными олово является наименее распространенным: 60-ая позиция в ряду уменьшения содержания в морской воде и 45-ая позиция в ряду уменьшения содержания в общемировом пространстве. Кроме того в некоторых литературных источниках олово относят к «возможно» биогенным элементам [12] или с формулировкой «элемент может быть важен для некоторых форм жизни включая человека» [7]. Сочетание этих факторов позволяет в рамках настоящего исследования исключить элементарное олово из списка базовых биогенных химических элементов, указанных в таблице.

Такое изменение позволит повысить достоверность гипотезы о том, что распространённость того или иного элемента в природе «не будучи решающим фактором» [5], является одним из необходимых факторов, названных в работе существенным.

Оценка биогенности олова по критерию относительной распространённости элемента в биосфере позволяет сделать вывод о необходимости исключения олова из числа биогенных элементов.

Библиографический список

1. Мельниченко, В.Г. Методика оценки зависимости элементного состава живых организмов от распространённости химического элемента в окружающей среде / В.Г. Мельниченко // Труды XXII Российской школы по проблемам науки и технологии. – М.: РАН, 2002.

2. Мельниченко, В.Г. Биогенные химические элементы в минеральных образованиях Мирового океана / В.Г. Мельниченко // Тезисы докладов. «III Научные чтения памяти В.О. Полякова». – Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 2002.

3. Браун, Г. Химия в центре наук / Г. Браун, Г.Ю. Лемей. – М.: «Мир», 1983.

4. Глэстон, А. Жизнь зелёного растения / А. Глэстон, П. Девис, Р. Сэттер. – М.: «Мир», 1983.

5. Кукушкин, Ю.Н. Химические элементы в организме человека / Ю.Н. Кукушкин // Соросовский Образовательный Журнал. – 1998. – № 5. – С. 54–58.

6. Абрамова, Ж.И. Человек и противоокислительные вещества / Ж.И. Абрамова, Г.И. Оксигендлер. – Л.: «Наука», 1985.

7. Эмсли, Дж. Элементы / Дж. Эмсли. – М.: «Мир», 1993.

8. Ленинджер, А. Биохимия / А. Ленинджер. – М.: «Мир», 1985.

9. Мельниченко В.Г. Биогенные химические элементы биосферы / В.Г. Мельниченко // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Наука и освіта 2005». – Днепропетровск: Наука и освіта, 2005.

10. Кэй, Дж. Таблицы физических и химических постоянных / Дж. Кэй, Т. Лэби. – М.: «ГИФМЛ», 1962.

11. Скальный, А.В. Биоэлементология как синтезирующее направление в естествознании (Приглашение к дискуссии) / А.В. Скальный // Вестник ОГУ. – 2004. – № 4.

К содержанию

УДК 621.1: 532.5

АНАЛИЗ РАССОГЛАСОВАНИЯ ВЕЛИЧИН СУММАРНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ ЖИЛЬЦАМИ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА ПРИ ЕГО КОММЕРЧЕСКОМ УЧЕТЕ ПО ПОКАЗАНИЯМ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ И ОБЩЕДОМОВЫХ ПРИБОРОВ ПУТЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.Г. Зезин, А.И. Новиков

Разработана стохастическая математическая модель и проведено имитационное моделирование потребления горячей воды жильцами многоквартирного дома. Проведен анализ факторов влияющих на погрешность определения суммарного потребления горячей воды по индивидуальным водосчетчикам и общедомовым приборам учета.

Ключевые слова: коммерческий учет, система ГВС, погрешность измерения, имитационное моделирование.

Неравномерность водопотребления в течение суток и недели может явиться причиной значительных расхождений в величинах суммарного водопотребления, определенных по индивидуальным водосчетчикам и по общедомовым приборам, так как погрешность измерений обычно возрастает при уменьшении расхода относительно эксплуатационного значения измерительного прибора. Зависимость погрешности измерения от расхода теплоносителя, как правило, нелинейная, поэтому определить предельные значения указанных выше расхождений, основываясь на средних значениях потребления горячей воды (ГВ), невозможно. Для корректных оценок необходимо иметь конкретную реализацию расхода ГВ, как в системе, так и у каждого потребителя по времени. Эти зависимости расхода и будем получать, используя методологию имитационного моделирования.

Смоделируем потребление ГВ каждым жильцом дома в течение суток $M_{1i}(t)$ и суммарное суточное потребление $M(t)=\sum_{i=1}^{N} M_{1i}(t)$, где N – общее количество жильцов дома, t – текущее время суток. Зная метрологические характеристики индивидуальных водосчетчиков и общедомового расходомера, можем найти предел абсолютной и относительной погрешности определения суммарного потребления ГВ $M(t)$ в случаях учета суммарного потребления горячей воды по общедомовым и индивидуальным приборам.

Рассмотрим определение предела погрешности $M(t)$ в случае учета расхода по индивидуальным приборам.

Текущее водопотребление $M_{1i}(t)$ представляет собой интеграл от мгновенных значений расхода $G_{1i}(t)$ потребляемой i-ым жильцом горячей воды:

$$M_{1i}(t) = \int_0^t G_{1i}(t)\,\mathrm{d}t\,. \qquad (1)$$

Разбив область интегрирования [0, t] на интервалы t_j, в пределах которых расход $G_{1i}(t_j)$ остается приблизительно постоянным, вместо (1) получим:

$$M_{1i}(t) = \sum_j G_{1i}(t_j)t_j = \sum_j M_{1i}(t_j), \qquad (2)$$

где $M_{1i}(t_j)$ – потребление ГВ i-ым жильцом на временном интервале t_j.

Максимальную оценку $\Delta M_{1i}(t)$ предела абсолютной погрешности определения потребленной ГВ i-ым жильцом на момент времени t найдем, считая, что погрешность каждого водосчетчика представляет собой неисключаемую систематическую погрешность:

$$\Delta M_{1i}(t) = \sum_j \Delta M_{1i}(t_j) = \sum_j M_{1i}(t_j)\delta_{M_{1i}}\left[G_{1i}(t_j)\right]. \qquad (3)$$

где $\delta_{M_{1i}}\left[G_{1i}(t_j)\right]$ – предел относительной погрешности водосчетчика при расходе $G_{1i}(t_j)$ (находится по документации на водосчетчик).

Погрешности водосчетчиков можно считать независимыми случайными величинами, следовательно, независимыми случайными величинами будут и $\Delta M_{1i}(t)$. Тогда предел абсолютной погрешности определения суммарного водопотребления всеми жильцами дома по индивидуальным приборам на момент времени t найдется, как:

$$\Delta M(t) = \left[\sum_{i=1}^{N} \Delta M_{1i}^2(t)\right]^{0,5}, \qquad (4)$$

а предел относительной погрешности, как:

$$\delta M(t) = \frac{\Delta M(t)}{M(t)}. \qquad (5)$$

Рассмотрим определение предела погрешности $M(t)$ в случае учета расхода по общедомовым приборам. Если система ГВС закрытая или открытая без рециркуляции, тогда для измерения потребления горячей воды применяется один расходомер. В этом случае, считая что случайная составляющая погрешности мала по сравнению с неисключаемой систематической, предел абсолютной погрешности находим по формуле:

$$\Delta M(t) = \sum_j G(t_j) t_j \delta\left[G(t_j)\right], \qquad (6)$$

где $\delta_G\left[G(t_j)\right]$ – предел относительной погрешности расходомера при расходе $G(t_j) = \sum_{i=1}^{N} G_{1i}(t_j)$, равном суммарному расходу горячей воды на интервале времени t_j.

Для определения относительной погрешности используется формула (5).

Если система ГВС открытая с рециркуляцией, то в соответствии с [0] в данном случае должен измеряться расход воды в подающем и рециркуляционном трубопроводе системы ГВС, а расход потребленной ГВ определяется, как разность показаний данных расходомеров.

Тогда суммарное потребление ГВ в момент времени t_k найдется, как:

$$M(t_k) = \sum_{j=1}^{k}\left[G_{\text{п}}(t_j) - G_{\text{р}}(t_j)\right] t_j = \sum_{j=1}^{k} G_{\text{п}}(t_j) t_j - \sum_{j=1}^{k} G_{\text{р}}(t_j) t_j, \qquad (7)$$

где $G_{\text{п}}(t_j)$, $G_{\text{р}}(t_j)$ – расходы теплоносителя в подающем и рециркуляционном трубопроводе соответственно, которые зависят от доли рециркуляционного расхода при отсутствии водоразбора $k_{\text{р}} = G_{\text{р}}^{\max} / G_{\text{расч}}$ ($G_{\text{расч}}$ – максимальное расчетное секундное потребление ГВ).

Используя общее выражение для определения погрешности при косвенных измерениях [2], из (7) для абсолютной погрешности определения суммарного водопотребления получим:

$$\Delta M(t) = \sqrt{\left(\sum_j G_{\text{п}}(t_j) t_j \delta_{G_{\text{п}}}(t_j)\right)^2 + \left(\sum_j G_{\text{р}}(t_j) t_j \delta_{G_{\text{р}}}(t_j)\right)^2}, \qquad (8)$$

где $\delta_{G_{\text{п}}}(t_j), \delta_{G_{\text{р}}}(t_j)$ – относительная погрешность расходомеров, установленных на подающем и рециркуляционном трубопроводе, на временном интервале t_j, то есть при расходах $G_{\text{п}}(t_j)$ и $G_{\text{р}}(t_j)$ соответственно (находятся по документации на расходомеры).

Относительная погрешность определения $M(t)$ также как и в предыдущем случае находится по формуле (5).

Таким образом, если известно распределение потребления горячей воды каждым жильцом дома в течение суток $G_1(t_j)$, то погрешность определения потребленной ГВ по индивидуальным и общедомовым приборам учета может быть найдена по приведенным выше соотношениям и, следо-

вательно, оценено возможное расхождение определения суммарного потребления ГВ с использованием индивидуальных и общедомовых приборов учета.

В данной работе будем полагать, что $G_1\left(t_j\right)$ являются некоррелированными случайными величинами, моделирование которых выполним исходя из того, что периодичность потребления ГВ, при условии нахождения потребителя в квартире и его бодрствования подчиняется пуассоновскому потоку событий [3], а величина расхода ГВ, устанавливаемая потребителем, подчиняется нормально-логарифмическому закону распределения [4]. Тогда функция распределения случайной величины $G_1\left(t_j\right)$ запишется, как:

$$F_{G_1}\left(t_j, g_1\right) = \begin{cases} 1 - P_{\text{п/б}}\left(1 - e^{-\lambda t_j}\right), \ g_1 = 0, \\ \dfrac{P_{\text{п/б}}\left(1 - e^{-\lambda t_j}\right)}{\sqrt{2\pi}\sigma\left(t_j\right)} \int\limits_0^{\ln g_1} e^{-\frac{\left(x - \mu\left(t_j\right)\right)^2}{2\sigma\left(t_j\right)^2}} \, \mathrm{d}x, \ g_1 > 0, \end{cases} \tag{9}$$

где g_1 – заданная величина расхода ГВ, потребляемой индивидуальным потребителем; $P_{\text{п,б}}$ – вероятность одновременного наступления событий присутствия пользователя в квартире и его бодрствования; λ – интенсивность потока событий потребления ГВ; $\sigma\left(t_j\right), \mu\left(t_j\right)$ – параметры логнормального распределения.

С использованием представленной математической модели проведено имитационное моделирование потребления ГВ жильцами типового 9 этажного дома, имеющего 72 квартиры. Предполагалось, что в каждой квартире проживают по три человека и установлен один счетчик горячей воды. Рассматривалось четыре типа различных потребителей: допенсионного возраста с дневным режимом работы; допенсионного возраста с вечерним режимом работы; допенсионного возраста с ночным режимом работы; пенсионного и детского дошкольного возраста. Параметры математической модели оценивались экспертно и при расчетах приняты равными: λ = 2…3 1/ч для периода бодрствования и λ = 0,05 1/ч для остального времени суток; мода логнормального распределения $g_{1\,\text{mod}}$ = 40…80 л/ч; предельное отклонение расхода для вероятности γ = 0,95 $g_{1\,\gamma}$ = 400…600 л/ч. Распределение вероятности присутствия потребителя в квартире и его бодрствования приведено на рис. 1. В качестве индивидуальных приборов учета приняты водосчетчики СГВ [8], общедомовых – расходомеры ВЗЛЕТ [9, 10] и ВСТ [11]. Принято, что 70 % от общего количества жильцов – люди трудоспособного возраста, из них по 5 % работают в вечернюю

и ночную смену. При расчетах моделировалось потребление ГВ в течение 30 суток (в течение месяца). Из них 8 суток считались выходными, а остальные – рабочими. Рассмотрено три уровня интенсивности потребления: «высокий» (со средним расходом ~ 140 л/сутки на человека); «нормальный», (со средним расходом ~ 110 л/сутки на человека); «экономный», (со средним расходом ~ 80 л/сутки на человека).

Данные режимы потребления создавались варьированием параметров логнормального распределения расхода ГВ $g_{1\,\mathrm{mod}}$, $g_{1\,\gamma=0,95}$ и интенсивностью потока событий Пуассона λ в указанных выше пределах.

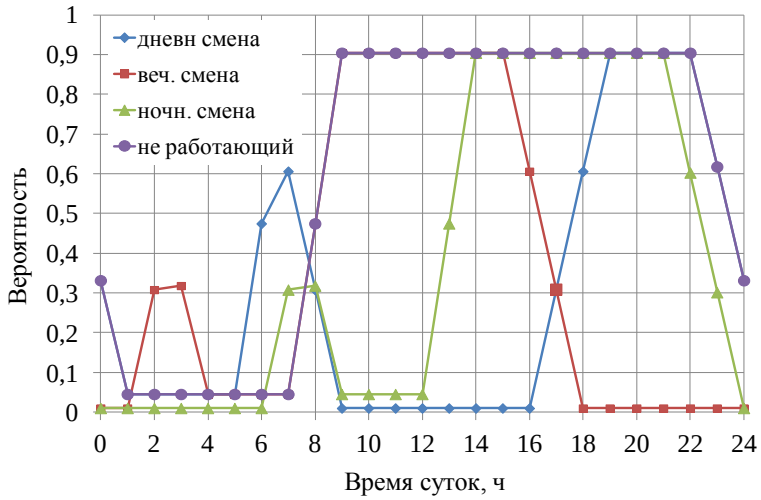


Рис. 1. Вероятность присутствия и бодрствования потребителя ГВ

Для генерирования случайных чисел с законом распределения (9) использовалось базовое – равномерное на интервале [0, 1] распределение, которое подвергалось преобразованию с целью получения желаемого распределения случайной величины [6]. Для моделирования логнормального распределения применялось преобразование Бокса-Мюллера [7].

При моделировании сутки разбивались на временные интервалы длительностью $t_j = 0,05$ ч. Приводимые ниже результаты расчетов представляют собой среднеарифметическое значение соответствующих величин при десятикратном моделировании месячного потребления ГВ. В качестве базового варианта для расчетов принято оснащение квартир водосчетчиками D_y = 15 мм, коэффициент рециркуляции системы ГВС k_p = 0,3, расходомер на подающем трубопроводе системы ГВС электромагнитный с диаметром условного прохода D_y = 25 мм, на рециркуляционном – D_y = 20 мм, режим потребления ГВ – «нормальный».

Пример изменения расхода по времени рабочих суток, полученного в результате моделирования, для ряда квартир в базовом варианте расчета показан на рис. 2, а общедомового – на рис. 3.

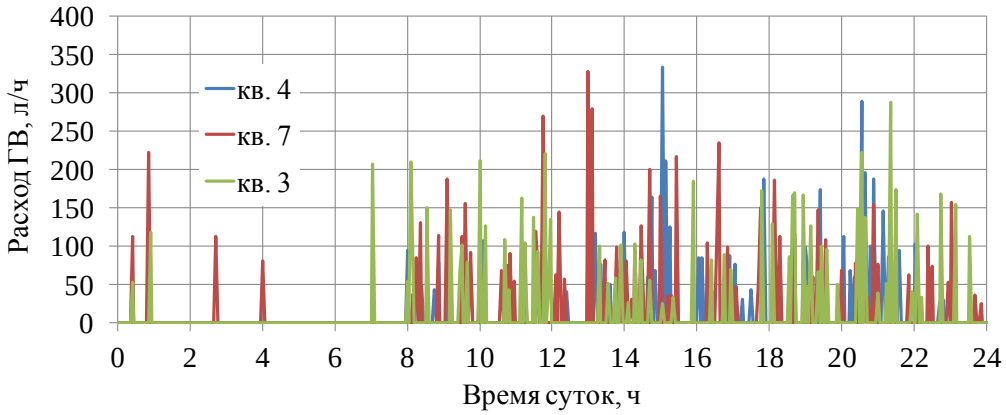


Рис. 2. Изменение по времени рабочих суток поквартирного расхода ГВ

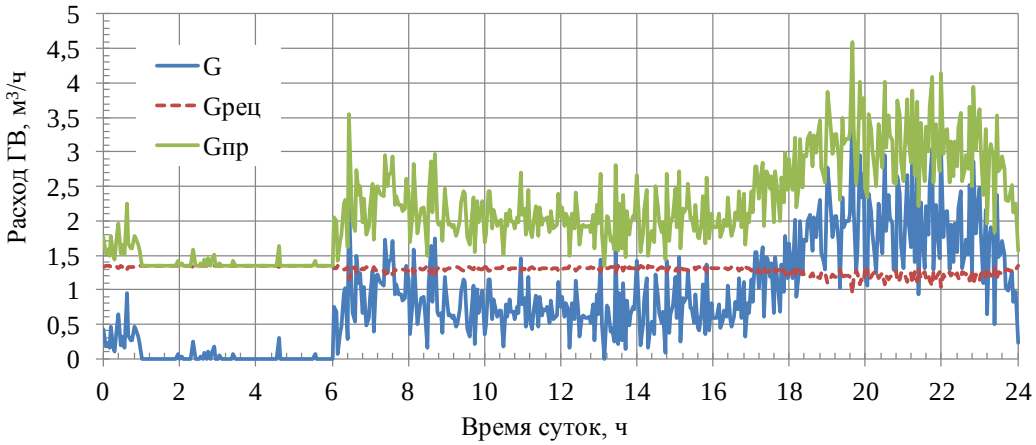


Рис. 3. Изменение по времени суток общедомового расхода ГВ

Погрешность определения месячного общедомового потребления теплоносителя в базовом варианте расчета составила:

- 0,38 % – при учете по индивидуальным водосчетчикам;
- 1,09 % – при учете по общедомовому расходомеру в открытой системе ГВС без рециркуляции (или в закрытой систем ГВС);
- 2,7 % – при учете по общедомовым расходомерам в открытой системе ГВС с рециркуляцией.

Как видим, погрешность определения общедомового потребления ГВ при учете по индивидуальным водосчетчикам оказывается существенно ниже, чем погрешность при учете водопотребления по общедомовым приборам. Это результат, кажущийся, на первый взгляд, противоречивым (ведь погрешность индивидуальных водосчетчиков в несколько раз выше погрешности электромагнитного расходомера), имеет естественное объяснение: происходит взаимная компенсация отклонений при суммировании результатов измерений, если они представляют собой независимые случайные величины. Действительно, мы суммируем близкие по абсолютному

значению величины M_i, погрешности которых ΔM_i также близки. В пределе, когда сами величины и их погрешности одинаковы, можем записать:

$$\delta M_\Sigma = \frac{\Delta M_\Sigma}{M_\Sigma} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} \Delta M_i^2}}{\sum_{i=1}^{N} M_i} = \frac{\sqrt{N}\Delta M_i}{N M_i} = \frac{1}{\sqrt{N}} \frac{\Delta M_i}{M_i} = \frac{1}{\sqrt{N}} \delta M_i . \qquad (10)$$

Их (10) видно, что относительная погрешность определения суммарного домового водопотребления при его учете по индивидуальным водосчетчикам убывает приблизительно обратно пропорционально корню квадратному из количества квартир дома.

Как следует из формул (3) и (4) на величину погрешности определения общедомового потребления ГВ при известном режиме потребления оказывают влияние: метрологические характеристики водосчетчиков и расходомеров, которые для выбранного типа приборов зависят от диаметра условного прохода; коэффициент рециркуляции (для открытой системы ГВС с рециркуляцией).

Зависимость погрешности определения массы ГВ, потребленной жильцами дома за месяц, по общедомовым расходомерам от этих параметров показана на рис. 4. Для системы с рециркуляцией диаметр условного прохода на рисунке обозначен дробью: в числителе приведен диаметр расходомера, установленного на подающем трубопроводе, в знаменателе – на рециркуляционном.

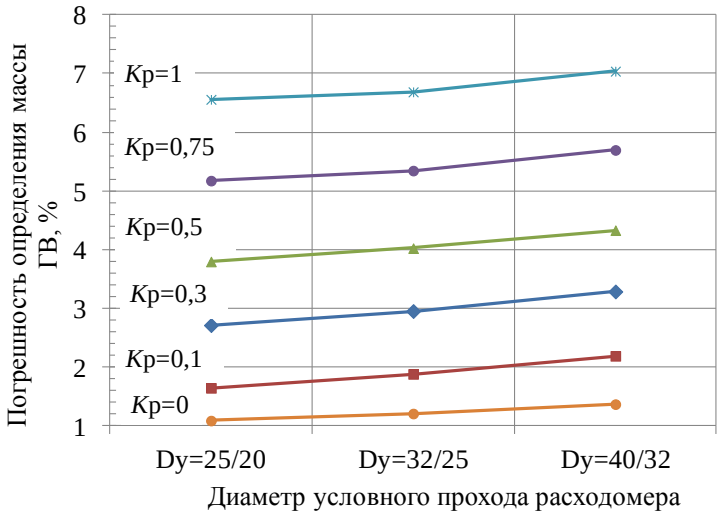


Рис. 4. Зависимость погрешности определения потребленной массы теплоносителя по общедомовым расходомерам от диаметра их условного прохода и коэффициента рециркуляции

Из рисунка видно, что погрешность практически линейно возрастает при увеличении коэффициента рециркуляции. Увеличение погрешности столь существенно, что в системах со 100 % рециркуляцией теплоносителя в рассмотренной системе ГВС уменьшить погрешность определения потребленной массы ГВ при ее учете по общедомовым приборам ниже ~ ± 6 % практически невозможно. Причиной этого роста погрешности при увеличении коэффициента рециркуляции является сам метод измерения: расход ГВС находится, как разность расходов в подающем и рециркуляционном трубопроводах. Чем меньше разность этих расходов, тем выше погрешность, что следует из формулы (8).

Из приведенных данных также следует, что установка в узле учета расходомеров «с запасом» по расходу может привести к заметному увеличению погрешности определения массы потребленного теплоносителя. Так при увеличении диаметра условного прохода на два калибра погрешность возрастает в системе ГВС без рециркуляции на ~ 0,3 %, в системе ГВС с рециркуляцией – на ~ 0,5 %. Переразмеривание индивидуальных водосчетчиков в меньшей степени сказывается на погрешности в силу действия закономерности (10), однако при малом количестве приборов учета увеличение погрешности может быть заметным.

Результаты моделирования также показывают, что применение расходомеров с более низкими метрологическими характеристиками, чем характеристики электромагнитных расходомеров, например тахометрических, приводит к увеличению погрешности приблизительно пропорционально инструментальной погрешности приборов.

В целом анализ полученных результатов моделирования позволяет сделать следующие выводы:

1. При 100 % оснащении потребителей водосчетчиками и достаточно большом количестве индивидуальных приборов учета (более ~ 30…50) метод определения общедомового потребления горячей воды путем суммирования показаний индивидуальных приборов учета дает меньшую погрешность, чем при использовании для этой цели показаний общедомового расходомера. Оценка погрешности данного метода может быть выполнена по формуле:

$$\delta M = \frac{\delta_{\max} + \delta_{\min}}{2\sqrt{N}}, \qquad (11)$$

где $\delta_{\min}$ – относительная погрешность водосчетчика в диапазоне расходов от G_t до $G_{\max}$; $\delta_{\max}$ – относительная погрешность водосчетчика в диапазоне расходов $G_{\min}$ до G_t; N – общее количество водосчетчиков, по которым ведется учет потребления ГВ в доме.

2. Минимальная относительная погрешность, которую можно достичь при определении потребленной массы теплоносителя с использованием общедомовых расходомеров, имеющих метрологические характеристики на уровне характеристик ВЗЛЕТ ЭР, составляет ~ 1…1,5 %. Применение расходомеров с более высокими или низкими метрологическими характеристиками изменяет погрешности приблизительно пропорционально пределу основной допускаемой относительной погрешности прибора. Так, например, использование в узле учета тахометрических расходомеров вместо электромагнитных увеличивает погрешность определения потребленной массы теплоносителя в ~ 2 раза.

3. При установке у конечных потребителей водосчетчиков с необоснованно завышенным верхним пределом измерения высок риск появления в их показаниях систематической погрешности, занижающей результаты учета относительно фактических значений потребления горячей воды (по оценкам до ~ 1,5 %). Появление отрицательной систематической погрешности наиболее вероятно при экономных режимах потребления, особенно, когда потребитель намеренно стремится поддерживать режим потребления с минимальными расходами, приближающимися к порогу чувствительности.

4. Переразмеривание общедомовых расходомеров также приводит к увеличению погрешности определения месячного потребления ГВ. Степень увеличения погрешности зависит от степени переразмеривания и от типа расходомера. Так установка электромагнитных расходомеров с диаметром условного прохода на два калибра больше, чем требуется по величине максимального эксплуатационного расхода, увеличивает относительную погрешность лишь на 0,3…0,5 %, а установка расходомера ВСТ с D_y = 50 мм вместо D_y = 32 мм приведет к увеличению относительной погрешности на 5…10 % в зависимости от типа системы ГВС.

5. Очень сильно на погрешность определения потребленной массы горячей воды сказывается величина коэффициента рециркуляции. С увеличением коэффициента рециркуляции погрешность возрастает. При рециркуляции 10% теплоносителя от расчетного расхода погрешность измерения массы потребленного теплоносителя, например, электромагнитными расходомерами составляет ~ ± 1,5 %. При 100 % рециркуляции измерение потребленной массы теплоносителя с погрешностью менее ± 6 % невозможно.

Корректно составленная схема и выбранные средства измерений обеспечат практически равноточное (с расхождением менее 1 %) определение массы потребленного теплоносителя ГВС как путем суммирования показаний индивидуальных водосчетчиков, так и по общедомовым приборам учета.

Библиографический список

1. Методика осуществления коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя – утверждена министром строительства и ЖКХ М.А. Меньем приказом от 17.02.14 № 99 пр.

2. Новицкий, П.Ф. Оценивание погрешностей результатов измерений / П.Ф. Новицкий, И.А. Зограф. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. – 304 с.

3. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

4. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное издание / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.

5. Разработка правил построения схем измерительных систем в узлах коммерческого учета применительно к системам тепловодоснабжения: отчет о НИР / ЮУрГУ; исполн. Зезин В. Г., Новиков А.И. – Миасс, 2014. – 174 с. Библиогр. с. 140. – Инв. № 10/14.

6. Бобков, С.П. Моделирование систем: учебн. пособие / С.П. Бобков, Д.О. Бытеев; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2008. – 156 с.

7. Box, G.E.P. A note on the generation of random normal deviates // Annals of mathematical statistics. – 1958. – 29, № 2. – Pp.. 610–611.

8. Счетчики холодной и горячей воды СХВ, СГВ: паспорт ПДЕК. 407223.002 ПС – ООО ПФК «БЕТАР», 2012.

9. Расходомер-счетчик электромагнитный ВЗЛЕТ ЭР: паспорт – ЗАО «Взлет», 2008.

10. Расходомер-счетчик электромагнитный ВЗЛЕТ ЭР исполнения ЭРСВ-4××(5××)Л, ЭРСВ-4××(5××)Ф: инструкция по монтажу В41.30-00.00 ИМ – ЗАО «Взлет», 2008.

11. Счетчики холодной и горячей воды ВСХ, ВСХд, ВСГ, ВСГд, ВСТ: руководство по эксплуатации РЭ 4213-200-18151455-2001 – ТТФ «Современные приборы» [Электронный ресурс]. – URL: www.sovpribor.ru.

К содержанию

УДК 621.317:697.034

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ НА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ПОЛЕ СКОРОСТИ ЖИДКОСТИ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ РАСХОДОМЕРА И ПОГРЕШНОСТЬ ЕГО ПОКАЗАНИЙ

А.И. Новиков, В.Г. Зезин, О.Н. Шабанов

Приведены результаты экспериментальных исследований на гидравлическом поверочном стенде показаний электромагнитного расходомера в зависимости от конструктивного оформления трубопровода перед расходомером, а также компьютерного 3D моделирования с использованием программного комплекса ANSYS CFX. Показано, что пренебрежение требованиями нормативной документации по выполнению прямолинейных участков трубопровода перед расходомером заданной длины может явиться причиной появления очень большой систематической положительной погрешности при измерении расхода воды в системе отопления и горячего водоснабжения.

Ключевые слова: коммерческий учет теплоносителя, электромагнитный расходомер, погрешность измерения расхода, 3D моделирование, экспериментальные исследования.

Введение

Одной из важных задач, решаемых в настоящее время в сфере ЖКХ, является организация коммерческого учета тепловой энергии и горячей воды у конечных потребителей, для чего вводы их систем теплоснабжения оснащаются соответствующими приборами учета. Одним из приборов учета является расходомер.

Существующие расходомеры и счетчики количества можно условно разбить на следующие группы:

– приборы, основанные на гидродинамических принципах – переменного перепада давления, переменного уровня, обтекания, вихревые, парциальные;

– приборы с непрерывно движущимся телом – тахометрические, силовые, с автоколеблющимся телом;

– приборы, основанные на различных физических явлениях – тепловые, электромагнитные, акустические, оптические, ядерно-магнитного резонанса, ионизационные;

– приборы, основанные на особых методах – метод меток, корреляционные, концентрационные.

Из приборов третьей группы наибольшее распространение получили электромагнитные расходомеры (ЭМР).

Физические принципы работы ЭМР и требования по стабилизации потока

В основе работы электромагнитных расходомеров лежит взаимодействие движущейся электропроводной жидкости с магнитным полем [1]. Наибольшее распространение получили расходомеры, у которых измеряется ЭДС, индуцируемая в жидкости, пересекающей магнитное поле. Для регистрации ЭДС используется участок трубопровода из немагнитного материала, покрытый неэлектропроводной изоляцией, содержащий два электрода, расположенных перпендикулярно, как направлению магнитных силовых линий, так и направлению движения жидкости, помещаемый между полюсами магнита.

Разность потенциалов U на электродах определяется уравнением

$$U = BDv = \frac{4BQ}{\pi D}, \quad (1)$$

где B – магнитная индукция, D – расстояние между электродами, численно равное внутреннему диаметру трубопровода, v – средняя скорость жидкости, Q – объемный расход жидкости.

Преобразовав формулу (1), получаем выражение для расхода:

$$Q = \frac{\pi DU}{4B}. \quad (2)$$

Показания электромагнитных расходомеров существенно зависят от симметрии поля скоростей измеряемого потока. При осесимметричном потоке показания расходомера при одном и том же расходе будут одинаковы как при турбулентном, так и при ламинарном течении. Это является большим преимуществом электромагнитных расходомеров по сравнению с другими типами. Однако при нарушении осевой симметрии, вызванной влиянием различных факторов механического характера, появляется влияние деформации поля скоростей на показания расходомеров. Это влияние обусловлено тем, что вклад отдельной частицы жидкости в создание разности потенциалов на электродах тем больше, чем ближе расположена эта точка к тому или другому электроду. Так как эта проблема существует и у расходомеров, работающих на других принципах, то было найдено простое техническое решение, позволившее ликвидировать осесимметричность эпюры скоростей. Проведенные ранее опыты [2–5] показали, что даже при очень сильных возмущениях потока, создаваемых дроссельным клапаном, или перегородкой с отверстием у края, достаточно прямого участка трубы длиною $L \geq (20…22)D_y$ для устранения влияния деформации потока на показания расходомера. При меньших возмущениях, вызываемых, например, коленом, достаточно участка трубы длины $L = (5...10)D_y$. Кроме того необходимо учесть, что на деформацию эпюры скоростей оказывают влияние механические возмущения, расположенные не только до

рассматриваемого сечения, но и после него. Поэтому обычно ограничивается длина прямолинейного участка трубопровода и после измерительного прибора.

Производители расходомеров в документации на прибор всегда приводят требования на длину прямолинейного участка трубопровода до и после преобразователя расхода. Для некоторых приборов данная информация приведена в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные данные по длинам прямых труб, устанавливаемых перед расходомерами

Наименование расходомера	Месторасположение информации	Длина прямолинейного участка трубы	
		до ЭМР	после ЭМР
ВЗЛЕТ ЭР	В41.30-0.00 ИМ	$3D_y$	$(2–3)D_y$
КАРАТ-550	http://тм-про.рф	$(5–10)D_y$	$2D_y$
ПРЭМ	http://тм-про.рф	$(5–10)D_y$	$2D_y$
ВСТ, ВСТН	http://тм-про.рф	$5D_y$	$1D_y$
ЭМИС-МАГ 270	www.emis-kip.ru/prod/em270	$5D_y$	$3D_y$
Proline Promag	www.endress.nt-rt.ru	$5D_y$	$2D_y$

Однако указанные требования не всегда выполняются, в связи с чем могут возникать противоречия между показаниями общедомовых приборов учета и суммарными показаниями индивидуальных потребителей [6].

Теоретические исследования влияния местных сопротивлений на поле скоростей в трубопроводе

Для определения изменения профиля скорости и распределения средней скорости в потоке за возмущающими элементами и, соответственно, правильного выбора места размещения расходомера были проведены численные расчеты течения воды в трубе с использованием программного продукта ANSYS CFX.

При составлении 3-D модели течения жидкости в канале на стенках домена задавались граничные условия входа с заданной скоростью воды, а также граничное условие выхода с избыточным давлением 0 Па. На остальных границах доменов были заданы граничные условия типа «стенка» с абсолютной шероховатостью 0,05 мм, что соответствует среднему значению шероховатости используемых в технике стальных труб. Расчет проводился в стационарном режиме до достижения средней невязки по контрольным объемам порядка 10^{-4}. Во всех расчетных случаях была использована k – ε модель турбулентности.

Были рассмотрены следующие расчетные случаи:

1. Рассмотрено течение воды постоянной температуры через трубу диаметром условного прохода 80 мм, общей длиной 1 м с размещенной на расстоянии 100 мм от входа шайбой с произвольно расположенными в ней отверстиями. Расчеты проведены при двух значениях скорости на входе 0,5 м/с и 2 м/с. Результаты расчетов в виде распределения поля скоростей в нескольких сечениях трубы и вдоль по потоку приведены на рис. 1.

2. Рассмотрено течение воды со скоростью 2 м/с через трубу диаметром условного прохода 80 мм, общей длиной 1 м с размещенным на расстоянии 100 мм от входа стержнем круглого сечения диаметром 10 мм, имитирующим чувствительный элемент термометра сопротивления, а также с поворотом потока под прямым углом с последующим обтеканием стержня. Результаты расчетов в виде распределения поля скоростей в нескольких сечениях трубы и вдоль по потоку приведены на рис. 2.

3. Рассмотрено обтекание водой с начальной скоростью 0,335 м/с (соответствующей расходу 4 $м^3$/час) препятствия в виде дискового затвора. Результаты расчетов распределения поля скоростей в нескольких сечениях трубы и вдоль по потоку приведены на рис. 3 и 4.

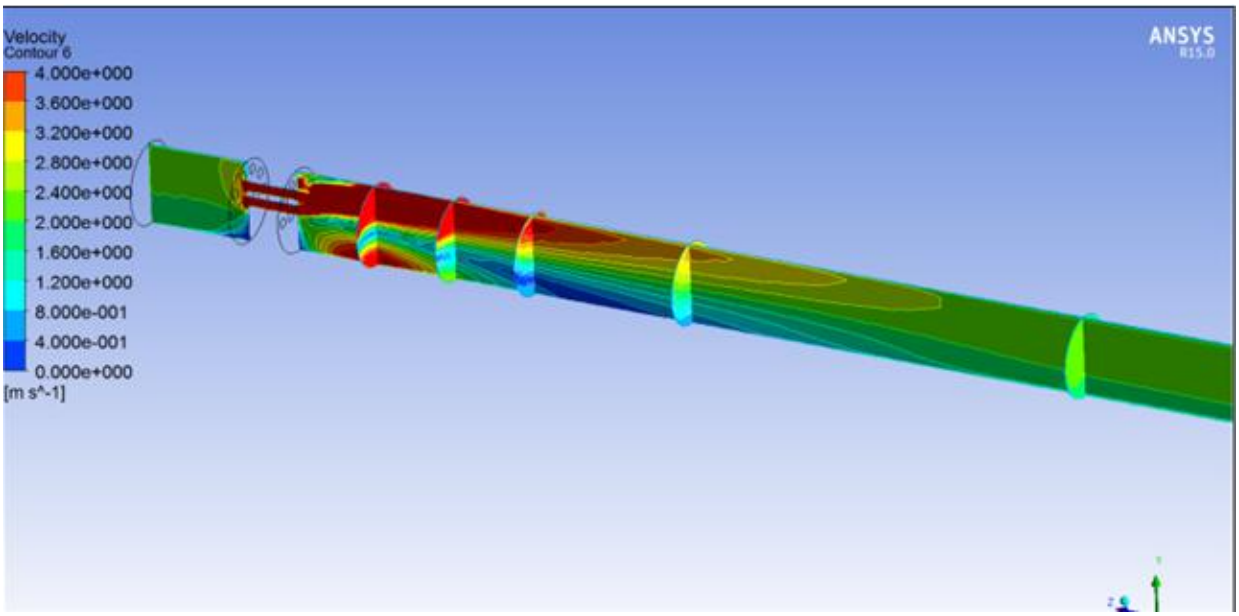


Рис. 1. Поле скоростей в трубе после прохождения потоком произвольного препятствия в виде шайбы с произвольно расположенными отверстиями различного диаметра

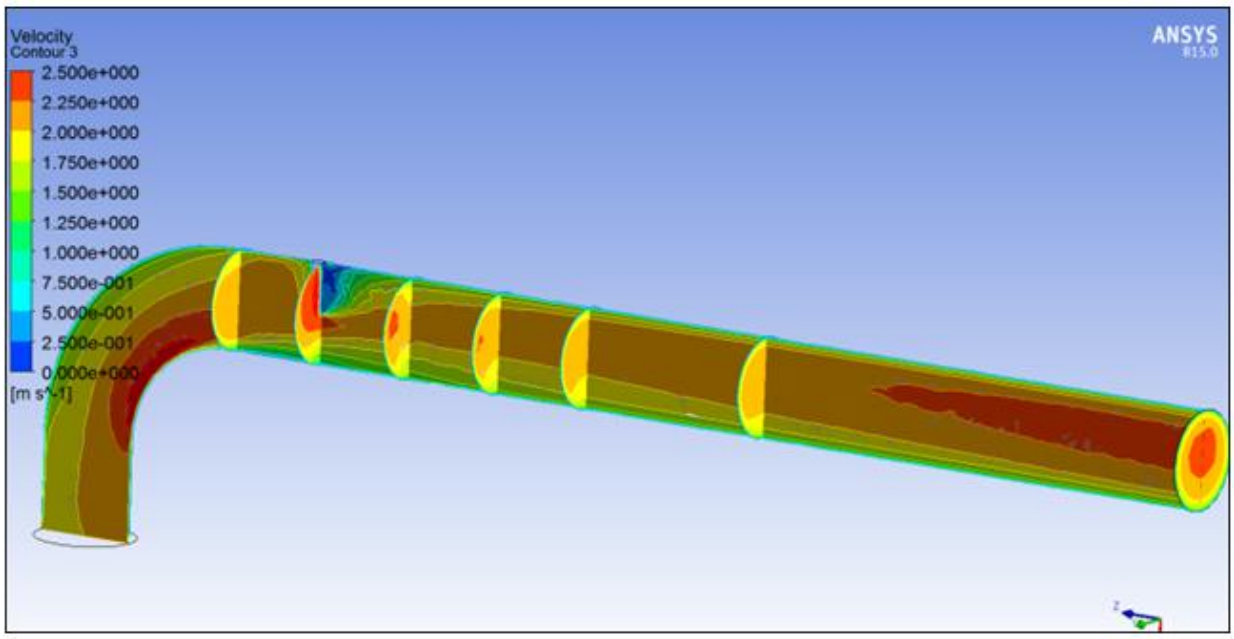


Рис. 2. Поле скоростей в трубе после поворота и обтекания стержня

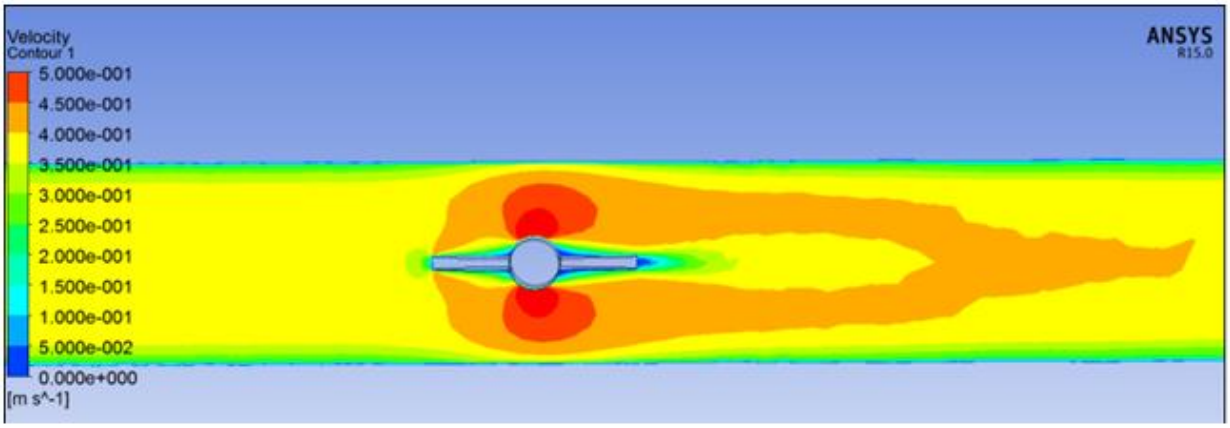


Рис. 3. Поле скоростей в трубе при прохождении потоком
полностью открытого дискового затвора

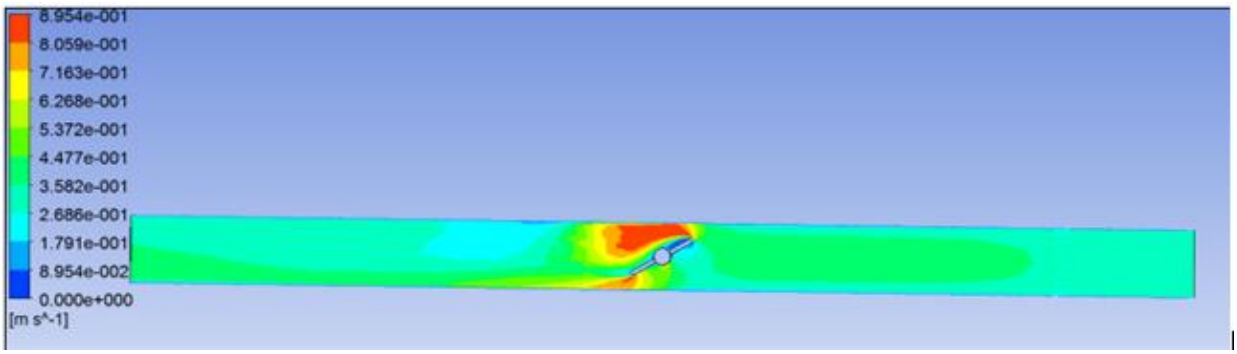


Рис.4. Поле скоростей в трубе при прохождении потоком
частично прикрытого дискового затвора

Анализ рассмотренных случаев показывает, что имеет место существенное нарушение равномерности эпюры скоростей на расстоянии вплоть до $5D_y$, что подтверждает необходимость соблюдения требования по выравниванию профиля скорости перед расходомером.

Расчеты показали, что, например, для расчетного случая 1 средняя скорость потока на расстояниях от $1D_y$ до $3D_y$ отличается от средней скорости до препятствия. Данные этих расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Изменение средней по сечению трубы скорости потока
в зависимости от расстояния от возмущающего препятствия

Расстояние от устройства возмущения по потоку	Средняя по сечению скорость, м/с	
	$v_{вх}$ = 0,5 м/с	$v_{вх}$ = 2 м/с
$1D_y$	1,018	4,168
$2D_y$	0,728	2,855
$3D_y$	0,550	2,143
$5D_y$	0,498	1,994
$10D_y$	0,499	1,995

Как следует из данных табл. 2 наблюдается увеличение средней скорости потока на расстоянии до $4D_y$ от возмущающего препятствия. При размещении расходомера на расстояниях $(2…3)D_y$ в соответствии с формулой (2) расходомер может показывать завышенный от 45 до 10 % расход жидкости.

Экспериментальные исследования влияния возмущения потока на показания расходомера

Для определения влияния возмущения потока на показания расходомера и подтверждения теоретических исследований были проведены испытания расходомера на установке расходомерной поверочной УРП-250, свидетельство о поверке № 15732. Погрешность измерения расхода на установке в условиях проведенных исследований не более ± 0,15 %. Схема измерительного участка трубопровода на установке УРП-250 приведена на рис. 5:

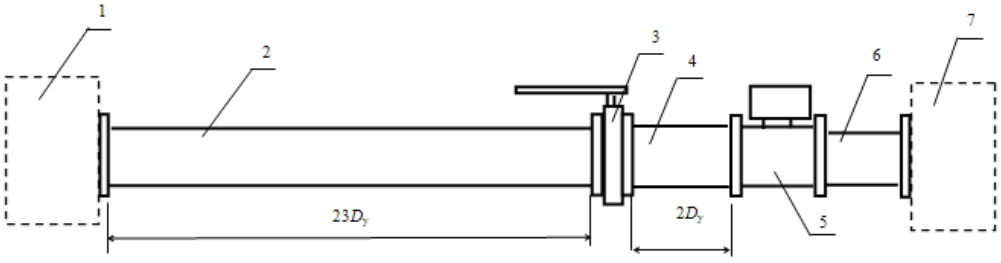


Рис. 5. Схема измерительного участка на установке УРП-250

На рисунке обозначены: 1 – устройство для стабилизации потока воды по давлению и расходу; 2 – труба для стабилизации потока при входе в цилиндрический канал с D_y = 65 мм; 3 –устройство возмущения потока (дисковый затвор); 4 – канал стабилизации потока перед испытуемым прибором (D_y = 65 мм); 5 – испытуемый прибор (расходомер ВЗЛЕТ ЭРСВ-410, D_y = 65 мм); 6 – канал стабилизации потока после прибора; 7 – устройство сброса воды.

Испытания проводились при следующих параметрах потока: расход воды 4 м^3/час (66,7 л/мин), давление 5 атм. В качестве устройства, создающего возмущение потока, использовался дисковый затвор с D_y = 65 мм. В задачи эксперимента входило сравнение показаний расходомера при невозмущенном и возмущенном потоке жидкости при одних и тех же параметрах движения.

На первом этапе были проведены испытания расходомера в невозмущенном потоке. Процесс измерений проводился в течение 15 мин с периодическим снятием показаний (не менее 10), при этом осредненное значение составило 66,9 л/мин (4,014 м^3/час). На втором этапе испытания проводились с установленным на расстоянии $2D_y$ перед испытуемым прибором дисковым затвором, согласно рис. 5. Конструктивно затвор представляет собой корпус с проходным каналом D_y = 65 мм с поворотным диском, укрепленным на сквозной оси диаметром 15…16 мм. Испытания проводились при двух положениях затвора – полностью открытом и прикрытом на 30°. Измерения проводились аналогично первому этапу, при этом осредненные значения показаний расходомера составили: 75,5 л/мин (4,53 м^3/час) и 86,55 л/мин (5,19 м^3/час) соответственно, что превышает показания прибора при невозмущенном потоке соответственно на 12,9 % и 29,4 %.

Таким образом, эксперименты показали, что несоблюдение требований по длине прямолинейного участка трубопровода перед расходомером может привести к очень большой положительной систематической погрешности измерения расхода.

Выводы

1. Показания электромагнитных расходомеров, также как и расходомеров, основанных на других физических принципах, существенно зависят от симметрии поля скоростей измеряемого потока.

2. Для стабилизации потока перед расходомером рекомендуется установка прямолинейной трубы длиной от 5 до 10 условных диаметров. Большинство производителей расходомеров, выполняя эту рекомендацию, в документации на приборы указывают соответствующую длину прямолинейного участка трубы.

3. Несоблюдение указанных требований может приводить к значительной положительной систематической погрешности измерения расхода жидкости, несмотря даже на высокую точность самого прибора.

4. Проведенные теоретические исследования с использованием 3-D моделирования показали, что механическое возмущение потока различными теплотехническими элементами, существенно нарушает симметрию поля скоростей на достаточно большом расстоянии от источника возмущения, при этом увеличение средней скорости потока в отдельных случаях может достигать несколько десятков процентов.

5. Экспериментально доказано, что установка перед расходомером полностью открытого поворотного клапана на расстоянии $2D_y$ вызывает появление систематической положительной погрешности измерения расхода до +13 % (в зависимости от числа Рейнольдса на входе в расходомер). Аналогичную погрешность может вызвать установка на расстоянии $(2…3)D_y$ перед расходомером грязевика, фильтра.

Библиографический список

1. Кремлевский, П.П. Расходомеры и счетчики количества: Справочник / П.П. Кремлевский. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1989. – 701 с.

2. Гаммерман, М.Я. Электромагнитные расходомеры, показания которых не зависят от эпюры скоростей / М.Я. Гаммерман, В.И. Межбурд, И.Г. Фикс // Приборы и системы управления. – 1972. – № 9. – С. 42–49.

3. Гордеев, В.Д. Влияние местного возмущения потока на показания электромагнитных расходомеров / В.Д. Гордеев, Ю.С. Лепанов // Измерительная техника. – 1972. – № 12. – С. 45–46.

4. Вельт, И.Д. Электромагнитное измерение скорости и расхода больших водных потоков / И.Д. Вельт, И.Н. Гудкова. – М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1985. – 43 с.

5. Флетчер, К. Вычислительные методы в динамике жидкостей: в 2 т. Т. 1 / К. Флетчер; пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 504 с.

6. Разработка правил построения схем измерительных систем в узлах коммерческого учета применительно к системам тепловодоснабжения / Отчет о НИР по договору №10/14 от 5.10.2014. – филиал ЮУрГУ в г. Миассе. – 2014. – 173 с.

К содержанию

УДК 621.317:697.034

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ УЧЕТА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ГВС С РАСХОДОМЕРАМИ, УСТАНОВЛЕННЫМИ НА ОБЩИХ КОЛЛЕКТОРАХ ТЕПЛОВОГО ПУНКТА

В.Г. Зезин, А.И. Новиков

В работе проведен анализ погрешности определения потребленного в системе ГВС теплоносителя, когда расход на ГВС определяется как разность показаний расходомеров, установленных на сборных коллекторах теплового пункта, а на ответвлениях системы ГВС расходомеры отсутствуют. Показано, что данная схема измерений не может обеспечить приемлемой точности результата даже при использовании абсолютно точных расходомерах.

Ключевые слова: учет теплоносителя системы ГВС, погрешность косвенных измерений, рециркуляция теплоносителя.

Инициатором появления данной работы явилось обращение «Совета многоквартирного дома», расположенного по адресу пр. Октября, 12 г. Миасса, исх. от 24.10.13 № 98 [0]. Причиной обращения послужила очень большая положительная разница при определении количества потребленного теплоносителя на нужды ГВС по общедомовым расходомерам и путем суммирования показаний индивидуальных водосчетчиков, которая при коммерческих расчетах была оформлена статьей затрат «общедомовые нужды». Эти затраты были распределены между жильцами квартир, как оборудованных, так и не оборудованных приборами учета, так как попытка их списания только на последнюю группу потребителей привела к нереальным суммам в их счетах. Сложившаяся ситуация вызвала естественное недовольство первой группы потребителей тепловой энергии и привела к судебным разбирательствам между Советом дома и управляющей компанией.

В рассматриваемом жилом доме применена зависимая система отопления с гидроэлеватором в узле смешения и открытая система ГВС. В системе ГВС предусмотрена 100 % циркуляция теплоносителя (сброс 100 % рабочего расхода ГВС из стояков в обратный трубопровод теплового пункта) при отсутствии водоразбора для предотвращения остывания воды в стояках. Подача воды осуществляется в стояки с полотенцесушителями, а возврат – через стояки с водоразборными приборами. Принципиальная схема циркуляции теплоносителя в системе ГВС показана на рис. 1. В соответствии с ТУ на установку узла учета [0] максимальный расчетный расход теплоносителя составляет: на нужды отопления $G_{\text{от}}^{\max} = 4{,}53$ т/ч; на нужды ГВС – $G_{\text{ГВС}}^{\max} = 4{,}07$ м^3/ч. Температурный режим системы теплоснабжения дома t_1/t_2 = 110/70 °С.

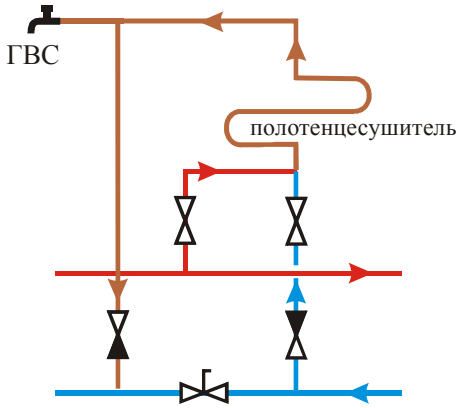


Рис. 1. Принципиальная схема системы ГВС

Схема измерений, примененная в узле учета теплового пункта дома, показана на рис. 2.

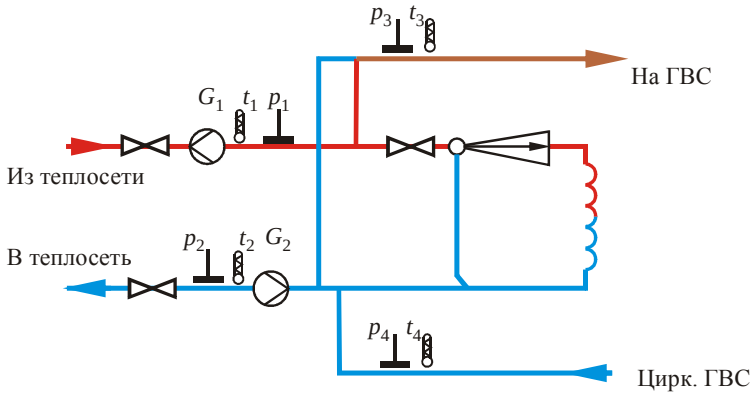


Рис. 2. Существующая схема измерений
контролируемых и учитываемых параметров

В качестве средств измерения применены: расходомеры электромагнитные серии ВЗЛЕТ ЭР [0], комплект термопреобразователей сопротивления [0], датчики избыточного давления КОРУНД-ДИ-001М [0], тепловычислитель ВЗЛЕТ ТСРВ [0]. На прямой и обратный трубопроводы теплопункта установлены расходомеры с диаметром условного прохода D_y = 65 мм, которые имеют следующие метрологические характеристики:

Наибольший измеряемый объемный расход $G_{наиб}$, м^3/ч..... 143,5;

Коэффициент перекрытия диапазона $k_д$..... 150.

Предел допускаемой относительной погрешности расходомеров в диапазоне расходов от $G_{наим} = G_{наиб} / k_д$ до $G_{наиб}$ определяется по формуле:

$$\delta G = \pm\left(0{,}9 + 0{,}15 / v\right), \%, \qquad (1)$$

где v – скорость потока в измерительном трубопроводе, м/с.

В диапазоне расходов $G < G_{\text{наим}}$ погрешность результатов измерений не нормирована.

Для выяснения причин отмеченных выше и вызвавших конфликт больших расхождений в определении потребления теплоносителя была проанализирована погрешность измерительной схемы теплопункта.

Как ясно из схемы измерений, приведенной на рис. 2, расход на ГВС $G_{\text{ГВС}}$ определяется, как разность расходов в прямом G_1 и в обратном G_2 трубопроводах теплопункта:

$$G_{\text{ГВС}} = G_1 - G_2 . \quad (2)$$

Такая схема измерения относится к классу косвенных измерений, когда результирующая величина Z находится по известной функциональной зависимости $Z = f\left(x_1, x_2, ...x_n\right)$ от нескольких первичных измеряемых величин $x_i, i = \overline{1,n}$. Абсолютная погрешность результата ΔZ в случае независимости погрешностей первичных величин и нормального закона их распределения находится по формуле [0]:

$$\Delta Z = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial Z}{\partial x_i}\right)^2 \Delta x_i^2} , \quad (3)$$

где Δx_i – абсолютная величина погрешности i-ой первичной измеряемой величины.

Подставляя (2) в (3), получаем:

$$\Delta G_{\text{ГВС}} = \sqrt{\Delta G_1^2 + \Delta G_2^2} . \quad (4)$$

Перейдем к относительным погрешностям $\delta G_{\text{ГВС}} = \Delta G_{\text{ГВС}} / G_{\text{ГВС}}$, $\delta G_1 = \Delta G_1 / G_1$; $\delta G_2 = \Delta G_2 / G_2$. Тогда выражение (4) преобразуется к виду:

$$\delta G_{\text{ГВС}} = \sqrt{\frac{1}{n^2}\delta G_1^2 + \left(\frac{1}{n} - 1\right)^2 \delta G_2^2} ,$$

где $n = \dfrac{G_1 - G_2}{G_1} = \dfrac{G_{\text{ГВС}}}{G_1}$ – доля расхода горячей воды в общем расходе теплоносителя, поступающего в тепловой пункт. Предел относительной погрешности измерения расхода складывается из предела относительных погрешностей расходомера и тепловычислителя, то есть:

$$\delta G_{1(2)} = \sqrt{\left(\delta G_{1(2)}\right)_{\text{рс}}^2 + \left(\delta G\right)_{\text{тв}}^2} .$$

Тогда окончательно получим:

$$\delta G_{\text{ГВС}} = \sqrt{\frac{1}{n^2}\left[\left(\delta G_1\right)_{\text{рс}}^2 + \delta G_{\text{тв}}^2\right] + \left(\frac{1}{n} - 1\right)^2 \left[\left(\delta G_2\right)_{\text{рс}}^2 + \delta G_{\text{тв}}^2\right]}. \qquad (5)$$

Оценим минимальную погрешность, которая может быть достигнута в данной схеме измерения. При корректном выборе расходомера минимальная величина его инструментальной относительной погрешности может быть оценена, как $\left(\delta G_{1(2)}\right)_{\text{рс}} = \pm 1{,}2\,\%$, см. формулу (1). Предел относительной погрешности тепловычислителя при измерении расхода, в соответствии с [0], равен $\left(\delta G\right)_{\text{тв}} = \pm 0{,}2\,\%$. Задаваясь рядом значений n, по формуле (5) получаем зависимость $\delta G_{\text{ГВС}} = f\left(n\right)$, показанную на рис. 3.

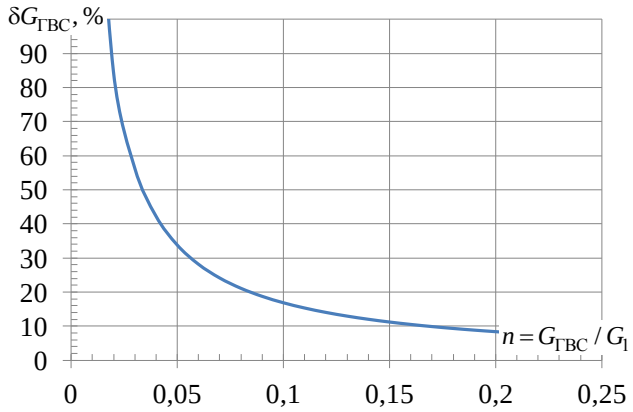


Рис. 3. Зависимость относительной погрешности определения расхода ГВ от относительного расхода

В реальных системах теплоснабжения даже в летний период относительный расход не превышает $n = 0{,}15\ldots0{,}2$. То есть минимальная относительная погрешность, которую можно достичь в данной измерительной схеме составляет $\delta G_{\text{ГВС}} = \pm\left(8\ldots12\right)\%$. В отопительный период относительный расход ГВС падает до $n \approx 0{,}025$, что приводит к увеличению относительной погрешности определения теплоносителя ГВС до $\delta G_{\text{ГВС}} \approx \pm 80\,\%$. При такой величине n, как следует из (5), даже применение расходомеров с нулевой погрешностью дает погрешность определения теплоносителя ГВС $\delta G_{\text{ГВС}} \approx \pm 11{,}2\,\%$. В анализируемой системе теплоснабжения за год контрольной эксплуатации минимальная погрешность $\delta G_{\text{ГВС}}^{\min} \approx \pm 16{,}8\,\%$ реализовалась в июне, максимальная $\delta G_{\text{ГВС}}^{\max} \approx \pm 61{,}5\,\%$ – в декабре.

Таким образом, высокая погрешность учета теплоносителя ГВС в рассматриваемой системе теплоснабжения обусловлена самой схемой измерения расхода ГВС и в рамках данной измерительной схемы практически не может быть уменьшена даже за счет применения прецизионных расходомеров.

Что касается погрешности определения потребленного теплоносителя ГВС путем суммирования показаний индивидуальных водосчетчиков, то здесь необходимо отметить следующее. Если исключить из рассмотрения «неадекватных» потребителей, то есть либо бесконтрольно расходующих воду, либо намеренно потребляющих ее с очень низкими расходами, близкими к пределу чувствительности водосчетчика, то при суммировании показаний квартирных приборов будут складываться близкие по своему значению величины M_i. Погрешности их измерения ΔM_i также близки, так как имеющиеся на нашем рынке измерительной техники водосчетчики имеют схожие метрологические характеристики. В пределе, когда сами величины и их погрешности одинаковы, можем записать:

$$\delta M_\Sigma = \frac{\Delta M_\Sigma}{M_\Sigma} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} \Delta M_i^2}}{\sum_{i=1}^{N} M_i} = \frac{\sqrt{N}\Delta M_i}{N M_i} = \frac{1}{\sqrt{N}} \frac{\Delta M_i}{M_i} = \frac{1}{\sqrt{N}} \delta M_i . \qquad (6)$$

Из (6) видно, что относительная погрешность определения суммарного домового водопотребления при его учете по индивидуальным водосчетчикам убывает приблизительно обратно пропорционально корню квадратному из количества квартир дома *N*. Если в первом приближении принять, что относительная погрешность измерения потребленной массы индивидуальным водосчетчиком равна:

$$\delta M = \frac{\delta_{\max} + \delta_{\min}}{2},$$

где $\delta_{\min}$ – относительная погрешность водосчетчика в диапазоне расходов от переходного G_t до максимального $G_{\max}$; $\delta_{\max}$ – относительная погрешность водосчетчика в диапазоне расходов от минимального $G_{\min}$ до G_t, то оценка относительной погрешности общего по дому потребления теплоносителя найдется по формуле:

$$\delta M = \frac{\delta_{\max} + \delta_{\min}}{2\sqrt{N}}. \qquad (7)$$

Тогда, например, при $N = 50$, получим $\delta M = \frac{5+2}{2\sqrt{50}} \approx 0{,}5\,\%$. Как видим, метод определения общедомового потребления горячей воды путем суммирования показаний индивидуальных приборов учета дает существенно меньшую погрешность, чем при использовании для этой цели показаний общедомовых расходомеров в схеме по рис. 2.

Для улучшения точности определения потребленного теплоносителя по общедомовым приборам необходимо изменить схему измерений, установив дополнительные расходомеры на подающий и рециркуляционный трубопроводы ГВС, рис. 4. Именно такая схема измерений предписывается методикой коммерческого учета [0]. Формула (5) справедлива для вычисления погрешности определения потребленного теплоносителя ГВС и в этой схеме. То есть при фиксированных инструментальных погрешностях расходомеров и тепловычислителя $\delta G_{\text{ГВС}}$ тем меньше, чем больше доля n расхода потребленного теплоносителя в расходе теплоносителя, поступающем в подающий трубопровод системы ГВС.

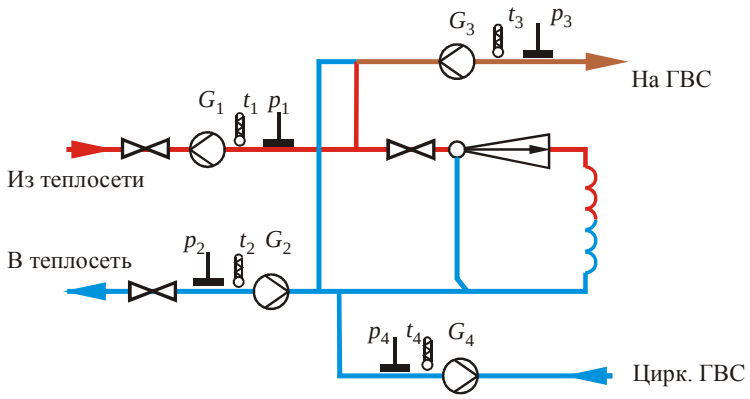


Рис. 4. Рекомендуемая схема измерений

По сравнению с ранее рассмотренной схемой измерений (рис. 2), в схеме по рис. 4 в отопительный период данная доля расхода ГВС n существенно выше. В летний же период она такая же, как и в схеме по рис. 2. То есть даже установка дополнительных расходомеров на ответвления системы ГВС не позволит снизить погрешность $\delta G_{\text{ГВС}}$ ниже $\pm(8...12)\,\%$. Дальнейшее снижение возможно только за счет уменьшения рециркуляционного расхода G_2. Это приведет к соответствующему уменьшению расхода G_1 и, следовательно, увеличению n и $\delta G_{\text{ГВС}}$.

Для дальнейших оценок погрешностей необходимо найти связь между расходом циркуляционной воды G_2 и средним за отчетный период расходом потребленной горячей воды $G_{\text{ГВС}}$. С этой целью запишем уравнение Бернулли для сечений 1–1, 2–2 и 3–3, рис. 5.

$$p_{10} = p_{20} + \xi_{\text{п}} G_1^2 + \rho g h, \tag{8}$$

$$p_{20} + \rho g h = p_{30} + \xi_{\text{р}} G_2^2, \tag{9}$$

где p_{10}, p_{20}, p_{30} – полные давления в соответствующих сечениях; $\xi_{\text{п}}$, $\xi_{\text{р}}$ – удельные гидравлические сопротивления подающей и рециркуляционной ветви системы ГВС соответственно.

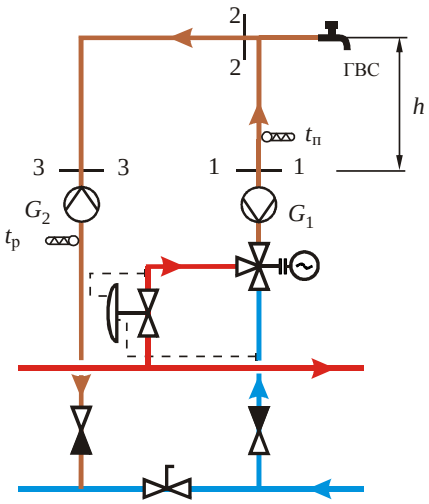


Рис. 5. Расчетная схема для определения G_1 и G_2

Учитывая, что $G_1 = G_{ГВС} + G_2$, из, (8) и (9), получаем

$$p_{10} - p_{30} = \xi_п \left(G_{ГВС} + G_2\right)^2 + \xi_р G_2^2 . \qquad (10)$$

Откуда находим

$$G_2 = -b + \sqrt{b^2 + c} , \qquad (11)$$

где коэффициенты b и c определяются по формулам:

$$b = \frac{\xi_п}{\xi_п + \xi_р} G_{ГВС} , \; c = \frac{p_{10} - p_{30} - \xi_п G_{ГВС}^2}{\xi_п + \xi_р} . \qquad (12)$$

Удельные гидравлические сопротивления подающей и рециркуляционной ветви зависят от конструктивно-технологических параметров системы ГВС: рабочего перепада давлений $\Delta p = p_{10} - p_{30}$, расчетного расхода системы ГВС $G_{ГВС}^{расч}$ (максимальной величины расхода, по которой определяется пропускная способность системы), высоты здания h, доли рециркуляционного расхода при отсутствии водоразбора $k_р = G_2^{max} / G_{ГВС}^{расч}$ (коэффициента рециркуляции), располагаемого давления на вводе в подающую магистраль p_{10}. Используем эти данные для определения $\xi_п$ и $\xi_р$.

Из (10) при $G_{ГВС} = 0$ и $G_2 = G_2^{max}$ следует:

$$\Delta p = \left(\xi_п + \xi_р\right)\left(G_2^{max}\right)^2 . \qquad (13)$$

При $G_{ГВС} = G_{ГВС}^{расч}$ и $G_2 = G_2^{min}$ (8) и (9) запишутся в виде:

$$p_{10} = p_{20} + \xi_{\text{п}}\left(G_{\text{ГВС}}^{\text{расч}} + G_2^{\min}\right)^2 + \rho g h, \tag{14}$$

$$p_{20} + \rho g h = p_{10} - \Delta p + \xi_{\text{р}}\left(G_2^{\min}\right)^2. \tag{15}$$

В приведенных формулах давление p_{20}, в соответствии с [0], должно быть принято равным $p_{20} = 0{,}5 \cdot 10^5$ Па. Таким образом, из (13)…(15) могут быть определены $\xi_{\text{п}}$, $\xi_{\text{р}}$ и $G_2^{\min}$. Система (13)…(15) нелинейная, в явном виде не разрешается. Поэтому решать ее будем численно методом итераций, используя следующий алгоритм:

$$\xi_{\text{п}}^{(k)} = \frac{p_{10} - p_{20} - \rho g h}{\left[G_{\text{ГВС}}^{\text{расч}} + \left(G_2^{\min}\right)^{(k)}\right]^2}, \tag{16}$$

$$\left(\xi_{\text{р}}\right)^{(k)} = \frac{\Delta p}{\left[\left(G_2^{\max}\right)^{(k)}\right]^2} - \left(\xi_{\text{п}}\right)^{(k)}, \tag{17}$$

$$\left(G_2^{\min}\right)^{(k+1)} = \sqrt{\frac{p_{20} + \rho g h - p_{10} + \Delta p}{\left(\xi_{\text{р}}\right)^{(k)}}}, \tag{18}$$

где k – номер итерации.

В качестве минимального значения рециркуляционного расхода на первой итерации используем равенство:

$$\left(G_2^{\min}\right)^{(1)} = k_{\text{р}} G_{\text{ГВС}}^{\text{расч}}.$$

С использованием (5), (11), (12), (16)…(18) рассчитана относительная погрешность $\delta G_{\text{ГВС}}$ в зависимости от коэффициента рециркуляции и приведенного расхода ГВС $\bar{G}_{\text{ГВС}} = G_{\text{ГВС}} / G_{\text{ГВС}}^{\text{расч}}$, то есть отношения среднего эксплуатационного расхода, потребленного в рассматриваемой системе ГВС к максимально возможному значению расхода в данной системе. Результаты расчетов показаны на рис. 6.

Представленные данные показывают, что погрешность $\delta G_{\text{ГВС}}$ очень сильно возрастает при увеличении коэффициента рециркуляции $k_{\text{р}}$ и уменьшении приведенного расхода $\bar{G}_{\text{ГВС}}$. При этом влияние $k_{\text{р}}$ на погрешность $\delta G_{\text{ГВС}}$ возрастает при уменьшении $\bar{G}_{\text{ГВС}}$, а влияние $\bar{G}_{\text{ГВС}}$ увеличивается при увеличении $k_{\text{р}}$. Как видно, для достижения приемлемой погрешности измерения расхода $\delta G_{\text{ГВС}} < \pm(2{,}5...3)\,\%$ в рассматриваемой системе необходимо ограничивать рециркуляционный расход

с обеспечением $k_р \le 0{,}2$, и увеличивать приведенный расход ГВС $\bar{G}_{ГВС}$, так чтобы при $k_р = 0{,}2$ он был не менее 0,25.

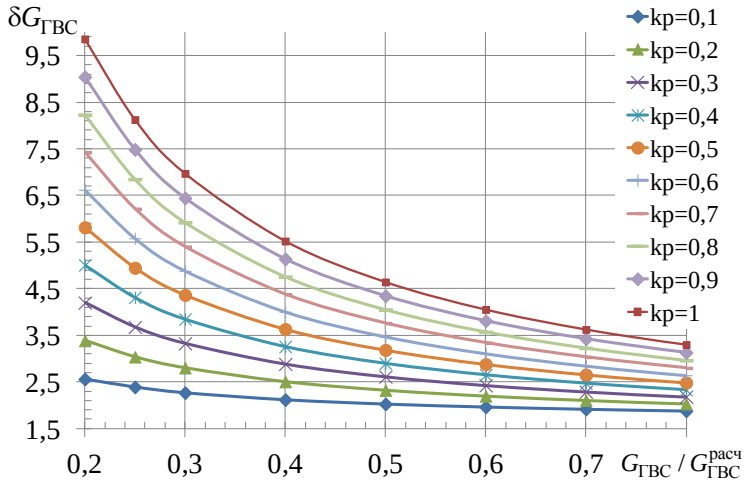


Рис. 6. Зависимость погрешности $\delta G_{ГВС}$ от коэффициента рециркуляции $k_р$ и приведенного расхода горячей воды $\bar{G}_{ГВС}$

В существующей системе уменьшение $k_р$ возможно осуществить путем, например, ее следующей модернизации. Во-первых, необходимо изменить направления циркуляции в системе ГВС на противоположное. То есть подачу теплоносителя следует осуществить в стояки с водоразборными приборами, а рециркуляцию – через стояки с полотенцесушителями. Во-вторых, необходимо уменьшить рециркуляционный расход за счет шайбирования. Принципиальная схема системы ГВС после модернизации показана на рис. 7.

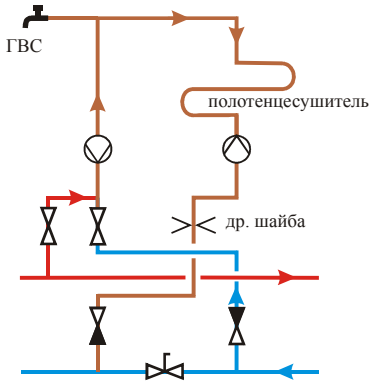


Рис. 7. Схема модернизированной системы ГВС с рециркуляцией

Величина приведенного расхода $\bar{G}_{ГВС}$ определяется при проектировании системы ГВС с использованием рекомендаций [0]. Она зависит от количества, типа санитарно-гигиенических приборов, частоты и интенсивности их использования. Чем меньше количество потребителей в доме, тем

меньше и $\bar{G}_{\text{ГВС}}$. Реальные условия эксплуатации могут отличаться от расчетных, заложенных в нормы [0]. Поэтому при эксплуатации необходимо контролировать максимальные мгновенные $G_{\text{ГВС}}^{\max}$ и средние эксплуатационные величины расходов ГВС $G_{\text{ГВС}}$. Если окажется, что $G_{\text{ГВС}}^{\text{расч}}$ значительно выше, чем $G_{\text{ГВС}}^{\max}$, следует произвести наладку системы ГВС путем уменьшения ее пропускной способности. Это позволит поддерживать приведенный расход $\bar{G}_{\text{ГВС}}$ в области своих максимальных значений.

Таким образом, проведенные исследования показали:

1. Измерительная схема узла учета системы ГВС с расходомерами, установленными на общих коллекторах теплового пункта, не может обеспечить измерение расхода теплоносителя на нужды ГВС с приемлемой точностью даже при использовании прецизионных расходомеров.

2. Для определения количества теплоносителя, потребленного в системе ГВС с погрешностью не хуже ± (2,5…3) %, необходимо применять измерительную схему с расходомерами, установленным на ответвлениях системы ГВС, в максимальной степени ограничивать расход в подающем и циркуляционном трубопроводе.

Для реализации такой измерительной схемы в существующей системе ГВС необходима ее модернизация с изменением направления циркуляции и уменьшением циркуляционного расхода за счет шайбирования.

3. Метод определения общедомового потребления горячей воды путем суммирования показаний индивидуальных приборов учета обеспечивает относительную погрешность, убывающую приблизительно обратно пропорционально корню квадратному из количества водосчетчиков. При количестве приборов учета более ~ 50 относительная погрешность не превысит ± 1 %, что значительно меньше, чем при использовании для этой цели показаний общедомовых расходомеров.

Библиографический список

1. Письмо-обращение Совета многоквартирного дома, исх. от 24.10.13 № 98 на 1 л., приложение к исх. № 98 на 21 л.

2. Технические условия на установку узла учета тепловой энергии и теплоносителя по адресу пр. Октября, 12 а. – ПЭК «Теплоснабжение»: исх. от 02.12.2010 № 2249: утверждены Главным инженером В.С. Вахниным

3. Расходомер-счетчик электромагнитный ВЗЛЕТ ЭР: паспорт / ЗАО «Взлет». – С.П-рг, 2012. – 4 с.

4. Комплект термопреобразователей сопротивления ВЗЛЕТ ТСП: паспорт / ЗАО «Взлет». – С.П-рг, 2011. – 4 с.

5. Датчик избыточного давления малогабаритный КОРУНД-ДИ-001М: паспорт КТЖЛ.406233.001 ПС / ООО «Стэнли». – М., 2012. – 8 с.

6. В84.00-00.00-26 РЭ. Тепловычислитель ВЗЛЕТ ТСРВ исполнения ТСРВ-026, -026 М. Руководство по эксплуатации. Часть II / ЗАО «Взлет». – С. П-рг, 2013. – 67 с. – URL: http://www.vzljot.ru/files/docs/152/re2_tsrv026.pdf.

7. Новицкий, П.Ф. Оценивание погрешностей результатов измерений / П.Ф. Новицкий, И.А. Зограф. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние., 1991. – 304 с.

8. Методика осуществления коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя – утверждена министром строительства и ЖКХ М.А. Меньем приказом от 17.02.14 № 99 пр.

9. СНиП 2.04.01-85*. Внутренний водопровод и канализация зданий / Госстрой России. М.: Издательство ГУП ЦПП, 2004. – 75 с.

К содержанию

УДК 621.1: 532.5

МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ СХЕМ ТЕПЛОЭНЕРГОУСТАНОВОК

В.Г. Зезин

Представлен метод гидравлического расчета тепловых схем теплоэнергоустановок, имеющих схему гидролиний любой структурной сложности. Метод основан на сведении расчета отдельных участков системы к расчету циркуляционных колец, а для алгоритмизации составления системы уравнений использует представление схемы трубопроводов в виде ориентированного простого графа. Результатом расчета являются гидравлические сопротивления балансировочных клапанов (дроссельных шайб) и давления насосов, обеспечивающие создание требуемых расходов теплоносителя в каждом участке схемы установки.

Ключевые слова: гидравлический расчет, тепловая схема, уравнение Бернулли, простой орграф, метод поиска в глубину, метод исключения Гаусса.

Гидравлическая сеть теплоэнергоустановки представляет собой сложный трубопровод, в котором участки гидравлической линии объединены как последовательно, так и параллельно. При этом для упрощения управления гидравлическими и тепловыми режимами сеть разбивается на отдельные участки, перепад давлений, на концах которых поддерживается постоянным при помощи специальных устройств (регуляторов перепада давлений, регулируемых насосных установок и др.). Это позволяет, с одной стороны, при эксплуатации установки независимо управлять гидравлическими и тепловыми режимами на каждом из таких участков, а с другой стороны, при расчете гидравлической сети теплоэнергоустановки дан-

ные участки рассматривать также независимо. Поэтому, в дальнейшем говоря о гидравлическом расчете теплоэнергоустановки, будем иметь в виду гидравлический расчет такого участка со стабилизированным перепадом давлений на вводе в него.

Еще одной особенностью теплоэнергоустановок, влияющей на порядок выполнения гидравлического расчета, является то, что расход теплоносителя в каждой из ветвей ее гидравлической сети всегда известен, так как он находится из теплового расчета.

Таким образом, гидравлический расчет в теплоэнергоустановках представляет собой задачу расчета сложного трубопровода первого или второго типа [0]. В задаче первого типа при известном располагаемом перепаде давлений на вводе в систему, известных расходах жидкости в каждой из ветвей гидролинии и известных гидравлических характеристиках оборудования, установленного на гидролиниях системы, находятся диаметры трубопроводов. В задаче второго типа при заданном перепаде давлений на вводе и диаметрах трубопроводов определяются перепады давлений на устанавливаемом оборудовании системы (питателях).

При известных расходах G_i потери полного давления на преодоление сил трения на каждом i-ом участке трубопровода $\Delta p_{i\text{тр}}$, известном диаметре d_i и длине l_i находятся по формуле Дарси-Вейсбаха

$$\Delta p_{i\text{тр}} = \frac{8}{\pi^2 d_i^5}\rho G_i^2 \lambda_i l_i ,$$

где ρ – плотность теплоносителя; λ_i – коэффициент гидравлического трения, зависящий от числа Рейнольдса Re_i и относительной шероховатости трубопровода Δ_i/d_i (где Δ_i – высота бугорков шероховатости трубопровода, находится по справочным данным), определяемый по соотношениям [0]:

$$\lambda_i = \begin{cases} \lambda_{i\text{л}} \ \text{ при } \ \mathrm{Re}_i < 2320, \\ \lambda_{i\text{т}} \ \text{ при } \ \mathrm{Re}_i > 4000, \\ \lambda_i = \gamma\lambda_{i\text{т}} + (1-\gamma)\lambda_{i\text{л}} \ \text{ при } \ 2320 \le \mathrm{Re}_i \le 4000, \end{cases}$$

$$\mathrm{Re}_i = \frac{4G_i}{\pi d_i \nu},$$

$$\lambda_{i\text{л}} = 64 / \mathrm{Re}_i ,$$

$$\lambda_{i\text{т}} = 0{,}11\left(\frac{\Delta_i}{d_i} + \frac{68}{\mathrm{Re}_i}\right)^{0{,}25},$$

$$\gamma = \sin\left[\frac{\pi}{2}\left(\frac{\mathrm{Re}_i - 2320}{1680}\right)^2\right],$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости теплоносителя.

Аналогично, по формуле Вейсбаха при известном расходе могут быть определены потери полного давления на местных сопротивлениях $\Delta p_{i\text{м}}$, располагающихся на рассматриваемом участке трубопровода:

$$\Delta p_{i\text{м}} = \rho \frac{8G_i}{\pi^2 d_i^4} \sum_{j=1}^{n} \xi_{i\,j},$$

где ξ_{ij} – коэффициент потерь давления на j-ом местном сопротивлении, располагающимся на i-ом участке трубопровода (находится по справочным данным, например, по [0]).

Вследствие относительно невысоких скоростей движения теплоносителя в трубопроводах теплоэнергоустановок обычно можно пренебречь динамическим давлением по сравнению со статическим. То есть полное давление можно считать равным статическому. Тогда уравнение Бернулли для двух произвольных сечений гидравлической сети 1 и 2, располагающихся по ходу течения теплоносителя, может быть записано в виде

$$p_1 + \Delta p_{\text{н}} = p_2 + \rho g h_{1-2} + \sum_{i=1}^{m} \left(\Delta p_{i\text{тр}} + \Delta p_{i\text{м}} \right), \qquad (1)$$

где p_1, p_2 – статические давления в сечениях 1 и 2 соответственно; $\Delta p_{\text{н}}$ – давление насоса установленного в гидравлической сети между сечениями 1 и 2; по ходу течения; h_{1-2} – перепад высот между сечениями 1 и 2; g – ускорение свободного падения; m – количество участков трубопровода между сечениями 1 и 2.

В гидравлических сетях теплоэнергоустановок согласование гидравлических режимов отдельных ветвей трубопроводов, то есть создание в них требуемых расходов теплоносителя, осуществляется путем установки на ответвлениях нормированных гидравлических сопротивлений (балансировочных клапанов или дроссельных шайб) или за счет установки циркуляционных или подкачивающих насосов. Поэтому задачей гидравлического расчета является определения величин этих согласующих гидравлических сопротивлений и давлений насосных установок.

Гидравлическая сеть теплоэнергоустановки содержит как кольцевые участки, так и участки с концевой раздачей. Однако при гидравлическом расчете методически удобно расчет концевых участков свести к расчету кольцевых. Для этого в гидравлическую схему системы необходимо ввести искусственные дополнительные участки, соединяющие концевые участки со входом в систему, имитируя путь, который проходит теплоноситель в действительности. Например, при использовании в системе ГВС теплоноситель истекает в окружающую среду, забирается из водоразбора на подпитку, подается сетевыми насосами в тепловую сеть. Если таким же

образом соединить вход системы теплоснабжения с ее выходим, то получим гидравлическую сеть, содержащую только циркуляционные кольца (кольцевые участки).

В качестве примера теплоэнергоустановки рассмотрим систему теплоснабжения, схема которой приведена на рис. 1.

Система теплоснабжения представляет собой подсоединенную к тепловой сети зависимую систему отопления и открытую систему ГВС, то есть имеет два циркуляционных контура (прямой и обратный теплоноситель системы отопления) и два концевых участка (прямой и обратный теплоноситель системы ГВС). Давление на вводе поддерживается постоянным средствами тепловой сети: в прямом трубопроводе 6 бар, в обратном 4 бар. Верхняя точка системы ГВС располагается на отметке 30 м, статическое давление в этой точке 0,5 бар. По известной величине расхода и пропускной способности определены потери давления в элементах арматуры, которые составили: запорные клапаны 1, 8, 11 и 16 $\Delta p_{\text{КЗ}}$ по 0,05 бар; обратные клапаны 3, 10, 12, 13 $\Delta p_{\text{КО}}$ по 0,2 бар; фильтры 2, 7 Δp_{Φ} по 0,3 бар. Потери давления на расходомерах $\Delta p_{\text{Р}}$ оценены по 0,15 бар. На обратном трубопроводе установлен клапан-регулятор давления «до себя» 14 для поддержания в этой точке давления 4,5 бар с целью предотвращения опорожнения системы отопления и невскипания теплоносителя. Потери давления в системе отопления равны $\Delta p_{\text{от}} = 0,4$ бар, потери в стояках системы ГВС $\Delta p_{\text{ГВС}} = 0,3$ бар. Потерями в трубопроводах теплопункта пренебрегаем для упрощения примера. Требуется определить гидравлические сопротивления балансировочных клапанов 4 Δp_4, 5 Δp_5, 6 Δp_6 давление циркуляционного насоса 9 Δp_9 и перепад давлений на клапане подпора 14 Δp_{14}.

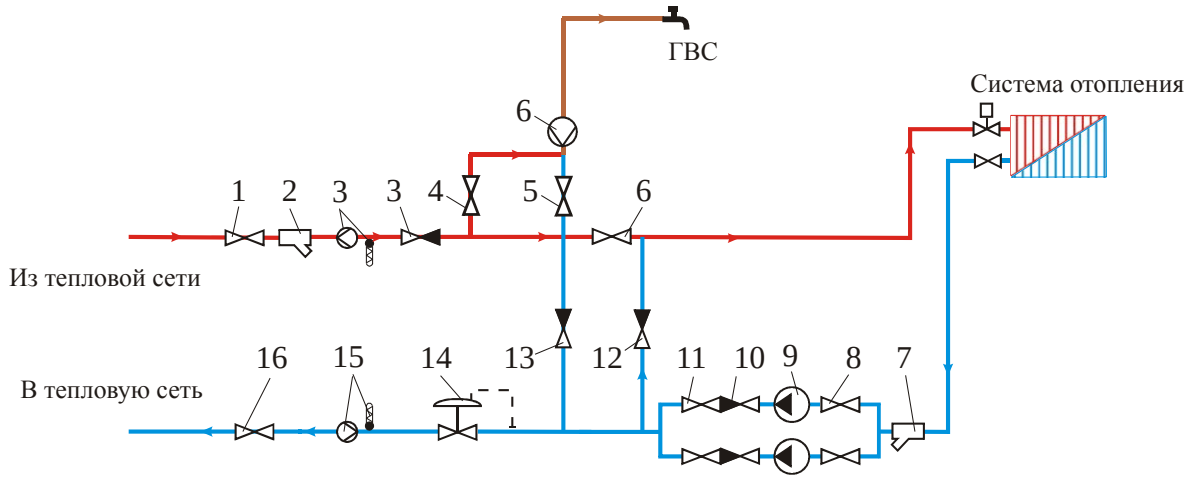


Рис. 1. Пример схемы системы теплоснабжения

Для того чтобы свести задачу гидравлического расчета к расчету циркуляционных колец введем в систему виртуальный бак с теплоносителем,

находящимся под атмосферным давлением на отметке $h = 0$. Соединим гидролинией выход системы ГВС с этим баком. Сопротивление данной гидролинии положим равным статическому давлению на выходе системы ГВС, то есть 0,5 бар. Перепад высот начальной и конечной точек этой гидролинии следует положить равным нулю, так как механическая энергия потока, соответствующая геометрическому напору, при истечении теплоносителя теряется. Также фиктивной гидролинией соединим с баком выход системы теплоснабжения. Только сопротивление этой гидролинии примем равным давлению p_2. Кроме того из бака проведем гидролинию на вход в систему теплоснабжения, установив на нее насос с давлением, равным p_1. Данные построения показаны на рис. 2.

Кроме того, для того, чтобы зафиксировать давление до клапана подпора на требуемом уровне 4,5 бар соединяем эту точку с виртуальным баком гидролинией, имеющей сопротивление 4,5 бар и нулевой расход, см. рис. 2.

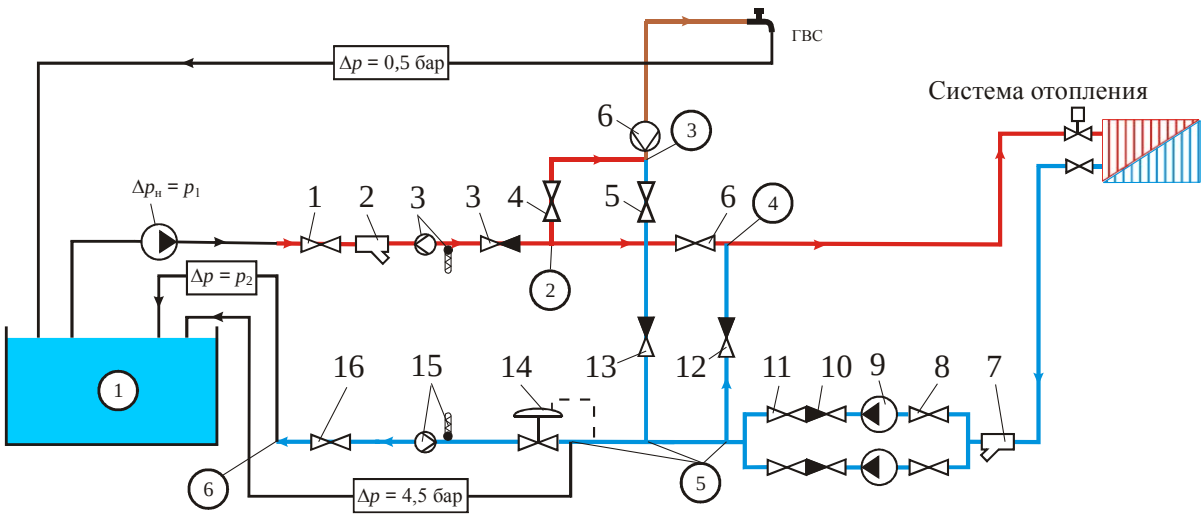


Рис. 2. Система теплоснабжения после дополнений

Гидравлический расчет дополненной подобным образом системы ведется с использованием уравнения Бернулли (1), которое для циркуляционного кольца, когда начальное и конечное сечения совпалают, примет вид:

$$\sum_{j=1}^{N}\left[\rho g h_j + \sum_{i=1}^{m}\left(\Delta p_{ji\text{тр}} + \Delta p_{ji\text{м}}\right) - \Delta p_{\text{н}\,j}\right] = 0, \qquad (2)$$

где N – количество участков трубопровода в рассматриваемом циркуляционном кольце; h_j – перепад высот между начальной и конечной точкой j-го участка трубопровода.

Под участком трубопровода обычно понимается такая его часть, где расход теплоносителя остается постоянным. Можно под участком пони-

мать часть трубопровода с постоянным расходом и постоянным диаметром. Тогда количество слагаемых N в уравнении (2) будет просто больше.

Количество уравнений (2) равно количеству циркуляционных колец в дополненной, то есть приведенной к расчетному виду системе теплоснабжения. Столько же и искомых неизвестных – согласующих элементов (балансировочных клапанов, насосов и др.). Если согласующие элементы выбраны верно, то есть располагаются на различных циркуляционных кольцах, то система уравнений линейно независима и имеет единственное решение.

Составление и решение системы уравнений (2) алгоритмически упрощается, если представить систему теплоснабжения в виде ориентированного обыкновенного графа. При этом вершинам графа соответствуют точки начала и конца участков трубопроводов, а дугам – сами участки. Направление дуг соответствует направлению течения теплоносителя. На каждой дуге графа задаются сумма потерь давления на трение и местных сопротивлениях, располагающихся между вершинами, а также давление насоса и перепад высот между вершинами.

Пример графа для рассмотренной выше системы теплоснабжения приведен на рис. 3.

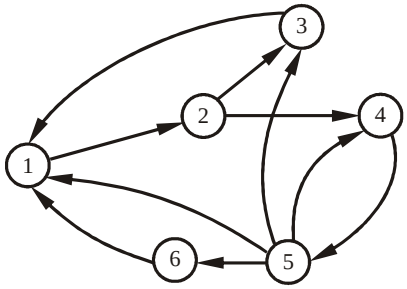


Рис. 3. Граф системы теплоснабжения,
приведенной на рис. 2

При составлении графа для упрощения примера пренебрегалось потерями давления на тройниках. Соответствие вершин графа реальным точкам системы теплоснабжения показано на рис. 2, где номера вершин показаны в кружках. На дуге 1–2 располагаются гидравлические сопротивления $\Delta p_{\text{КЗ}}$, Δp_{Φ}, $\Delta p_{\text{Р}}$, $\Delta p_{\text{КО}}$. Кроме того здесь имеется насос с $\Delta p_{\text{н}} = p_1$, перепад высот $h = 0$. Такие же данные для остальных дуг выглядят следующим образом. Дуга 2–3: Δp_4, $\Delta p_{\text{н}} = 0$, $h = 0$. Дуга 2–4: Δp_6, $\Delta p_{\text{н}} = 0$, $h = 0$. Дуга 4–5: $\Delta p_{\text{ГВС}}$, Δp_{Φ}, $\Delta p_{\text{КЗ}}$, $\Delta p_{\text{КО}}$, $\Delta p_{\text{КЗ}}$, Δp_9, $h = 0$. Дуга 5–6: Δp_{14}, $\Delta p_{\text{Р}}$, $\Delta p_{\text{КЗ}}$, $\Delta p_{\text{н}} = 0$, $h = 0$. Дуга 6–1: $\Delta p = p_2$, $\Delta p_{\text{н}} = 0$, $h = 0$. Дуга 5–1: $\Delta p = 4{,}5$ бар, $\Delta p_{\text{н}} = 0$, $h = 0$. Дуга 5–4: $\Delta p_{\text{КО}}, \Delta p_{\text{н}} = 0$, $h = 0$. Дуга 5–3: $\Delta p_{\text{КО}}$, Δp_5, $\Delta p_{\text{н}} = 0$, $h = 0$. Дуга 3–1: $\Delta p_{\text{Р}}$, $\Delta p_{\text{ГВС}}$, $\Delta p = 0{,}5$ бар $\Delta p_{\text{н}} = 0$, $h = h_{\text{ГВС}} = 30$ м.

В принципе, для данной системы можно было ограничиться графом с 5-ю вершинами. Однако в этом случае дуга 5–1 была бы кратной, что менее удобно в работе.

Матрица смежности [0] для данного графа имеет вид:

$$\boldsymbol{S} = \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{array}.$$

Известные веса ребер зададим тремя матрицами: $\boldsymbol{B}_1$, содержащей приращения потерь давления на участке; $\boldsymbol{B}_2$, содержащей приращения высот на участке, и $\boldsymbol{B}_3$, содержащей давления насосов, располагающихся на участке. Все матрицы имеют одинаковую структуру, элемент этих матриц содержит соответствующие приращения, первый индекс элемента равен номеру начальной вершины участка, а второй – конечной. Такой же по структуре матрицей зададим неизвестные веса ребер: если на ребре располагается балансировочный клапан с искомым гидравлическим сопротивлением или насос с искомым давлением, то соответствующий элемент матрицы равен x_{ij}, в противном случае 0.

Для рассматриваемого примера данные матрицы запишутся следующим образом:

$$\boldsymbol{B}_1 = 10^5 \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0{,}55 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0{,}95 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0{,}9 & 0 \\ 4{,}5 & 0 & 0{,}2 & 0{,}2 & 0 & 0{,}2 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\boldsymbol{B}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 30 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\boldsymbol{B}_3 = 10^5 \cdot \begin{bmatrix} 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{X} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_{23} & x_{24} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_{45} & 0 \\ 0 & 0 & x_{53} & 0 & 0 & x_{56} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Приращения механической энергии теплоносителя по участкам системы, то есть слагаемые суммы уравнений (2) найдутся, как:

$$\boldsymbol{B} = \boldsymbol{B}_1 + \rho g \boldsymbol{B}_1 - \boldsymbol{B}_3 .$$

Для рассматриваемого примера матрица $\boldsymbol{B}$ будет иметь вид:

$$\boldsymbol{B} = 10^5 \cdot \begin{bmatrix} 0 & -5,45 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3,89 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,9 & 0 \\ 4,5 & 0 & 0,2 & 0,2 & 0 & 4,2 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

По матрице смежности $\boldsymbol{S}$ с использованием, например, алгоритма поиска в глубину [0] могут быть найдены все циклы графа, то есть циркуляционные кольца системы теплоснабжения. Пусть n-й цикл имеет вид:

$$n_1, n_2, ..., n_i, ..., n_m, n_1,$$

где n_i – номер i-ой вершины в цикле, m – длина цикла (количество дуг в цикле). Тогда можем записать уравнение Бернулли для циркуляционного кольца, соответствующего данному циклу:

$$\sum_{i=1}^{m} \left(b_{n_i, n_{i+1}} + x_{n_i, n_{i+1}} \right) = 0, \qquad (3)$$

где $b_{n_i,n_{i+1}}, x_{n_i,n_{i+1}}$ – элемент матрицы $\boldsymbol{B}$ и $\boldsymbol{X}$, стоящий в n_i-ой строке и в (n_i + 1)-м столбце соответственно; $m + 1 = 1$.

В нашем примере имеется 5 циклов, а именно:

1) 1, 2, 3, 1;
2) 4, 5, 4;
3) 1, 2, 4, 5, 3, 1;
4) 1, 2, 4, 5, 6, 1;
5) 1, 2, 4, 5, 1.

Следовательно, система уравнений (3) запишется следующим образом:

$$\begin{cases} b_{12} + b_{23} + b_{31} + x_{23} = 0, \\ b_{45} + b_{54} + x_{45} = 0, \\ b_{12} + b_{24} + b_{45} + b_{53} + b_{31} + x_{24} + x_{45} + x_{53} = 0, \\ b_{12} + b_{24} + b_{45} + b_{56} + b_{61} + x_{24} + x_{45} + x_{56} = 0, \\ b_{12} + b_{24} + b_{45} + b_{51} + x_{24} + x_{45} = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Или, подставляя численные данные:

$$\begin{cases} -5,45 + 0 + 3,89 + x_{23} = 0, \\ 0,9 + 0,2 + x_{45} = 0, \\ -5,45 + 0 + 0,9 + 0,2 + 3,89 + x_{24} + x_{45} + x_{53} = 0, \\ -5,45 + 0 + 0,9 + 0,2 + 4 + x_{24} + x_{45} + x_{56} = 0, \\ -5,45 + 0 + 0,9 + 4,5 + x_{24} + x_{45} = 0. \end{cases}$$

Система линейных неоднородных уравнений может быть решена любым подходящим численным методом, например, методом исключения Гаусса [0]. Для этого ее необходимо привести к стандартной форме записи: выполнить арифметические действия, а полученный результат перенести в правую часть, и упорядочить искомые переменные. Упорядочение логично выполнить традиционным методом – по возрастанию номеров, сначала второго индекса переменной, затем первого. Тогда, например, система уравнений (4) запишется следующим образом:

$$\begin{cases} x_{23} + 0 + 0 + 0 + 0 = c_1, \\ 0 + 0 + x_{45} + 0 + 0 = c_2, \\ 0 + x_{24} + x_{45} + x_{53} + 0 = c_3, \\ 0 + x_{24} + x_{45} + 0 + x_{56} = c_4, \\ 0 + x_{24} + x_{45} + 0 + 0 = c_5. \end{cases}$$

где $c_i, i=\overline{1,5}$ – сумма констант, стоящих в левой части соответствующих уравнений системы (4).

Решение системы уравнений (8.14) имеет вид:

$$x_{23}=1,56,\ x_{24}=1,15,\ x_{45}=-1,1,\ x_{53}=0,41,\ x_{56}=0,3.$$

Таким образом, в рассматриваемом примере перепад давлений на балансировочных клапанах 4, 5, 6 должен составлять 1,56 бар, 0,41 бар, 1,15 бар соответственно, давление циркуляционного насоса должно быть 1,1 бар, перепад давлений на клапане подпора должен быть принят равным 0,3 бар.

По определенным величинам перепадов давлений и заданным расходам должны быть определены требуемые пропускные способности клапанов K_v. По величинам пропускной способности выбираются подходящие клапаны. Найденное давление насоса и заданный расход теплоносителя в системе отопления определяют рабочую точку на характеристике насоса, по которой выбирается соответствующий агрегат.

Если в результате расчета получается отрицательная величина перепада давлений на дроссельном устройстве (балансировочном клапане либо шайбе), то это означает, что в данном месте требуется установить насос. И наоборот, если получилось отрицательное давление насоса, то в данном месте следует установить дроссельное устройство. В случае, если полученный результат не устраивает, то должна быть пересмотрена схема системы теплоснабжения, либо изменены условия на ее вводе.

Представление гидравлической схемы теплоэнергетической установки в виде графа позволяет достаточно просто алгоритмизировать составление системы уравнений (2) для гидравлической сети практически любой сложности и осуществить поиск ошибок при составлении схемы сети путем анализа линейной независимости системы (2).

Библиографический список

1. Сборник задач по машиностроительной гидравлике: Учеб. пособие для машиностроительных вузов / Д.А. Бутаев, З.А. Калмыкова, Л.Г. Подвиз и др.; Под ред. И.И. Куколевского и Л.Г. Подвиза. – 5-е изд. стер. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 448 с.

2. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик; Под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

3. Алексеев, В.Е. Графы и алгоритмы / В.Е. Алексеев. – Н. Новгород: Нижегородская лаборатория программных технологий, 2000. – 67 с.

4. Калиткин, Н.Н. Численные методы / Н.Н. Калиткин. – М.: Наука, Глав. ред. физ-мат. лит., 1978. – 512 с.

К содержанию

УДК 621.9.01

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ РЕЗАНИЕМ

Н.А. Чемборисов

Изложен способ формирования экспертной системы для альтернативного отбора материала режущей части инструмента из баз данных.

Ключевые слова: инструментальный материал, поверхностное упрочнение, процесс резания.

В настоящее время широкое распространение нашли детали со сложным профилем поверхности, к которым относятся: кулачки и ходовые винты металлорежущих станков, режущие инструменты (РИ), зубчатые колеса редукторов и различных коробок передач автомобилей, коробок скоростей и подач металлорежущих станков. Сюда следует добавить различного рода фасонные пуансоны и матрицы ковочных и вырубных штампов, прессовые формы для вулканизации, металлические модели для точного литья, а также ряд инструментов, применяемых в медицине (нейрохирургии и стамотологии). Для их получения требуется дорогостоящее автоматизированное оборудование. Эксплуатация данного оборудования характеризуется ужесточением условий работы РИ и повышением требований к синхронизации смены РИ и повышению качества самого оборудования. Достаточно жесткие требования предъявляются к продолжительности технологической операции. При этом обработка резанием остается наиболее предпочтительной для окончательного формированиия поверхности деталей, несмотря на появление множества других методов. В современных условиях санкций против России на первый план выходят требования по строгому учету затрат на производство, в том числе, на применение РИ, в значительной степени определяющего эффективность обработки резанием. Повысить эффективность применения РИ можно уже на этапе технологической подготовки производства (ТПП) за счет рационального выбора наиболее оптимальных вариантов инструментальных материалов (ИМ) и методов их поверхностного упрочнения, а также определения профиля образующей производящей поверхности РИ.

В современных условиях должно быть проработано возможно большее количество вариантов реализации технологии, т.к. именно это позволяет определить затраты на реализацию различных вариантов обработки, что, в свою очередь, позволяет выбрать наиболее экономичный вариант получения заданного конечного результата.

При формировании сложных поверхностей деталей резанием важное значение придается выбору материала режущей части инструмента (РЧИ). Основой отбора вариантов реализации процесса резания является расчет затрат на сам процесс резания. Они включают в себя затраты на изготовление РИ и используемую электроэнергию.

Значения параметров режима резания обуславливают только одну сторону условий обработки материалов. Резание определяется взаимодействием поверхностных слоев конкретного обрабатываемого материала (ОМ) с конкретным материалом поверхностного слоя РЧИ в условиях, заданных количественными значениями параметров режима резания. Таким образом, необходимо проанализировать, как возможные варианты марки ИМ, а в общем случае и варианты свойств поверхностного слоя РЧИ, получаемых тем или иным способом поверхностного упрочнения, могут быть использованы при заданных технологических ограничениях. На сегодняшний день нет строгой аналитической зависимости между инструментальным материалом и обрабатываемым материалом.

Практически во всех существующих методиках проектирования технологического процесса (ТП) выбор марки ИМ сведен к отдельной единичной процедуре его назначения перед началом расчета количественных параметров в соответствии с технологическими рекомендациями, т.е. не используется возможность альтернативного выбора с последующим сравнением их эффективности по количественным показателям. Наиболее наглядно это проявляется при назначении только одного варианта поверхностного упрочнения, хотя совершенно очевидно, что при наличии на машиностроительном предприятии участка покрытий является необходимым оперативное сравнение по эффективности хотя бы нескольких конструкций поверхностных слоев. К сожалению, до сих пор нет нормативных материалов, содержащих достаточно четкие обоснования по выбору метода поверхностного упрочнения, состава и конструкции покрытия для конкретных условий обработки в конкретных операциях и переходах. Вся информация сосредоточена в немногих работах, причем представляет собой лишь только достаточно общие рекомендации, не систематизированные настолько, чтобы их можно было использовать для решения задач реального производства.

Сформировать базу знаний для осуществления альтернативного отбора материала РЧИ можно на основе существующих в настоящее время баз данных (БД). Во многих справочных материалах общая совокупность марок ИМ уже сгруппирована по очевидным признакам – способу получения, химическому составу, строению, диапазону значений основных свойств. Примерная рекомендуемая область применения каждой марки обусловлена ее комплексом свойств. Однако, глубина рекомендаций на применение того или иного ИМ как правило ограничивается достаточно общими признаками (этап обработки, тип РИ).

В решении проблемы создания ИМ с оптимальным сочетанием основных физико-механических и теплофизических свойств крупный шаг был сделан в начале 70-х годов с появлением газовой и вакуумно-плазменной технологии нанесения износостойких покрытий. Использование таких технологий дает возможность формировать на рабочих поверхностях покрытия заданного состава, структуры и конструкции. Это позволяет создать композицию покрытия-ИМ, которая позволяет в различных комбинациях сочетать такие свойства, как прочность, вязкость, выносливость, твердость, теплостойкость.

Наиболее широко РИ с износостойкими покрытиями применяются в массовом производстве. Прежде всего, это многогранные неперетачиваемые режущие пластины (МНРП) с различными вариантами покрытий, получаемые централизованно. Во-вторых, это специальные РИ из быстрорежущих сталей (БРС) (червячные фрезы, долбяки), а также осевые РИ с покрытиями нанесенным методом катодно-ионной бомбардировки (КИБ) [1].

Важнейшие свойства композиции покрытие-ИМ определяются составом, структурой, строением покрытия, типом формируемой связи между покрытием и ИМ, методом и технологическими параметрами процесса нанесения покрытия, геометрическими параметрами РИ, исходными свойствами материала основы. Наиболее эффективно свойствами композиции можно управлять за счет варьирования химического состава покрытия, его структуры и типа связи с ИМ. Эти факторы определяются в основном технологией нанесения покрытия, а также исходными свойствами ИМ.

Обычно покрытия классифицируют по типу связи с ИМ (тип 1, 2, 3), строению (однослойные и многослойные), составу (одноэлементные, многоэлементные, композиционные). А.С. Верещака доказал, что в наибольшей степени концепции покрытия как промежуточной технологической среды удовлетворяет покрытие композиционно-многослойного типа [2].

Необходимо заметить, что существуют следующие особенности РИ с покрытиями, которые оказывают решающее влияние на их работоспособность [3]: свойства поверхностного слоя резко отличаются от свойств основы. Прежде всего, это более высокая микротвердость, температура плавления, химическая инертность. Эти свойства зависят не только от состава, но и от технологии получения покрытия; в соответствии со своими свойствами покрытия изменяют условия трения на контактных площадках, контактные давления, температуру резания; очень важной характеристикой является прочность сцепления покрытия с основой; существенное влияние на устойчивость покрытия к различным видам износа оказывает их конструкция, т.е. заданный градиент свойств по толщине каждого слоя, а также сама толщина (при многослойных покрытиях).

Износостойкие покрытия являются весьма твердыми, и значит, значительно влияют на повышение износостойкости РИ. Чтобы РИ мог противостоять контактным напряжениям при резании, весьма важно, чтобы процесс

осаждения покрытия проходил в условиях, не снижающих твердости основы ИМ. Поскольку в процессе резания происходит интенсивное выделение теплоты, материал основы должен обладать высокой теплостойкостью.

За счет износостойких покрытий можно уменьшить некоторые недостатки материалов основы и усилить их достоинства. Например, путем подбора соответствующего покрытия есть возможность повысить работоспособность РИ даже при повышении скорости резания за счет уменьшения схватывания с ОМ. С помощью износостойких антифрикционных покрытий можно воздействовать на величину силы резания, а отсюда – и на интенсивность изнашивания РИ.

В целом совокупность имеющихся справочных материалов, по сути, представляет собой достаточно подготовленную общую БД для выбора ИМ на верхних структурных уровнях технологии. Для более конкретной проработки задачи повышения эффективности обработки резанием за счет рационального применения ИМ требуется однозначно рекомендовать или не рекомендовать данную марку к применению в конкретных условиях рабочего хода, определяемых на всех иерархических уровнях структуры ТП. Это значит, что необходима дополнительная дифференциация справочных рекомендаций.

Кроме того систематизация марок ИМ должна быть также дополнена систематизацией характеристик поверхностных слоев с измененными свойствами, иначе невозможно объективно определить возможность применения и технологий упрочнения в целом, и множества вариантов состава и конструкций упрочненных слоев для конкретных условий обработки. В общем виде такая систематизация представлена на рис.

Применяемые способы сгруппированы в ней не просто по их физическим особенностям, но и по результату – диапазону характеристик и вариантам конструкции получаемых слоев, которые и необходимо знать для принятия решения об их применении.

Собственно, процесс отбора представляет собой последовательность процедур ввода ограничений на применение вариантов. На каждом этапе принимается решение об исключении тех или иных вариантов. Практически методика реализуется путем последовательной работы с комплектом таблиц, раскрывающих содержание ограничений либо с несложной компьютерной программой, встраиваемой как в САПР РИ, так и в САПР ТП. Имеется возможность встраивания подобной программы и в информационно-справочную систему РИ [6], которая является составной частью САПР РИ [7].

Например, применение такого процесса выбора материала РЧИ на примере наиболее развитой операции обработки заготовки на станке токарной группы показывает, что только за счет этих процедур возможно повышение эффективности обработки до 10 %, т.к. в токарной операции возможна

обработка практически всех групп ОМ в широком диапазоне значений твердости, они могут содержать различные сочетания переходов (точение проходными, фасочными, расточными, отрезными, прорезными, отрезными, фасонными, фасонными тангенциальными резцами, сверление, зенкерование, развертывание отверстий, нарезание наружных и внутренних резьб, накатывание рифлений). Во многих переходах могут быть использованы разнообразные конструкции РИ, как цельных, так и сборных. Режущая часть инструментов кроме того может быть изготовлена из ИМ различных групп, в том числе имеющих поверхностные слои с различными свойствами.

Систематизация вариантов материала режущей части инструментов, имеющих слои с измененными свойствами для их альтернативного выбора при проектировании процессов резания

Разработанные на сегодня двухслойные и трехслойные покрытия на основе TiN, (Ti, Zr) N, (Ti, Mo) N и (Ti, Al) N позволяют, по сравнению *с* однослойными покрытиями, нанесенными по традиционной технологии, повысить период стойкости РИ в 1,6–4,2 раза.

Для РИ, работающего в условиях прерывистого резания на основе анализа механизма разрушения покрытия, предложены принципы конструирования многослойного покрытия. Такое покрытие должно иметь минимум два слоя. Верхний слой, непосредственно контактирующий со стружкой, должен отвечать за тепловое состояние режущего клина РИ и обеспечить максимальное снижение контактных температур, минимальную амплитуду их колебаний за время рабочего и холостого ходов. Это позволит снизить интенсивность процесса трещинообразования в покрытии и режущем клине РИ. Нижний слой, прилегающий к инструментальной основе, должен сдерживать процессы распространения трещин как на границе «покрытие – инструментальная основа», так и в самом покрытии и иметь высокий уровень сжимающих остаточных напряжений. Например, разработанные на основе этого принципа двухслойные покрытия из нитридов и карбонитридов титана позволяют повысить период стойкости ТС пластин при фрезеровании заготовок из сталей 5ХНМ и 12Х18Н10Т в 1,5–3 раза.

Таким образом, эффективность РИ с покрытием, его качественные характеристики в значительной степени зависят от возможности обеспечения покрытий оптимальной толщины и их равномерного распределения по рабочим поверхностям инструмента. Между тем толщина покрытия и такие важные показатели его качества, как кристаллохимические свойства, дефектность, в достаточно большой степени зависят от положения рабочих поверхностей РИ относительно плазменного потока.

Нанесение покрытия оказывает заметное влияние на прочностные показатели ИМ, причем основной эффект – это стабилизация его прочностных свойств. Изменяя химический состав покрытия и параметры КИБ (давление, состав катода-испарителя, время воздействия и т.д.), можно заметно стабилизировать прочность ИМ. Данная стабилизация прочностных характеристик ИМ увеличивает надежность РИ в результате, прежде всего, стабилизации стойкости РИ. Увеличение толщин покрытий TiC, получаемых высокотемпературными методами ДТ и ГТ, приводит к заметному снижению прочности твердых сплавов (ТС) и росту разбросов прочности.

С ростом рабочего объема прочность ТС после КИБ и нанесения покрытий различного состава и природы (зависит от технологического способа получения) снижается.

Ионная бомбардировка (W, Mo, Cr, Ti) и вакуумно-плазменные покрытия TiN и (Ti-Cr) N значительно уменьшают влияние рабочего объема на предел прочности при изгибе, что свидетельствует о положительном влиянии КИБ на поверхностные дефекты ИМ. Наиболее эффективно воздейст-

вуют на поверхность ионы Mo, Cr, Ti, имеющие невысокие значения энергии активации (соответственно, 184, 124 и 108 Дж/моль), что способствует наиболее эффективному воздействию на поверхностные дефекты.

Покрытия TiC, получаемые высокотемпературными методами ДТ и ГТ, увеличивают влияние рабочего объема на предел прочности при изгибе (особенно термодиффузионный метод ДТ), что связано не только с формированием переходной фазы и декарбидизацией локальных объемов ТС, но и структурно-фазовыми превращениями в объемах ТС, вследствие длительного высокотемпературного воздействия.

При разработке технологии нанесения покрытия чрезвычайно важно учитывать исходные свойства, структуру, фазовый состав ИМ.

На формирование остаточных напряжений в композиции покрытие-ИМ оказывают следующие факторы: структурные напряжения (растягивающие, сжимающие), возникающие при повышении плотности атомной упаковки в процессе нанесения покрытия и после его окончания; фазовые напряжения (растягивающие, сжимающие), связанные с процессами рекристаллизации и перекристаллизации, которые приводят к изменениям удельного объема материала; термические напряжения (растягивающие, сжимающие), возникающие вследствие разницы теплофизических характеристик материалов покрытия и РИ (теплопроводность, линейное расширение и т.д.); термоконденсационные напряжения (растягивающие), формирующиеся при значительных перепадах температуры по толщине покрытия; физико-химические напряжения (сжатие), природа которых обусловлена физико-химическими процессами (окисление, глубинная коррозия, адсорбция, диффузия чужеродных атомов и т.д.).

Указанные механизмы формирования напряжений в композиции покрытие-ИМ действуют интегрально, однако превалируют термонапряжения.

Возможность оптимизации технологических параметров КИБ для конкретных условий обработки, типа РИ и используемой модели вакуумно-плазменной установки говорит о необходимости жесткой регламентации параметров и управления ими от ЭВМ с помощью программ, полученных на основе математических моделей.

Покрытие принципиально не изменяет механизмы изнашивания ТС, сдвигая их скорости резания, минимизирующие интенсивность изнашивания в область более высоких скоростей резания благодаря снижению уровня термомеханической напряженности зоны резания. Сопротивляемость покрытий разрушению определяется составом, методом получения и условиями их эксплуатации. Длительность работы покрытия до разрушения уменьшается по мере роста подачи, при использовании ТС инструмента в условиях прерывистого резания, а также при работе РИ в условиях, приводящих к потере формоустойчивости РЧИ или ее пластическому разрушению.

Эффективность от наличия на поверхности РИ слоев с измененными свойствами, в т.ч. и покрытий, заметно повышается с увеличением скорости резания и ростом сопротивляемости РЧИ пластическому деформированию.

Выбор альтернативных вариантов материала РЧИ в идеале представляет собой не разовую, отдельную процедуру, а упорядоченный процесс ввода ограничений на использование всех возможных марок сердцевины РЧИ, а также комбинаций «основа-покрытие» из числа применяемых в условиях данного производства в рамках каждого структурного элемента технологии. Именно такой подход позволил заметно повысить эффективность ТП обработки резанием в массовом и крупносерийном производстве при минимуме понесенных затрат.

Библиографический список

1. Савин, И.А. Исследование характеристик износостойких покрытий, наносимых на режущий инструмент сложной формы методом катодно-ионной бомбардировки / И.А. Савин // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – № 9. – С. 41–44.

2. Верещака, А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака. – М.:Машиностроение, 1993. – 336 с.

3. Резание материалов. Режущий инструмент: учеб. для ВУЗов в 3 т. / Н.А. Чемборисов, В.А. Гречишников, И.А. Савин и др. – Наб.Челны.: ИНЭКА, 2006.

4. Савин, И.А. Формирование базы данных вариантов материала режущей части инструмента и метода его поверхностного упрочнения / И.А. Савин // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2012. – № 3 (96).

5. Савин, И.А. Повышение эффективности процессов резания в операциях поточного производств на основе проектирования альтернативных вариантов их реализации: автореф. дис. … канд. техн. наук / И.А. Савин. – М.: МГТУ «Станкин», 1995.

6. Чемборисов, Н.А. Информационно-справочная система режущего инструмента / Н.А. Чемборисов // СТИН. – 2001. – № 8. – С. 12–15.

7. Чемборисов, Н.А. Проектирование процесса резания при разработке САПР / Н.А. Чемборисов, И.А. Савин // Сборник научных трудов. Вып. 3. – М.: МГТУ «Станкин», 1996. – С. 9–14.

К содержанию

УДК 378.147.88 + 514.18

К ВОПРОСУ О ПРЕПОДАВАНИИ ТЕМЫ «МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРОЕКЦИЙ» В НАЧЕРТАТЕЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Л.Н. Бережко

Изложены методы преподавания некоторых разделов дисциплины начертательная геометрия и инженерная графика.

Ключевые слова: начертательная геометрия, методика преподавания, преобразование проекций.

Как известно, в начертательной геометрии есть множество задач, которые решаются довольно или даже очень сложно. В то же время все эти задачи имеют частные случаи, в которых благодаря частному расположению геометрических элементов относительно плоскостей проекций, решаются элементарно. Например, определение расстояния между параллельными прямыми в общем случае, казалось бы, простая задача вызывает у студентов сложности. А решение задачи в частном виде таких сложностей не вызывает, т.к. решение элементарно.

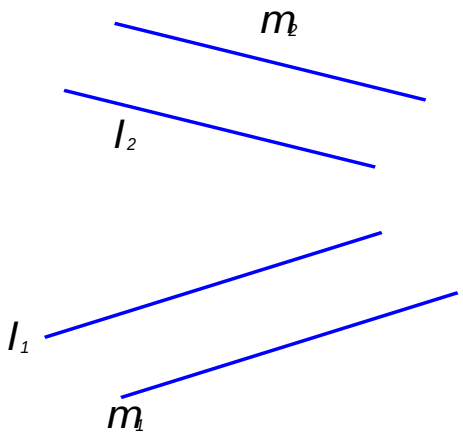


Рис. 1. Параллельные прямые общего положения

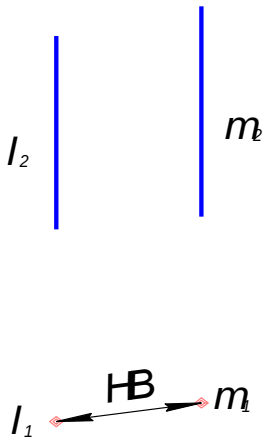


Рис. 2. Расстояние между параллельными проецирующими прямыми

Конечно, чтобы увидеть частное решение надо направить студента на это решение, объяснить, откуда оно берется. А это уже необходимо знание темы «Точка. Прямая. Плоскость».

Преподавая дисциплину «Начертательная геометрия» более 30 лет, я пришла к выводу, что студенты лучше усваивают ее содержание, если порядок преподавания вести от простого к сложному, так, как излагал эту дисциплину Гордон О.В.

То есть сначала идет изучение темы «Точка. Прямая. Плоскость», а затем темы «Преобразование проекций». Методов преобразования проекций, как известно, несколько. И, конечно, необходимо рассказать о них всех. А вот применение этих методов – это другой вопрос.

Анализируя решаемые задачи любой сложности, я пришла к выводу, что для их решения любым методом преобразования проекций, надо знать всего два преобразования – преобразования прямой общего положения в проецирующую прямую и плоскости общего положения в проецирующую плоскость. Почему именно два?

Обычно я для студентов демонстрирую это так.

Все задачи можно разбить на две группы: это задачи, связанные с прямыми, и задачи, связанные с плоскостями.

Первая группа включает, например, следующие задачи:

1. Определение расстояния от точки до прямой. Частный случай решения показан на рис. 4:

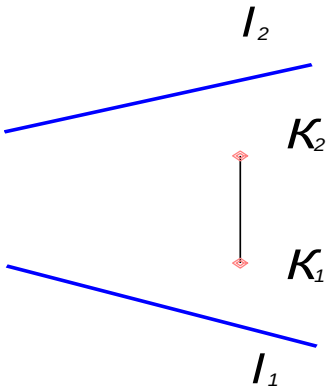


Рис. 3. Общий случай расположения прямой и точки

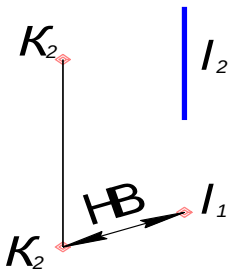


Рис. 4. Расстояние от точки до проецирующей прямой

2. Определение расстояния между параллельными прямыми (этот случай уже был показан ранее на рис. 2).

3. Определение расстояния между скрещивающимися прямыми. Частный случай дает возможность определения кратчайшего расстояния (рис. 6):

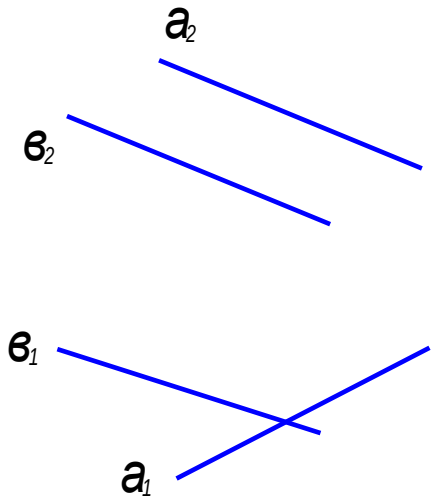


Рис. 5. Общий случай расположения скрещивающихся прямых

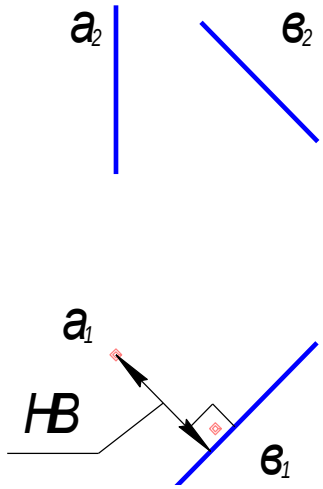


Рис. 6. Расстояние между скрещивающимися прямыми, одна из которых проецирующаяся

4. Определение натуральной величины двугранного угла. Частный случай позволяет отнести эту задачу к первой группе:

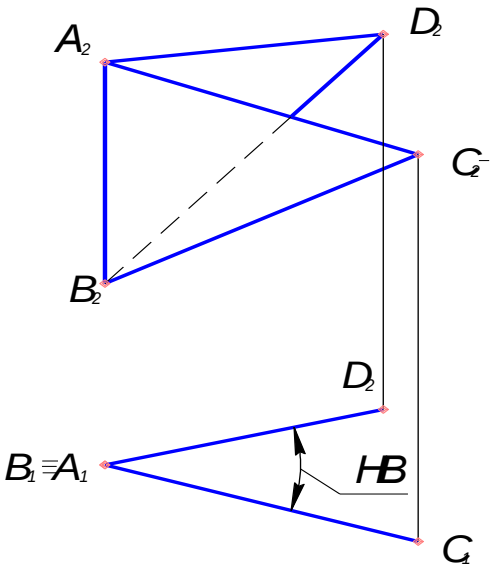


Рис. 7. Натуральная величина двугранного угла, общее ребро которого проецирующая прямая

Вторая группа задач включает, например, следующие задачи:

1. Определение расстояния от точки до плоскости, а также ортогональной проекции точки на плоскость. Решение проводится одинаково, а частный случай у этих задач следующий (рис. 9):

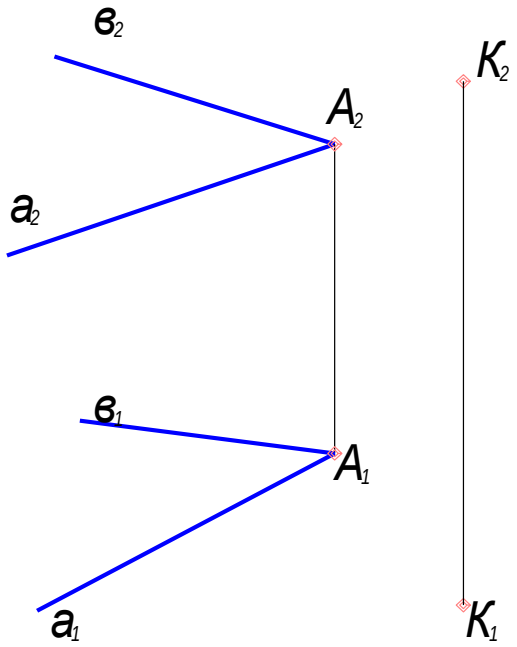


Рис. 8. Общий случай расположения точки и плоскости

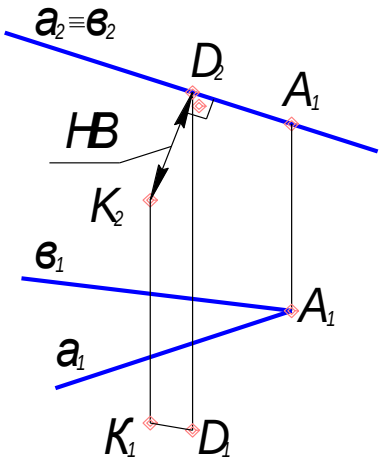


Рис. 9. Расстояние от точки до проекции плоскости

2. Определение расстояния между параллельными плоскостями. Частный случай заключается в том, что расстояние между параллельными плоскостями определяется сразу, если плоскости – проецирующие.

3. Определение натуральной величины любой плоской фигуры и выполнение любого построения в плоскости. Частный случай (рис. 10 и 11).

Сравнение этих задач привело меня к мысли о том, что эти задачи объединены частными случаями.

Для решения задач первой группы надо преобразовать прямую общего положения в проецирующую прямую, при этом необходимо в преобразование «забрать» весь исходный чертеж.

Для решения задач второй группы надо преобразовать плоскость общего положения в проецирующую плоскость (для решения 1 и 2 задачи), либо, продолжив первое преобразование, преобразовать проецирующую плоскость в плоскость уровня (для решения 3-их задач, т.к. их может быть много).

Эти преобразования можно проводить любым методом. Важно, чтобы были соблюдены все правила преобразования и преобразовывать нужно весь исходный чертеж. Ниже приведен пример решения одной из задач – построение плоскости параллельной параллелограмму на расстоянии 40 мм и по площади в 2 раза меньшей (рис. 12).

Мною были разработаны методические указания по использованию этого подхода к решению задач. Этот пример взят из этих указаний.

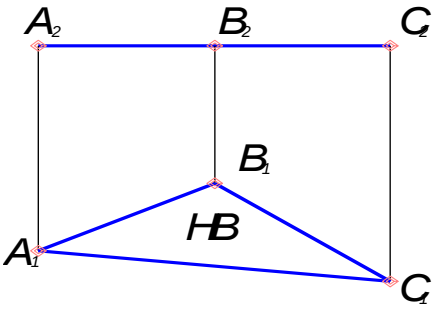


Рис. 10. Натуральная величина треугольника в положении уровня

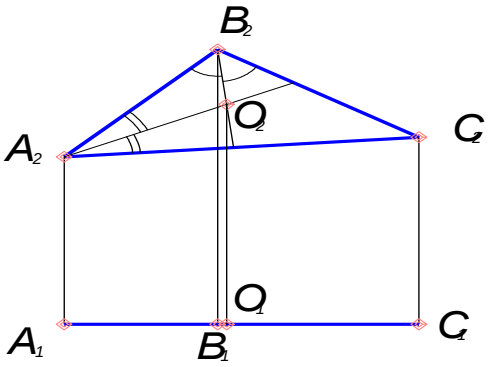


Рис. 11. Определение центра вписанной в треугольник окружности

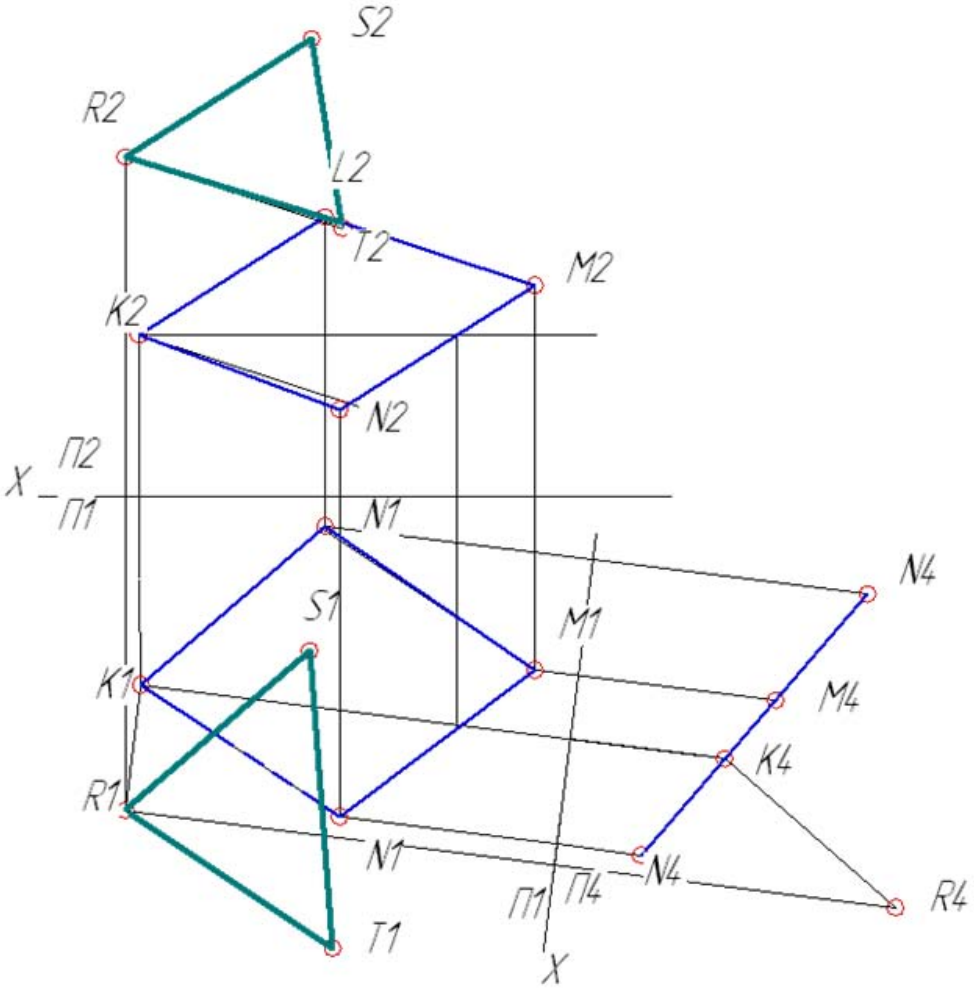


Рис. 12. Построение плоскости треугольника,
параллельного параллелограмму на заданном расстоянии

Такой подход к изложению темы «Преобразование проекций» дает свой результат. Студенты быстро усваивают методику решения задач и успешно ее применяют.

Библиографический список

1. Инженерная графика. Машиностроительное черчение: Учебник. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. – 396 с.
2. Начертательная геометрия. Учебник. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 285 с.

К содержанию

УДК 658.5.011

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТАНДАРТА ИСО 9001 В НОВОЙ РЕДАКЦИИ 2015 ГОДА

В.А. Горшков

Изложены особенности новой версии международного стандарта ИСО 9001 в последней редакции 2015 года.

Ключевые слова: менеджмент качества, международные стандарты, СМК.

В настоящем обзоре использован текст стандарта, который является переводом рабочей (неотредактированной) версии англоязычного варианта проекта международного стандарта ISO/DIS 9001:2014(E) – документ ISO/TC 176/SC2/ WG24/N112 от 13 мая 2014. (Перевод В.А. Качалова от 01.06.14 г. (неотредактированный).

Необходимо отметить, что переведенный проект стандарта ISO/DIS 9001:2014(E) дает достаточно полное представление о новой версии ISO 9001-2015, однако он не является окончательным и до его принятия носит справочный характер.

Проект настоящего документа был подготовлен в соответствии с правилами издания документов, содержащимися в Директивах ISO/IEC. Это пятая версия стандарта ISO 9001, которая отменяет и заменяет четвертую версию (ISO 9001:2008), она представляет собой технически отредактированную версию по сравнению с предыдущей за счет принятия:

– новой последовательности разделов;

– новой редакции принципов менеджмента качества;

– новых концептуальных положений.

Настоящий стандарт ИСО планирует принять в сентябре 2015 г. В Российской федерации стандарт ISO 9001 версии 2015г. планируется принять до конца 2015 г.

Особенности новой версии стандарта ISO 9001 заключаются в следующем:

– текст стандарта был подготовлен с использованием «структуры более высокого уровня» (в части: изменения последовательности и количества разделов по сравнению с ISO 9001:2008, общности текста и терминологии со стандартами ISO на системы менеджмента). Это было сделано для того, чтобы усилить связь между стандартами ISO на системы менеджмента, и чтобы стимулировать их внедрение в организациях, которые нуждаются в выполнении требований двух или более стандартов на системы менеджмента одновременно (например, системы менеджмента качества (СМК) и

системы экологического менеджмента (СЭМ) и т.п.). Такой подход позволяет добавлять в текст специфические положения (в нашем случае это специфика СМК), а именно:

а) конкретные требования СМК, учитывающие важность соответствия области применения стандарта ISO 9001;

б) положения, отражающие принципы менеджмента качества, которые формируют основу стандартов ISO на СМК;

в) требования и примечания для разъяснения и обеспечения согласованной интерпретации и внедрения общего текста в свете СМК;

– стандарт базируется на 7-ми принципах (в ISO 9001:2008 было 8 принципов), которые более конкретно будут рассмотрены ниже;

– принятие новых концептуальных положений, таких как: структура и терминология, продукция и услуги, контекст организации (условия, в которых функционирует организация), риск-ориентированный подход, применимость, документированная информация, внутрифирменная база знаний, управление внешними поставками продукции и услуг.

Принципы СМК по ISO 9001:2015

Рассмотрим, в сравнении с ISO 9001:2008, формулировки принципов СМК, которые предлагает использовать стандарт ISO 9001:2015 при построении СМК организаций:

1. Ориентация на потребителя

Основное направление менеджмента качества заключается в обеспечении выполнения требований потребителя и в стремлении превысить его ожидания.

Суть данного принципа осталась такой же, как и в ISO 9001:2008 (Ориентация на потребителя).

2. Лидерство

Лидеры на всех уровнях организации обеспечивают единство целей и направлений развития и создают условия, в которых люди оказываются вовлеченными в достижение целей организации в области качества.

Суть данного принципа осталась такой же, как и в ISO 9001:2008 (Лидерство руководителя).

3. Вовлечение людей

Для организации жизненно важно, чтобы все сотрудники были компетентными, имели необходимые полномочия и были вовлечены в создание ценности.

Чтобы управлять организацией результативно и эффективно, важно вовлечь в соответствующую деятельность всех людей на всех уровнях и уважать в них личность. Признание, предоставление полномочий и развитие навыков и знаний сотрудников способствует их вовлечению в достижение целей организации.

Данный принцип трактуется более конкретно, чем в ISO 9001:2008 (Вовлечение работников), т.к. требует уважать в людях личность, обязательно наделять их полномочиями и развивать навыки и знания.

4. Процессный подход

Последовательно получаемые и предсказуемые результаты достигаются более результативно и эффективно, когда деятельность рассматривают в качестве взаимодействующих процессов, которые функционируют как согласованная система, и управляют деятельностью как такими взаимодействующими процессами.

Система менеджмента качества состоит из взаимодействующих процессов. Понимание того, как эта система, включая все ее процессы, ресурсы, способы и методы управления, а также их взаимодействие, достигает результаты, позволяет организации оптимизировать свою деятельность.

В данном принципе фактически объединены два принципа ISO 9001:2008 (Процессный подход и системный подход к менеджменту). На практике на предприятиях, сертифицированных по ISO 9001:2008, системность подхода к менеджменту, как правило, подтверждалась наличием в Руководстве по качеству «Схемы взаимодействия основных бизнес-процессов» и их перечня.

5. Улучшения

Успешная организация постоянно нацелена на улучшения.

Улучшения жизненно важны для организации для поддержания текущего уровня функционирования, реагирования на изменения ее внутренних и внешних условий и для создания новых возможностей.

Суть данного принципа осталась такой же, как и в ISO 9001:2008 (Постоянные улучшения).

6. Принятие решений на основе свидетельств

Решения, основанные на результатах анализа и оценивании данных и информации, позволяют с большей вероятностью достигать желаемых результатов.

Процесс принятия решений может быть сложным процессом, и он всегда несет в себе некоторую неопределенность. Он часто основывается на различных видах и источниках исходных данных, равно как и на их интерпретации, которая может быть субъективной. Для принятия решений важно понимать причину и влияние взаимосвязей, а также потенциал неожидаемых последствий. Анализ фактов, свидетельств и данных ведет к большей объективности и к доверию при выработке решений.

Суть данного принципа осталась такой же, как и в ISO 9001:2008 (Принятие решений, основанное на фактах).

7. Менеджмент взаимоотношений

Для обеспечения устойчивого успеха организации управляют своими взаимоотношениями с заинтересованными сторонами, такими, например, как поставщики.

Заинтересованные стороны влияют на деятельность организации. Устойчивый успех будет достигнут с большей вероятностью, когда организация управляет взаимоотношениями с заинтересованными сторонами в целях оптимизации их влияния на свою деятельность. Менеджмент взаимоотношений с сетью поставщиков и партнеров часто особенно важен.

Заинтересованная сторона по стандарту ISO 9001:2015 – это «лицо или организация, которые могут влиять на принятие решений или на осуществляемую деятельность, или на которых эти решения или деятельность влияют или, как они сами ощущают, могут повлиять».

Данный принцип трактуется более широко, чем в ISO 9001:2008 (Взаимовыгодные отношения с поставщиками), т.к. требует устанавливать и управлять взаимоотношениями не только с поставщиками, но и вообще со всеми заинтересованными сторонами, т.е. со всеми организациями, которые так или иначе могут оказывать влияние на организацию, имеющую сертифицированную СМК, например, с потребителями или городскими властями и т.п.

Таким образом, принципы построения СМК по ISO 9001:2015 остались, в основном, такими же, как в ISO 9001:2008. Руководству предприятий при внедрении стандарта ISO 9001:2015 необходимо будет обратить особое внимание на реализацию в СМК следующих принципов: Вовлечение людей, Процессный подход и Менеджмент взаимоотношений.

Новые концептуальные положения по ISO 9001:2015

1. Структура и терминология

Структура разделов настоящего международного стандарта изменена по сравнению с ISO 9001:2008, в нем будет 10 разделов, это сделано для улучшения связи с другими стандартами на системы менеджмента, кроме того, в стандарте изменены и некоторые используемые в нем термины (см. табл.), а также добавлены новые термины, например, Заинтересованная сторона, Цель, Риск, Документированная информация, Стратегия и др.

Таблица

Расхождения в терминологии между ISO 9001:2008 и ISO 9001:2015

ISO 9001:2008	**ISO 9001:2015**
Продукция	Продукция и услуги
Исключение	Не используется (см. приложение А4 для пояснения)
Документация, записи	Документированная информация
Производственная среда	Производственная среда для функционирования процессов
Закупленная продукция	Продукция и услуги, полученные извне
Поставщик	Внешний поставщик

Вместе с тем, эти изменения в структуре и терминологии не обязательно должны быть отражены в документации системы менеджмента качества организации.

2. Продукция и услуги

В стандарте ISO 9001:2008 используется термин «Продукция – результат процесса», который включает в себя все категории «выходов процессов». В настоящем международном стандарте используется термин «продукция и услуги». Этот термин также включает в себя все категории «выходов процессов» (технические устройства, услуги, программные средства и перерабатываемые материалы).

Включение в оборот термина «услуги» вызвано необходимостью подчеркнуть разницу между продукцией и услугами в тех случаях, когда к ним применяют некоторые требования. Особенностью услуг является то, что, как минимум, часть получаемых результатов достигается при непосредственном взаимодействии с потребителем. Это, например, означает, что соответствие требованиям не всегда может быть подтверждено до того, как услуга предоставлена.

3. Контекст организации (условия, в которых функционирует организация)

Понятие «Контекст организации (условия, в которых функционирует организация)» означает, что это:

– «бизнес-среда;

– сочетание внутренних и внешних факторов и условий, которые могут иметь влияние на подход организации к ее продукции, услугам, инвестициям и заинтересованным сторонам».

Контекст организации – это новое понятие применительно к СМК, которое требует от руководства при создании СМК рассматривать условия, в которых функционирует организация: а именно:

– взаимодействие организации с местными и федеральными органами управления (например, администрация города, налоговая инспекция и т.п.) с другими организациями города (например, энерго-, тепло- и водоснабжающие, предоставляющие какие-либо услуги и т.п.), от которых организация так или иначе зависит;

– взаимодействие организации с поставщиками покупных материалов и комплектующих изделий и потребителями продукции организации.

В настоящем стандарте имеется два раздела, связанных с контекстом организации (условиями, в которых функционирует организация): раздел **4.1. «Понимание организации и ее контекста (условий, в которых она функционирует)»** и раздел **4.2. «Понимание потребностей и ожиданий заинтересованных сторон»**. Вместе эти разделы требуют, чтобы организация выявила все обстоятельства и требования со стороны взаимодействующих с ней организаций, которые могут влиять на её систему менедж-

мента качества и учла их в своей СМК. Например, местная ТЭЦ обеспечивает организацию электроэнергией и горячей водой, которые используются в техпроцессах изготовления продукции, если ТЭЦ не может обеспечить бесперебойное обеспечение организации электроэнергией и горячей водой, то это может негативно отразиться на качестве продукции. В данном случае организация должна оценить риск возникновения таких ситуаций и предусмотреть меры в СМК, позволяющие исключить влияние отключений на качество продукции.

Заголовки разделов 4.1 и 4.2 названы так для обеспечения связи со стандартами на другие системы менеджмента. Они не подразумевают расширение требований к системе менеджмента качества за пределы области применения настоящего международного стандарта (раздел 1).

4. Риск-ориентированный подход

Стандарт требует, чтобы организация понимала условия, в которых она функционирует (см. раздел 4.1), и установила риски и возможности, которые необходимо при этом принять во внимание (см. раздел 6.1).

Другими словами руководство организации должно:

– выявить все риски, которые могут оказать негативное воздействие на СМК организации;

– оценить вероятность возникновения каждого из рисков;

– определить меры (разработать предупреждающие действия), которые необходимо будет предпринять, чтобы исключить (или существенно снизить) негативное воздействие на СМК организации каждого из рисков.

Одной из ключевых целей СМК является оценка всех рисков, которые могут негативно повлиять на качество продукции, а также разработка предупреждающих действий по снижению или полному исключению влияния соответствующих рисков на качество. По этой причине в настоящем международном стандарте нет отдельно выделенного подраздела с названием «Предупреждающие действия». Понятие предупреждающих действий выражено посредством риск-ориентированного подхода при формулировании требований к СМК.

5. Применимость

В настоящем международном стандарте более не делается ссылка на «исключение» при определении применимости его требований к системе менеджмента качества конкретной организации.

Стандарт требует: «Область применения системы менеджмента качества должна быть доступна и оформлена документально, отражая при этом:

– продукцию и услуги, охваченные системой менеджмента качества;

– обоснование всех случаев, когда требования настоящего международного стандарта не могут быть применены».

Организация может сама проанализировать применимость требований стандарта с учетом: размеров организации, принятой модели менеджмента,

областей осуществляемой деятельности, а также характера выявленных рисков и возможностей и принять обоснованное решение об исключении некоторых требований из своей СМК. Решение об исключении некоторых требований из СМК должно быть обязательно обосновано документально, например, в Руководстве по качеству.

6. Документированная информация

В качестве части связи со стандартами на другие системы менеджмента был без каких-либо существенных изменений или редакций принят общий раздел **«Документированная информация»** (см. раздел 7.5).

Согласно терминологии, принятой в стандарте: «документированная информация (документально оформленная информация) – это информация, которую организация посчитала необходимой поставить под управление, вести и сохранять, а также носитель, который ее содержит». Под это определение подпадают абсолютно все виды документов, применяемых в организации: документированные процедуры, записи, стандарты всех уровней, методики, положения и т.п.

Где это было возможным, текст в настоящем международном стандарте был построен в соответствии с требованием раздела **«Документированная информация»**. Соответственно, все термины «документированная процедура» и «запись» повсеместно были заменены в тексте требований на «документированную информацию».

7. Внутрифирменная база знаний

В разделе 7.1.6 «Внутрифирменная база знаний» стандарт требует: «Организация должна определить знания, необходимые для функционирования ее процессов и для достижения соответствия продукции и услуг.

Эти знания должны поддерживаться на соответствующем уровне и быть доступными для распространения в необходимом объеме.

При рассмотрении вопросов, касающихся изменений потребностей или тенденций, организация должна рассмотреть свои имеющиеся знания и определить, каким образом она будет приобретать необходимые дополнительные знания или получит к ним доступ».

Раздел **«Внутрифирменная база знаний»** необходим для того, чтобы выявлять и поддерживать знания, полученные в организации, включая полученные персоналом, для обеспечения соответствия продукции и услуг.

Процесс рассмотрения и управления прошлыми, существующими и дополнительными знаниями требует учета условий, в которых функционирует организация, включая ее размеры и сложность, риски и возможности, которые она рассматривает, а также потребность в доступности знаний. Баланс между знаниями, обладающими компетентными людьми, и знаниями, имеющимися у других людей, означает, что в организации проявляют осторожность, позволяющую рассчитывать на то, что соответствие продукции и услуг может быть обеспечено.

Считаем необходимым отметить следующее:

– для машиностроительных предприятий РФ могут возникнуть трудности с обеспечением компетентными кадрами, что связано с проводимой в РФ реформой образования, которая уже привела к резкому снижению образованности выпускников средних школ по естественно-научным дисциплинам. Не редки случаи, когда в вузы принимаются (по итогам ЕГЭ) выпускники, не умеющие грамотно писать, оперировать с дробями, считать в уме, понимать и грамотно излагать прочитанное (так называемая, функциональная неграмотность) и т.п., очевидно, что освоить программу по технических специальностям вузов им не по силам, т.е. компетентность выпускников вузов резко снижается;

– в соответствии с реформой образования, вузы переходят на 2-х уровневую систему образования: бакалавры и магистры, инженеры (специалисты) сейчас, практически не выпускаются, а это значит, что промышленность, уже испытывающая острый недостаток инженеров, в скором времени останется вообще без инженеров (старые вымрут, а новых не выпускают).

8. Управление внешними поставками продукции и услуг

Раздел 8.4 «Управление внешними поставками продукции и услуг» распространяется на все виды внешних поставок, вне зависимости от того, поставлены ли они поставщиком, на основе договоренностей с компанией-партнером, посредством передачи процессов и функций организации на аутсорсинг или с помощью каких-то иных способов.

От организации требуется применить риск-ориентированный подход для установления вида и глубины управления, подходящего к конкретным внешним поставщикам и поставляемым извне продукции и услугам.

Применение риск-ориентированного подхода к управлению внешними поставками продукции и услуг требуется для того, чтобы оценить:

«а) степень потенциального влияния внешне поставляемых процессов, продукции и услуг на способность организации постоянно соответствовать требованиям потребителя и применимым законодательным и нормативным требованиям;

б) ожидаемую результативность средств и методов управления, применяемых к внешнему поставщику».

Выводы

Новая версия стандарта ISO 9001, направлена:

– на дальнейшее повышение доверия к продукции и услугам, поставляемым организацией, внедрившей эту версию, и тем самым, на повышение степени удовлетворенности потребителей. Его внедрение может также принести организации другие выгоды, например, такие, как улучшение внутренней коммуникации, лучшее понимание процессов, функционирующих в организации, и управление ими, снижение дефектности и т.п.;

– на совершенствование процессного подхода, при этом она предусматривает систематическое выявление новых процессов и совершенствование их взаимодействия, чтобы успешнее достигать запланированных результатов в соответствии с политикой в области качества и стратегическими направлениями развития организации. Менеджмент процессов и СМК в целом рекомендуется строить на основе методологии PDCA – «Планируй – Делай – Проверяй – Действуй», делая упор на «риск-ориентированное мышление», которое позволяет предотвратить или снизить вероятность получения непланируемых результатов;

– на разработку в организации системы взаимодействующих процессов, представленных в разделах от 4 до 10 настоящего международного стандарта. Предлагаемая система процессов демонстрирует, что потребители играют определяющую роль в установлении исходных требований, которые организации необходимо выполнить на всех этапах ее СМК. Кроме того, показаны потребности и ожидания других заинтересованных сторон, которые также могут играть важную роль в формировании этих требований. Мониторинг степени удовлетворенности потребителей требует проведения оценки информации, относящейся к восприятию потребителем того, выполнила ли организация эти требования;

– на применение методологии PDCA («Планируй – Делай – Поверяй – Действуй»), которая может быть применена ко всем процессам и к СМК в целом;

– на улучшение связи между ISO 9001 и другими международными стандартами на системы менеджмента, разработанными ISO, например, в отношении последовательности разделов, общего текста и общей терминологии;

– на расположение требований к СМК в такой последовательности, которая соответствует осуществляемой в организациях деятельности по планированию и менеджменту процессов, а именно:

– понимание контекста организации (условий, в которых функционирует организация), ее системы менеджмента качества и процессов (раздел 4);

– лидерство, политика и ответственность (раздел 5);

– процессы планирования, а также рассмотрение и учет рисков и возможностей (раздел 6);

– поддерживающие процессы, включая ресурсы, людей и информацию (раздел 7);

– процессы производства, относящиеся к потребителям, к продукции и услугам (раздел 8);

– процессы оценивания показателей деятельности (раздел 9);

– процессы улучшения (раздел 10).

Необходимо заметить, что при определении своей СМК от организаций не требуется в точности следовать указанной последовательности разделов:

– на создание возможности организациям использовать процессный подход совместно с методологией PDCA и риск-ориентированным мышлением, чтобы объединить свои СМК с требованиями стандартов на другие системы менеджмента, если это им потребуется;

– на повышение надежности СМК и, тем самым, в помощи организации улучшить общие показатели ее деятельности, а также обеспечить более устойчивое ее развитие.

Библиографический список

1. Проект международного стандарта ISO/DIS 9001:2014(E) Системы менеджмента качества Требования / Пер. В.А. Качалова от 01.06.2014.

2. ГОСТ ISO 9000-2011 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – М., 2011.

3. ГОСТ ISO 9001-2011 Системы менеджмента качества. Требования. – М., 2011.

К содержанию

УДК 378.147.88

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ПРОГРАММ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

В.А. Волохов

Проведен анализ возможности использования программы КОМПАС в учебных дисциплинах при подготовке специалистов и бакалавров по техническим специальностям.

Ключевые слова: компьютерная графика, автоматизированное проектирование, конструкторская документация, компьютерное моделирование, учебные дисциплины.

В настоящее время компьютерные технологии являются неотъемлемой частью учебного процесса. При подготовке инженеров широко используются не только расчетные компьютерные программы (например, MathCad [1]), но также и графические программы: AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, T-FLEX CAD и другие [2]. По своей сути эти программы представляют собой систему двух-и трехмерного автоматизированного проектирования и черчения, с возможностями оформления проектной и конст-

рукторской документации согласно определенным стандартам. В настоящей статье хотелось бы рассмотреть некоторые методические аспекты применения программы КОМПАС-3D при подготовке специалистов технических специальностей.

Почему именно КОМПАС? Прежде всего потому, что этот «комплекс автоматизированных систем» от российской компании «АСКОН» позволяет разрабатывать и оформлять проектную и конструкторскую документацию согласно стандартам серии ЕСКД и СПДС. Программы данного семейства автоматически генерируют ассоциативные виды трехмерных моделей (в том числе разрезы, сечения, местные разрезы, местные виды, виды по стрелке, виды с разрывом). Все они ассоциированы с моделью: изменения в модели приводят к изменению изображения на чертеже. КОМПАС выпускается в нескольких редакциях: «Компас-График», «Компас-СПДС», «Компас-3D», «Компас-3D LT», «Компас-3D Home» [3]. «Компас-График» может использоваться и как полностью интегрированный в «Компас-3D» модуль работы с чертежами и эскизами, и в качестве самостоятельного продукта, предоставляющего средства решения задач 2D-проектирования и выпуска документации. «Компас-3D LT» и «Компас-3D Home» предназначены для некоммерческого использования, «Компас-3D» без специализированной лицензии не позволяет открывать файлы, созданные в этих программах. Такая специализированная лицензия предоставляется только учебным заведениям [3]. Кроме того, освоив «Компас-3D», можно достаточно быстро научиться работать в других графических программах, если возникнет такая необходимость.

Выяснилось, что далеко не все студенты старших курсов имеют навыки уверенной работы в «Компас-3D» при проектировании. С моей точки зрения, проблема заключается в неправильной постановке обучения работы с программой. Изучение любой дисциплины проходит путь от простого к сложному. Однако на практике часто получается, что первое знакомство с «Компас-3D» происходит на 3-м курсе в 5-м или 6-м учебных семестрах, например при изучении дисциплины «Компьютерное моделирование». Естественно, практически сразу рассказывают и показывают возможности «Компас-3D» – системы трехмерного твердотельного моделирования и автоматизированного проектирования. Далеко не все студенты, не имеющие опыта работы в подобных системах, успешно осваивают дисциплину, возникает непонимание. Причина в том, что для успешного овладевания навыками работы в «Компас-3D» необходимо поэтапное изучение программы, а начинать нужно с обычного плоского черчения в «Компас-График», то есть использовать программу в качестве «электронного кульмана».

Начинать знакомство с КОМПАС необходимо на 1-м курсе при изучении дисциплины «Инженерная графика» [4]. Причем «классическую» теоретическую составляющую курса нужно обязательно сохранить, а чертежи

выполнять в «Компас-График». Особое внимание необходимо обращать на правильность выполнения чертежей (соответствующие линии, разрезы, сечения, надписи, простановка размеров и т.д.). Практика показывает, что если студенты выполняют чертежи на компьютере, на правильность, на соответствие их ГОСТу особое внимание не обращают. Таким образом, при правильном методическом подходе уже на начальном этапе обучения можно решить сразу 2 задачи: научить студентов правильно выполнять простые чертежи и при этом работать в КОМПАС.

В дальнейшем совершенствовать навыки работы в КОМПАС студенты могут при изучении дисциплин «Теория механизмов и машин» и «Детали машин и основы проектирования». В теории механизмов традиционно используют графические методы исследования (построение кинематических графиков, планов положений, планов скоростей, планов ускорений, применяют графическое дифференцирование и графическое интегрирование) [5]. Применение «Компас-График» позволяет существенно повысить качество и точность графических построений, а также создает неоспоримые преимущества и удобства при оформлении чертежей и расчетно-пояснительной записки (все необходимые схемы можно выполнить в графической программе и затем вставить в текстовый документ). Учебная дисциплина «Детали машин и основы проектирования» на 100 процентов является инженерной дисциплиной. При проектировании студенты выполняют расчеты и чертежи реальных деталей и узлов современных машин (валы, подшипники, передаточные механизмы), а также в соответствии со стандартами ЕСКД оформляют конструкторскую документацию. Использование «Компас-График» на данном этапе обучения крайне важно, так как студенты получат необходимые навыки работы с программой и будут применять их в практической инженерной деятельности.

Таким образом, если ввести обязательное использование и естественно, обучение в работе с программой «Компас-График» в перечисленных учебных дисциплинах, студенты приобретут достаточные навыки работы с компьютерной графикой и смогут ее успешно применять в дальнейшем. После этого можно переходить к обучению студентов для работы в «Компас-3D». Имея достаточный опыт применения программы для плоского проектирования и выпуска документации, познав на практике все преимущества использования компьютерной графики, студенты смогут достаточно быстро и успешно освоить 3-х мерное проектирование и моделирование. А главное, студенты будут с интересом изучать новую дисциплину, так как заинтересованность проявляется в том случае, если есть понимание. Только в результате поэтапного изучения и постоянного использования программы КОМПАС в учебных дисциплинах студенты получат уверенные навыки работы с компьютерной графикой, которые так необходимы при подготовке современных инженеров.

Библиографический список

1. Бертяев, В.Д. Теоретическая механика на базе MathCad. Практикум / В.Д. Бертяев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 752 с.
2. Большаков, В.П. 3D-моделирование в AutoCAD, Компас-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex: учебный курс: [примеры 3D-моделей и дистрибутивы CAD-систем] / В.П. Большаков, А. Бочков, А. Сергеев. – М. [и др.]: Питер, 2011. – 328, [3] с.: ил.; 23 см + 1 CD-ROM.
3. Официальный сайт компании «АСКОН». – URL: www.ascon.ru.
4. Большаков, В.П. КОМПАС-3D для студентов и школьников: черчение, информатика, геометрия / В.П. Большаков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – VII, 296 с.: ил.; 23 см + 1 DVD. – (Информатика и информационно-коммуникационные технологии).
5. Артоболевский, И.И. Теория механизмов / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1967. – 720 с.

К содержанию

УДК 378.147.88 + 621.81

ОСОБЕННОСТИ КУРСА ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ОСНОВ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ

В.М. Миронов

Рассмотрены проблемы и перспективы развития высшего образования, выявлена необходимость и неотрывность образования от информационных технологий. Предложены конкретные мероприятия по развитию этих технологий в образовательном процессе, рассмотрены примеры их применения на факультете.

Ключевые слова: детали машин, основы конструирования, информационные технологии, высшее образование, качество образования.

Современное высшее образование не представляется возможным без применения информационно-компьютерных технологий. Компьютерная техника, появившись в середине XX века, всего за несколько десятилетий совершила настолько огромный скачок в своем развитии, что современный специалист практически любой сферы деятельности уже не может полноценно осуществлять свою работу без применения компьютерной техники и информационных технологий. Не может в стороне от генеральной линии развития научно-технического процесса оставаться и высшее техническое образование [1]. Тому есть, по меньшей мере, две причины: во-первых, мы

готовим специалистов в области автомобилестроения, которые по роду своей будущей деятельности должны будут работать с использованием современных информационных технологий; и во-вторых, осуществлять их подготовку с использованием в образовательном процессе этих же самых информационных технологий можно не только качественнее с точки зрения работодателей, но и проще как для преподавателей, так и для самих студентов.

Для успешной работы выпускнику в XXI веке уже недостаточно только академических знаний и умения критически мыслить, также необходим достаточный уровень информационно-технической подготовки. Поэтому многие студенты стремятся заранее получить навыки в области информационных технологий и обеспечить себе этим более успешную карьеру в будущем.

Современная социально-экономическая тенденция, характерна тем, что все большее число и все большая доля рабочих мест и видов деятельности требуют знаний и квалификации высокого уровня, и, чтобы успешно трудиться на этих местах и в этих сферах деятельности, необходимо соответствующее образование. Причем, это характерно не только для тех видов деятельности человека, которые формируются в результате развития современных технологий, но и для специальностей, которые до недавнего времени предполагали более низкую квалификацию и формально не требуют высшего образования. Таким образом, в настоящее время спрос в обществе на образование характеризуется тенденцией к постоянному росту по мере того, как растет роль научных знаний в жизнедеятельности человека. По мере приобретения образованием характера непрерывного процесса становится все более разнообразным и возрастной состав учащихся, и исходный уровень их знаний, и характер мотивации учения, и содержание потребных знаний. Технологии, используемые для связи учащихся с сообществами и друг с другом, могут сделать процесс обучения более интересным, отвечающим реалиям сегодняшнего дня, предоставляя нужную информацию в нужное время. Этот процесс во многом определяется ранее полученными знаниями, ожиданиями и получаемыми результатами, которые формируют среду обучения.

Практика свидетельствует о том, что применение современных компьютерных технологий при чтении любой дисциплины значительно повышает интерес студентов к предмету исследования и улучшает восприятие изучаемого материала. Кафедра «Техническая механика и естественные науки» (бывшая «Управление качеством и сертификация») читает ряд специальных дисциплин по теоретической механике, сопротивлению материалов, деталям машин и основам конструированию [2]. Требования к выпускаемому нами специалисту в области автомобилестроения со стороны работодателей не могут не включать в себя знания современных информа-

ционно-компьютерных технологий. Поэтому наша кафедра «Техническая механика и естественные науки» активно использует информационные технологии в образовательном процессе по вышеозначенным направлениям.

На факультете имеется собственный файловый сервер [3], доступ к которому имеют все студенты и преподаватели факультета. На этом сервере преподаватели кафедры выкладывают всю имеющуюся у них полезную для студентов информацию: конспекты лекций, учебные пособия по предметам, вопросы для самостоятельной подготовки, методические пособия и задания для самостоятельной работы, а также ссылки на полезные интернет-ресурсы.

С другой стороны при проведении лабораторных и практических занятий по вышеозначенным дисциплинам также активно используются современные информационные технологии. Так факультет располагает тремя компьютерными классами и современным инженерным программным обеспечением (Компас 3D с расчетными библиотеками, Вертикаль, AutoCAD, Pro Engineer, MathCAD и др.), кроме того, кафедра имеет современный компьютеризированный комплекс на полтора десятка лабораторных работ. Благодаря этому комплексу имеется возможность готовить специалистов работать на современном оборудовании по определению размеров, шероховатости и отклонению формы контролируемых деталей, которым располагают лишь самые передовые предприятия нашего региона. То есть готовить специалистов, отвечающих самым высоким современным требованиям работодателей.

Нужно отметить, что использование информационных и коммуникационных технологий в высшем образовании, как правило, сводится к двум основным направлениям.

Первое заключается в применении широких возможностей этих технологий для повышения доступности образования. Необходимо помнить, что чрезмерное увлечение такой дистанционной формой обучения может привести к тому, что будущие студенты могут быть лишены всего того, что требуется для получения подлинно качественного высшего образования: работа в лабораториях, доступ к научным библиотекам, общение с преподавателями и студентами на семинарах и в неофициальной обстановке.

Второе направление предполагает использование информационных технологий для изменения содержания и способов обучения в рамках традиционной очной формы. Но здесь возникает другая проблема, связанная с тем, что внедрение передовых технологий часто создаёт дополнительные преимущества наиболее активным и способным студентам, не влияя на уровень подготовки основного контингента. Нельзя оставить без внимания и возрастающую роль ответственности самого обучаемого за результаты обучения.

Таким образом, использование информационных технологий позволяет сделать образование более доступным с предположением возможных потерь в качестве или повысить качество образования, но для ограниченного, наиболее подготовленного контингента обучаемых и поэтому не отменяет, а лишь дополняет традиционные формы отечественного высшего технического образования.

Библиографический список

1. Портал: Информационно-коммуникационные технологии в образовании. – URL: http://www.ict.edu.ru.

2. Слесарев, Е.Н. Краткий обзор развития менеджмента качества / Е.Н. Слесарев // Качество продукции, технологий и образования: Материалы III научно-практической конференции. – Магнитогорск: Изд-во МГТУ, 2008. – С. 82–86.

3. Сайт филиала Южно-Уральского государственного университета в г. Миассе. – URL: http://www.miass.susu.ac.ru.

4. Горшков, В.А. Некоторые проблемы внедрения СМК в соответствии с требованиями МС ИСО 9001 в образовательном учреждении / В.А. Горшков // Наука ЮУрГУ. Материалы 66-й научной конференции. Секция технических наук. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2014. – С. 1583–1591.

5. Слесарев, Е.Н. История и перспективы развития технического образования в нашей стране / Е.Н. Слесарев // Наука ЮУрГУ. Материалы 66-й научной конференции. Секция технических наук. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2014. – С. 1648–1653.

К содержанию

УДК 629.78 + 378.44

ОСОБЕННОСТИ ОСНОВ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В.А. Пяткин, Е.Н. Слесарев

Рассмотрены некоторые проблемы развития высшего технического образования в части, касающейся подготовки высококвалифицированных инженеров со знанием основ опытно-конструкторских работ и рационального проектирования.

Ключевые слова: основы конструирования, рациональное проектирование, высшее техническое образование.

Верные представления об основах конструирования изделий машиностроения, большую часть которых (до 80 %) составляют силовые конструкции, имеют большое значение. Наряду с научными основами (сопротивление материалов, теория упругости, теоретическая механика, материаловедение, технология машиностроения и др.) весьма важную (а подчас даже и определяющую) роль при проектировании играют организационные формы разработки. Ниже рассмотрен именно этот фактор, от которого в наибольшей степени зависит потребительская надежность техники. Анализ как негативных сторон, так и положительного опыта отечественной и зарубежной практики показывает, что именно негативные проявления зачастую и являются причиной низкого качества отечественной техники. Следует отметить, что в Единой системе конструкторской документации (ЕСКД) конструкторские работы представлены достаточно полно и всесторонне. Однако слабой стороной практики является искаженные, административные понимания и соответствующие им реализации. По данным Госкомитета СССР по науке и технике, ежегодные потери составляли десятки миллиардов рублей.

Разработка новой техники проходит две основные стадии: научно-исследовательская работа (НИР) – проектные исследования и формирование облика новой техники; опытно-конструкторская работа (ОКР) – доводка конструкции, разработка конструкторской документации (КД) и освоение новой продукции.

ОКР (или проектирование), пожалуй, самый ответственный этап, зачастую определяющий успех (или провал) новой техники. Мощным инструментом этого процесса является современное информационное и программное обеспечение. Однако необходимо предостеречь от имеющей место абсолютизации этих средств в отрыве от цели. Для их использования в проектировании обязателен профессионализм и опыт конструктора.

К проектированию примыкают и маркетинговые исследования – выявление спроса потребителя. По мнению американских исследователей, 20 % промышленной продукции терпит неудачу на рынке из-за пренебрежения маркетингом. В советском машиностроении маркетинговые исследования не проводились. Да и сейчас зачастую в отечественном машиностроении роль мнения потребителей подменяется администраторами различных уровней, решающими, что нужно делать и сколько. При этом стоит обратить особое внимание на то, что только понимание проектанта может (а иногда и должно) быть над маркетинговыми выводами. Поскольку именно опытный конструктор должен знать лучше потребителя, что ему (потребителю) на самом деле нужно.

Сам процесс проектирования здесь подробно не рассматривается. Стадия НИР завершается выпуском предэскизного проекта, включающего: виды общие (ВО), техническое задание (ТЗ) к дальнейшей разработке, исходные данные (ИД) – подробный перечень и величины расчетных параметров. Все это служит основанием для разработки рабочей КД стадии ОКР.

Разработка рабочей КД включает выпуск полного ее комплекта на изготовление изделий, назначение материалов для каждой детали, установление принципиальных технологий изготовления, требования к контролю качества, требования необходимых проверок для подтверждения работоспособности систем и паспортных характеристик изделия.

Необходимой частью конструкторских работ является выполнение исчерпывающих расчетов, подтверждающих достоверность принятых ИД (нагрузок, гидравлических и тепловых параметров, размерных расчетов, весовых и пр.). Подробные проверочные расчеты прочности всех конструкций являются обязательной частью КД, входят в список документации. Недостатком многих отечественных разработок были неполные или поверхностные расчеты прочности, а иногда и их отсутствие. Это часто являлось причиной преждевременных разрушений и даже аварий.

Всесторонние и полные расчеты служат научной основой конструкторских разработок, последующих экспериментальных доработок, в дальнейшем необходимы для анализа всевозможных ситуаций, возникающих при эксплуатации серийных изделий, в том числе аварийных случаев. Особенно это относится к проектированию, производству и эксплуатации летательных аппаратов, поскольку эта отрасль отличается с одной стороны высокой степенью ответственности, а с другой характеризуется высоким уровнем затрат.

Экспериментальные отработки изделий включают три направления:

1. Освоение заводами изготовления по рабочей КД. Сюда входят: подготовка производства к изготовлению (разработка и изготовление специ-

альной оснастки, приобретение специального оборудования и средств контроля) и освоение технологических процессов изготовления.

2. Конструкторская экспериментальная отработка работоспособности всех систем – проверка из функционирования и подтверждение требуемых запасов.

3. Полная экспериментальная отработка прочности (статической, усталостной) всех конструкций с доведением их до разрушения и подтверждением требуемых запасов.

Работы проводятся конструкторским бюро и производством в целом широким фронтом по комплексному плану экспериментальной отработки (КПЭО), включающему:

– перечень конструкторских сборок, подлежащих изготовлению и отработке, их количество, сроки изготовления и испытаний;

– перечень оборудования и оснастки для осуществления испытаний;

– перечень оборудования для оснащения производства к серийному изготовлению;

– перечень документов к отработке (ТЗ, программ испытаний и пр.).

Отработка технологических процессов изготовления (техпроцессов или ТП) включает освоение намеченных согласно КД ТП методов испытаний и контроля качества. Это сопровождается освоением новой оснастки, технологического оборудования и их доводкой. Важной, обязательной частью подготовки производства является доведение его оснащенности до 100 %. Завершение работ подтверждается выпуском заключения о полной оснащенности и отработанности технологических процессов.

Серьезным упущением, влияющим как на качество продукции, так и на необоснованные материальные затраты, является отсутствие таких заключений, когда при неполной оснащенности и отработанности предприятие приступает к серийному изготовлению.

Результаты экспериментальных отработок технологий изготовления, конструкторских испытаний, испытаний прочности выявляют массу недостатков и замечаний к КД. С другой стороны, они вскрывают и возможности улучшений. Недостаточная прочность конструкции (доведение до разрушений) требует ее усиления, а избыточная прочность – облегчения и упрощения. Все эти поправки реализуются соответствующими изменениями в КД.

Завершение всех работ и полная отработанность подтверждаются выпуском по всем системам заключений о 100 % отработанности и передаче конструкции в серийное производство. В процессе выполнения всех работ рабочая КД в значительном объеме подвергается изменениям и после ее переиздания передается в серийное изготовление.

Серьезными упущениями отечественного машиностроения были недостаточные знания ИД (или их отсутствие), требования КД в части контроля качества и необходимых проверок, поверхностные расчеты прочности (или их отсутствие), недостаточная отработанность технологических процессов и оснащенность производств, поверхностная отработка прочности, отсутствие норм прочности по рассматриваемому классу и виду техники, отсутствие заключений, подтверждающих отработанность всех систем.

Не может быть другого мнения, что условием качественной и надежной продукции являются полная и всесторонняя расчетная оценка конструкций, экспериментальная отработанность, выполнение требований, установленных в КД. Именно поэтому перечисленные критерии, а также рациональное проектирование в целом просто необходимо учитывать при подготовке специалистов в области проектирования, производства и эксплуатации летательных аппаратов.

Библиографический список

1. Тимошенко, С.П. Инженерное образование в России / С.П. Тимошенко; пер. с англ. В.И. Иванова-Дятлова; под ред. Н.Н. Шапошникова, предисл. В.Н. Луканина. – Люберцы: ПИК ВИНИТИ, 1997. – 84 с.

2. Горшков, В.А. Некоторые проблемы внедрения СМК в соответствии с требованиями МС ИСО 9001 в образовательном учреждении / В.А. Горшков // Наука ЮУрГУ. Материалы 66-й научной конференции. Секция технических наук. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2014. – С. 1583–1591.

3. Слесарев, Е.Н. История и перспективы развития технического образования в нашей стране / Е.Н. Слесарев // Наука ЮУрГУ. Материалы 66-й научной конференции. Секция технических наук. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2014. – С. 1648–1653.

К содержанию

УДК 531.32

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ТЕЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

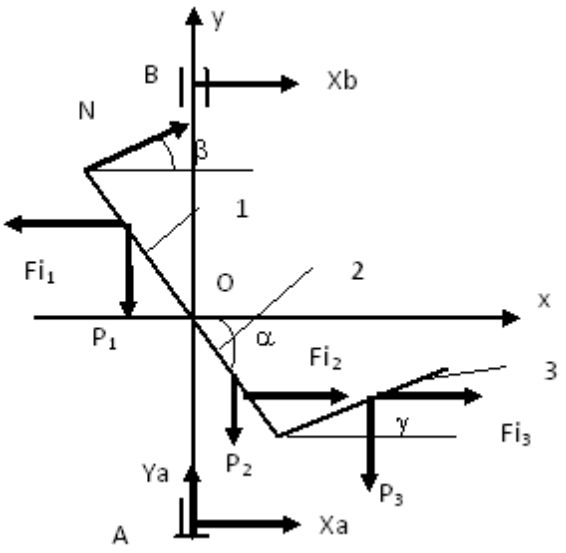
Ю.П. Сердега

Рассмотрены некоторые способы исследования динамики вращательного движения системы тел с использованием современных компьютерных технологий.

Ключевые слова: теоретическая механика, вращательное движение, динамика, компьютерные технологии.

Рассмотрим методику составления уравнений, описывающих динамику вращательного движения системы тел с использованием векторной формы представления главного вектора и главного момента приложенной системы сил.

Пусть имеем систему трех тел (ломаный стержень), закрепленных на вертикальной оси в точке О шарнирно (рис.), при этом угол наклона первого и второго тел к оси X равен α, а свободный конец первого тела крепится невесомым стержнем к оси У под углом β. Третий стержень является продолжением второго, но наклонен под углом γ к оси X. Эта система трех тел вращается с угловой скоростью ω относительно оси У. Рассмотрим динамику вращательного движения системы тел, нахождение реакций Xa, Ya и Xb, а также нахождение уравновешивающих масс, обеспечивающих снижение до нуля динамических нагрузок с использованием компьютерных технологий и программы Mathcad [1].



Вращающаяся система тел

Если масса всего изогнутого стержня **m** задана, то масса его отдельных участков будет пропорциональна их длинам, и тогда в программе Mathcad можно записать:

$$m := 10 \quad b := .2 \quad l1 := 4 \cdot b \quad l2 := 4 \cdot b \quad l3 := 2 \cdot b$$

$$m1 := .4 \cdot m \quad m2 := .4 \cdot m \quad m3 := 0.2 \cdot m \quad g := 9.8 \quad \omega := 10$$

$$\alpha := 60 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \beta := 30 \cdot \frac{\pi}{180} \quad \gamma := 15 \cdot \frac{\pi}{180}.$$

Координаты центров тяжести приложенных масс по оси X:

$$xp1 := -\frac{l1}{2}\cdot\cos(\alpha)\ , \quad xp2 := \frac{l2}{2}\cdot\cos(\alpha), \quad xp3 := l2\cdot\cos(\alpha) + \frac{l3}{2}\cdot\cos(\gamma)\ .$$

Силы инерции трех тел соответственно будут равны:

$$Fin1 := m1\cdot\omega^2\cdot xp1, \quad Fin2 := m2\cdot\omega^2\cdot xp2, \quad Fin3 := m3\cdot\omega^2\cdot xp3,$$

а координаты их точек приложения по оси У найдем из выражений:

$$yf1 := \frac{2}{3}\cdot l1\cdot\sin(\alpha), \quad yf2 := \frac{-2}{3}\cdot l2\cdot\sin(\alpha)\ , \quad yf3 := -l2\cdot\sin(\alpha) + \frac{l3}{2}\cdot\sin(\gamma)\cdot\frac{l2\cdot\cos(\alpha) + \frac{2}{3}\cdot l3\cdot\cos(\gamma)}{l2\cdot\cos(\alpha) + \frac{1}{2}\cdot l3\cdot\cos(\gamma)}\ .$$

Представим активные силы тяжести и силы инерции в векторной форме:

$$P1v := -\begin{pmatrix} 0 \\ m1\cdot g \\ 0 \end{pmatrix}\ , \quad P2v := -\begin{pmatrix} 0 \\ m2\cdot g \\ 0 \end{pmatrix}\ , \quad P3v := -\begin{pmatrix} 0 \\ m3\cdot g \\ 0 \end{pmatrix}\ ,$$

$$F1v := \begin{pmatrix} Fin1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}\ , \quad F2v := \begin{pmatrix} Fin2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}\ , \quad F3v := \begin{pmatrix} Fin3 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}\ .$$

Тогда ***главный вектор*** данной системы сил в векторной форме предстанет в виде суммы векторного представления сил:

$$Ro := P1v + P2v + P3v + F1v + F2v + F3v\ .$$

Представим в векторной форме координаты центров тяжести приложенных активных сил и сил инерции в виде радиус вектора точек приложения этих сил:

$$rp1 := \begin{pmatrix} xp1 \\ yp1 \\ 0 \end{pmatrix}\ , \quad rp2 := \begin{pmatrix} xp2 \\ yp2 \\ 0 \end{pmatrix}\ , \quad rp3 := \begin{pmatrix} xp3 \\ yp3 \\ 0 \end{pmatrix}\ ,$$

$$rf1 := \begin{pmatrix} 0 \\ yf1 \\ 0 \end{pmatrix}\ , \quad rf2 := \begin{pmatrix} 0 \\ yf2 \\ 0 \end{pmatrix}\ , \quad rf3 := \begin{pmatrix} 0 \\ yf3 \\ 0 \end{pmatrix}\ .$$

Тогда ***главный момент*** данной системы сил также можно представить в векторной форме как сумму векторных произведений в следующем виде:

$$Mo := rp1 \times P1v + rp2 \times P2v + rp3 \times P3v + rf1 \times F1v + rf2 \times F2v + rf3 \times F3v\ .$$

Для определения реакций в точке О с шарнирным соединением стержня с осью (Хо и Уо), а также реакцию связи N необходимо составить уравнения равновесия всех сил на оси Х и У, и сумму моментов всех сил относительно оси Z, проходящую через точку О. Численный метод решения этой системы уравнений с использованием Mathcad предстанет в виде:

Зададим первое приближение неизвестным: $Xo := 1 \quad Yo := 1 \quad N := 1$

$$\text{Given} \quad \Sigma X \quad Ro_0 + Xo + N\cdot\cos(\beta) = 0$$
$$\Sigma Y \quad Ro_1 + Yo + N\cdot\sin(\gamma) = 0$$
$$\Sigma Mo \quad Mo_2 - N\cdot l1\cdot(\cos(\beta)\cdot\sin(\alpha) + \cos(\alpha)\cdot\sin(\beta)) = 0$$

$$\begin{pmatrix} Xo \\ Yo \\ N \end{pmatrix} := \text{Find}(Xo, Yo, N) \qquad \begin{pmatrix} Xo \\ Yo \\ N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -267.659 \\ 53.463 \\ 172.076 \end{pmatrix}$$

Для определения реакций в опорах: Xa, Уа и Xb, составим уравнения равновесия всех сил на оси Х и У, а также сумму моментов всех сил относительно оси Z, проходящую через точку О (начало координат), предварительно задав координаты установки подшипников по оси У и тогда решение этой системы уравнений с использованием Mathcad предстанет в следующем виде:

$$ya := 5\cdot b \qquad yb := -5\cdot b$$

Зададим первое приближение неизвестным: $Xa := 1 \quad Ya := 1 \quad Xb := 1$

$$\text{Given} \quad \Sigma X \quad Ro_0 + Xa + Xb = 0$$
$$\Sigma Y \quad Ro_1 + Ya = 0$$
$$\Sigma Mo \quad Mo_2 + Xa\cdot ya + Xb\cdot yb = 0$$

$$\begin{pmatrix} Xa \\ Ya \\ Xb \end{pmatrix} := \text{Find}(Xa, Ya, Xb) \qquad \begin{pmatrix} Xa \\ Ya \\ Xb \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -128.149 \\ 98 \\ 9.512 \end{pmatrix}$$

Значения главного вектора и главного момента данной системы можно запросить и Mathcad представит их в векторной форме в следующем виде:

$$Ro = \begin{pmatrix} 118.637 \\ -98 \\ 0 \end{pmatrix} \qquad Mo = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 137.661 \end{pmatrix}$$

Реакции в опорах: Xa и Xb растут с увеличением угловой скорости вращения системы тел, но их можно снизить до нуля, установив уравновешивающие массы в точках с такими координатами, которые обеспечивают снижение динамического момента, например для масс m4 и m5 по конструктивным соображениям со следующими координатами:

$$xp4 := l2\cdot\cos(\alpha) \qquad yf4 := l1\cdot\sin(\alpha)$$
$$xp5 := -l1\cdot\cos(\alpha) \qquad yf5 := -l2\cdot\sin(\alpha)$$

Тогда для нахождения уравновешивающих масс m4 и m5, необходимо составить уравнения равновесия всех сил на ось X, а также сумму моментов всех сил относительно оси Z, проходящую через точку O, и решая эту систему уравнений с использованием Mathcad, найдем численные значения уравновешивающих масс m4 и m5, без нахождения аналитических выражений для их определения, что и показано ниже на примере численного метода решения этой системы двух уравнений:

Зададим первое приближение неизвестным: $m4 := 4 \qquad m5 := 1$

Given $\qquad \Sigma X \qquad Ro_0 + m4\cdot\omega^2\cdot xp4 + m5\cdot\omega^2\cdot xp5 = 0$

$$\Sigma Mo \quad Mo_2 - m4\cdot xp4\cdot\left(g + \omega^2\cdot yf4\right) - m5\cdot xp5\cdot\left(g + \omega^2\cdot yf5\right) = 0$$

$$\begin{pmatrix} m4 \\ m5 \end{pmatrix} := \mathrm{Find}(m4, m5) \qquad \begin{pmatrix} m4 \\ m5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.211 \\ 4.176 \end{pmatrix}$$

Если установить данные уравновешивающие массы, то появятся дополнительные силы тяжести и силы инерции, которые также представим в следующем виде в векторной форме:

$$Fin4 := m4\cdot\omega^2\cdot xp4, \qquad Fin5 := m5\cdot\omega^2\cdot xp5,$$

$$P4v := \begin{pmatrix} 0 \\ -m4\cdot g \\ 0 \end{pmatrix}, \quad P5v := \begin{pmatrix} 0 \\ -m5\cdot g \\ 0 \end{pmatrix}, \quad F4v := \begin{pmatrix} Fin4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad F5v := \begin{pmatrix} Fin5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix},$$

Представим также в векторной форме координаты центров тяжести уравновешивающих активных сил и сил инерции в следующем виде:

$$rp4 := \begin{pmatrix} xp4 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad rp5 := \begin{pmatrix} xp5 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad rf4 := \begin{pmatrix} 0 \\ yf4 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad rf5 := \begin{pmatrix} 0 \\ yf5 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

После установки уравновешивающих масс, главный вектор и главный момент уравновешенной системы соответственно станут следующими:

$$Rou := P1v + P2v + P3v + P4v + P5v + F1v + F2v + F3v + F4v + F5v \ ,$$

$$Mou := Mo + rp4 \times P4v + rp5 \times P5v + rf4 \times F4v + rf5 \times F5v \ .$$

Чтобы узнать значения главного вектора и главного момента теперь уже уравновешенной системы достаточно их запросить и Mathcad представит их, как показано ниже, в векторной форме:

$$Rou = \begin{pmatrix} 0 \\ -150.792 \\ 0 \end{pmatrix}, \qquad Mou = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1.421 \times 10^{-14} \end{pmatrix}.$$

Для определения силовых факторов системы после установки уравновешивающих масс, т.е. определения реакций в опорах: Xa, Ya и Xb, необходимо снова составить уравнения равновесия всех сил на оси X и У, а также сумму моментов всех сил относительно оси Z, проходящую через точку O, с учетом уже найденных значений главного вектора Rou и главного момента Mou уравновешенной системы. И решение в Mathcad предстанет теперь в виде:

Зададим первое приближение неизвестным: $Xa := 1 \quad Ya := 1 \quad Xb := 1$

Given $\quad \Sigma X \qquad Rou_0 + Xa + Xb = 0$

$$\Sigma Y \qquad Rou_1 + Ya = 0$$

$$\Sigma Mo \qquad Mou_2 + Xa \cdot ya + Xb \cdot yb = 0$$

$$\begin{pmatrix} Xa \\ Ya \\ Xb \end{pmatrix} := Find(Xa, Ya, Xb) \qquad \begin{pmatrix} Xa \\ Ya \\ Xb \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -7.105 \times 10^{-15} \\ 150.792 \\ 7.105 \times 10^{-15} \end{pmatrix}$$

После установки уравновешивающих масс, как видно по результатам расчета, реакции в опорах: Xa, и Xb стремятся к нулю. Но как показывают исследования, установка уравновешивающих масс, отличающихся от расчетных на доли процента приведет к появлению динамических нагрузок в опорах Xa и Xb, что и требует более точного выполнения условий уравновешивания.

Таким образом, использование векторной формы представления главного вектора и главного момента приложенной системы сил при составле-

нии уравнений, описывающих динамику вращательного движения системы тел, а также использование компьютерных технологий, в частности системы Mathcad, позволяет значительно упростить решение инженерных задач, без нахождения аналитических выражений для определения неизвестных.

Библиографический список

1. Дьяконов, В.П. Mathcad 7 в математике, физике и в Internet / В.П. Дьяконов, И.В. Абраменкова. – М.: Нолидж, 1999. – 345 с.

К содержанию

УДК 531.32

ИССЛЕДОВАНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МНОГОЗВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ю.П. Сердега, В.А. Волохов

Показаны возможности визуализации процесса исследования многозвенных механизмов с использованием компьютерных средств и современного программного обеспечения на примере программы MathCAD.

Ключевые слова: теория механизмов и машин, многозвенные механизмы, визуализация.

Рассмотрим методику составления уравнений, описывающих закон движения точек механизма на примере семизвенного механизма с применением компьютерных технологий и программы Mathcad [1].

Кривошип OA вращается с угловой скоростью ω. Звено 3 соединено с кривошипом 1 шатуном 2 и может поворачиваться относительно оси O_3. В точке D к шатуну шарнирно присоединен ***второй контур*** механизма в виде звена 4 с ползуном на конце, который может перемещаться по наклонной направляющей (рис. 1). Пусть заданы длины всех звеньев: L1, L2, L3 и L4. Задан угол наклона направляющей ползуна – β, а также координаты второй неподвижной точки механизма – O3 (x3, y3) и точка пересечения направляющей ползуна звена 4 с осью X – Xn.

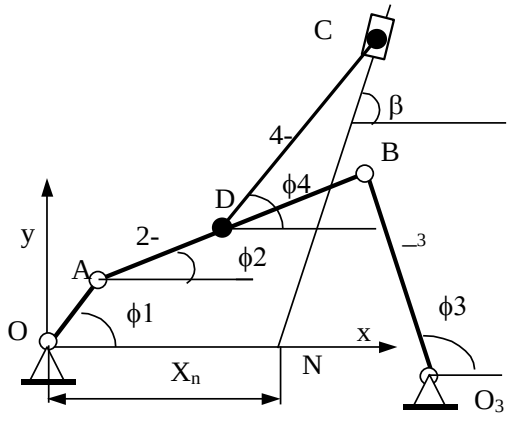


Рис. 1. Семизвенный механизм

Для описания движения данного механизма необходимо задать:

- ***длины звеньев механизма, совершающего плоскопараллельное движение;***
- ***координаты неподвижных точек механизма;***
- ***угол наклона и положение направляющей для тел, совершающих поступательное движение;***
- ***закон движения ведущего звена.***

Положение звеньев механизма и их углы наклона к горизонту зависят как от угла ведущего звена – ϕ1, так и от ϕ2, ϕ3 и ϕ4. Причем углы: ϕ2, ϕ3 и ϕ4 однозначно определяются углом ведущего звена – ϕ1, но явно через него не выражаются. Для определения углов: ϕ2, ϕ3 и ϕ4 в функции угла ϕ1 составим систему уравнений, связывающих координаты точек B и C с углами наклона звеньев механизма. Как видно из рис. 1, координаты точек, принадлежащие одновременно двум телам механизма, выражаются следующими зависимостями:

$xb = l1 \cdot \cos(\phi 1) + l2 \cdot \cos(\phi 2)$	$xb = x1 + l3 \cdot \cos(\phi 3)$
$yb = l1 \cdot \sin(\phi 1) + l2 \cdot \sin(\phi 2)$	$yb = y1 + l3 \cdot \sin(\phi 3)$
$xd = l1 \cdot \cos(\phi 1) + ld \cdot \cos(\phi 2)$	$yd = l1 \cdot \sin(\phi 1) + ld \cdot \sin(\phi 2)$
$xc = xd + l4 \cdot \cos(\phi 4)$	$yc = yd + l4 \cdot \sin(\phi 4)$
Кроме того, из рисунка очевидно, что	$yc = (xc - xn) \cdot \tan(\beta)$

Замечание. Так как угол наклона направляющей β может быть острым, тупым, или равным 90°, а при β=90° функция tg(β) ***терпит разрыв***, то при составлении уравнений, связывающих углы наклона звеньев механизма, необходимо это учитывать и координаты точки **C** выражать следующим образом:

1)	– при $\beta=0$ $yc = yn$;
2)	– при $\beta=\pi/2$ $xc = xn$;
3)	– при $0 < \beta > \pi$ $yc = (xc - xn) \cdot \tan(\beta)$.

При составлении уравнений необходимо соблюдать также следующее:

- число составляемых для механизма уравнений должно соответствовать числу тел, совершающих плоскопараллельное движение;
- углы наклона подвижных звеньев механизма следует замерять от положительного направления оси x.

Итак, в нашем случае три уравнения, однозначно определяющие углы ϕ2, ϕ3 и ϕ4, являются уравнения координат: xb, yb и xc:

$$l1\cdot\cos(\phi1) + l2\cdot\cos(\phi2) = x1 + l3\cdot\cos(\phi3)$$
$$l1\cdot\sin(\phi1) + l2\cdot\sin(\phi2) = y1 + l3\cdot\sin(\phi3)$$
$$l1\cdot\cos(\phi1) + ld\cdot\cos(\phi2) + l4\cdot\cos(\phi4) = xn + \frac{l1\cdot\sin(\phi1) + ld\cdot\sin(\phi2) + l4\cdot\sin(\phi4)}{\tan(\beta)}$$

Естественно, разрешить эту систему уравнений относительно ϕ2, ϕ3 и ϕ4 аналитическим путем не удастся. Поэтому определим значения этих углов численным методом, записав систему уравнений и используя вычислительный блок системы Mathcad, как показано ниже.

Алгоритм расчета углов наклона звеньев многозвенника в Mathcad.

Длины звеньев механизма: $l1 := 0.4,\ l2 := 2,\ l3 := 1.5,\ l4 := 2,\ ld := 1.$

Координаты второй неподвижной точки механизма O1: $x1 := 2,\ y1 := -1,$

и точка пересечения направляющей ползуна с осью x $xn := 0.5.$

Угол наклона направляющей ползуна: $\beta := \frac{\pi}{3}.$

Введем первое приближение неизвестным: $\phi2 := .1\cdot\pi,\ \phi3 := .4\cdot\pi,\ \phi4 := \pi\cdot0.5.$

Введем дискретную переменную i
и выразим текущее значение угла ϕ1: $N := 720,\quad i := 0..N,\quad \phi1_i := \frac{2\cdot\pi}{N}\cdot i.$

Given
$$l1\cdot\cos(\phi1) + l2\cdot\cos(\phi2) = x1 + l3\cdot\cos(\phi3)$$
$$l1\cdot\sin(\phi1) + l2\cdot\sin(\phi2) = y1 + l3\cdot\sin(\phi3)$$
$$l1\cdot\sin(\phi1) + ld\cdot\sin(\phi2) + l4\cdot\sin(\phi4) = (l1\cdot\cos(\phi1) + ld\cdot\cos(\phi2) + l4\cdot\cos(\phi4) - xn)\cdot\tan(\beta)$$

Найдем углы для частного значения ϕ1:

$$FricFac(\phi1) := Find(\phi2,\phi3,\phi4),\qquad \begin{pmatrix}\phi2_i\\ \phi3_i\\ \phi4_i\end{pmatrix} := FricFac(\phi1_i).$$

Представим координаты точек в векторной форме:

$$A(i) := l1 \cdot \begin{pmatrix} \cos(\phi 1_i) \\ \sin(\phi 1_i) \\ 0 \end{pmatrix}, \quad Ld(i) := ld \cdot \begin{pmatrix} \cos(\phi 2_i) \\ \sin(\phi 2_i) \\ 0 \end{pmatrix}, \quad L2(i) := l2 \cdot \begin{pmatrix} \cos(\phi 2_i) \\ \sin(\phi 2_i) \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$L3(i) := l3 \cdot \begin{pmatrix} \cos(\phi 3_i) \\ \sin(\phi 3_i) \\ 0 \end{pmatrix}, \quad L4(i) := l4 \cdot \begin{pmatrix} \cos(\phi 4_i) \\ \sin(\phi 4_i) \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$B(i) := A(i) + L2(i),$$
$$D(i) := A(i) + Ld(i),$$
$$C(i) := D(i) + L4(i).$$

Замечание. Для наглядного представления исследуемого механизма с помощью графического редактора, необходимо математически описать ***создание контуров звеньев механизма и его точек.*** Для этого будет введена еще одна переменная – s, принимающая всего два значения: 0 и 1.

Выразим радиус-векторы звеньев AB, AD, DC и OB в начальном положении и создадим контуры точек и звеньев, которые определятся из выражений:

$$AB := L2(n), \quad AD := Ld(n), \quad OB := L3(n), \quad DC := L4(n).$$
$$A2 := A(n), \quad B2 := A2 + AB, \quad D2 := A2 + AD, \quad C2 := D2 + DC.$$
$$oa_s := A2 \cdot s, \quad ab_s := A2 + AB \cdot s, \quad bo1_s := O1 + OB \cdot s, \quad dc_s := D2 + DC \cdot s.$$

Mathcad позволяет численным методом находить углы наклона звеньев механизма, а графический редактор Mathcad построит траекторию движения всех точек механизма, а также контуры его звеньев, если отложить по координатным осям проекции индексных переменных векторов.

Для построения траекторий движения всех точек механизма, а также контуров его звеньев, достаточно вызвать двухмерный график графического редактора ***Mathcad*** и отложить по горизонтальной оси проекции векторов с индексом 0, а по вертикальной оси – с индексом 1, как показано на рис. 2.

По отклонению траектории движения точки **C** от прямой можно оценить ***погрешность численного метода.*** При этом, точность расчета легко поднять, уменьшая шаг дискретной переменной. Поскольку механизм ***может иметь*** несколько сборок, то при расчете численным методом ***крайне важно задать неизвестным первые приближения близкие к действительным значениям.*** Чтобы более точно задать начальное значение углов наклона всех звеньев механизма, следует ***прорисовать положение всех звеньев механизма при начальном положении входного звена***. Выполнить это следует только лишь ***для начального положения механизма,*** что однозначно определит сборку механизма. Кроме того, возможности

графического редактора Mathcad позволяют наглядно представить механизм и траектории его точек в зависимости ***от сборки***, которую Mathcad определит и представит в зависимости от углов наклона его звеньев, заданных при расчете в первом приближении, что и показано на рис. 3. Если угловая скорость ведущего звена задана, то угловые скорости и ускорения всех звеньев механизма будут однозначно зависеть от угла поворота ведущего (входного) звена, но для их расчета воспользуемся дискретными значениями углов наклона звеньев, найденными выше численным методом.

Если угловая скорость ведущего звена задана, то угловые скорости и ускорения всех звеньев механизма будут однозначно зависеть от угла поворота ведущего (входного) звена, но для их расчета воспользуемся дискретными значениями углов наклона звеньев, найденными выше численным методом. ***Угловые скорости и ускорения звеньев механизма*** определим по приближенным формулам, приняв, что последнее для заданного цикла значение переменной и последующее за ним изменяются плавно. Хотя расчет угловых скоростей и ускорений звеньев произведен по приближенным формулам, но погрешность расчета, не превышает нескольких долей %., а точность расчета повышается с уменьшением шага дискретной переменной.

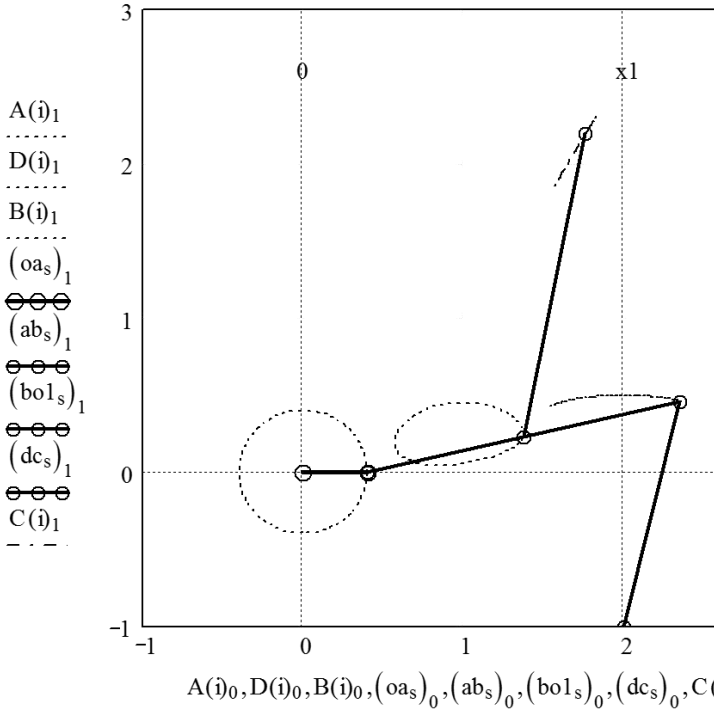


Рис. 2. Представление траекторий движения точек механизма и контуров его звеньев в MATHCAD

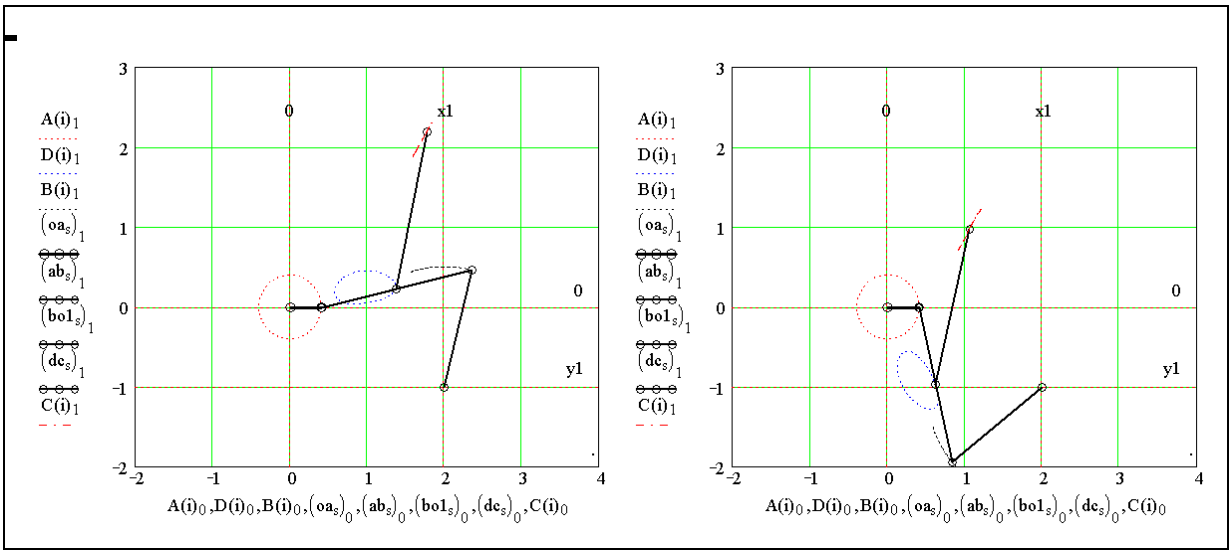


Рис. 3. Две возможные сборки семизвенного механизма

$$\phi 2_{N+1} := \phi 2_1, \qquad \phi 3_{N+1} := \phi 3_1, \qquad \phi 4_{N+1} := \phi 4_1,$$

$$\omega 2_i := \frac{\phi 2_{i+1} - \phi 2_i}{\Delta\tau}, \qquad \omega 3_i := \frac{\phi 3_{i+1} - \phi 3_i}{\Delta\tau}, \qquad \omega 4_i := \frac{\phi 4_{i+1} - \phi 4_i}{\Delta\tau},$$

$$\omega 2_{N+1} := \omega 2_1, \qquad \omega 3_{N+1} := \omega 3_1, \qquad \omega 4_{N+1} := \omega 4_1,$$

$$\varepsilon 2(i) := \frac{\omega 2_{i+1} - \omega 2_i}{\Delta\tau}, \qquad \varepsilon 3(i) := \frac{\omega 3_{i+1} - \omega 3_i}{\Delta\tau}, \qquad \varepsilon 4(i) := \frac{\omega 4_{i+1} - \omega 4_i}{\Delta\tau}.$$

При этом дискретный шаг изменения времени – $\Delta\tau := \frac{2\cdot\pi}{N\cdot\omega 1}$.

На рис. 4. приведены закономерности, дающие наглядное представление об изменении угловых скоростей и ускорений звеньев механизма за цикл вращения ведущего (входного) звена.

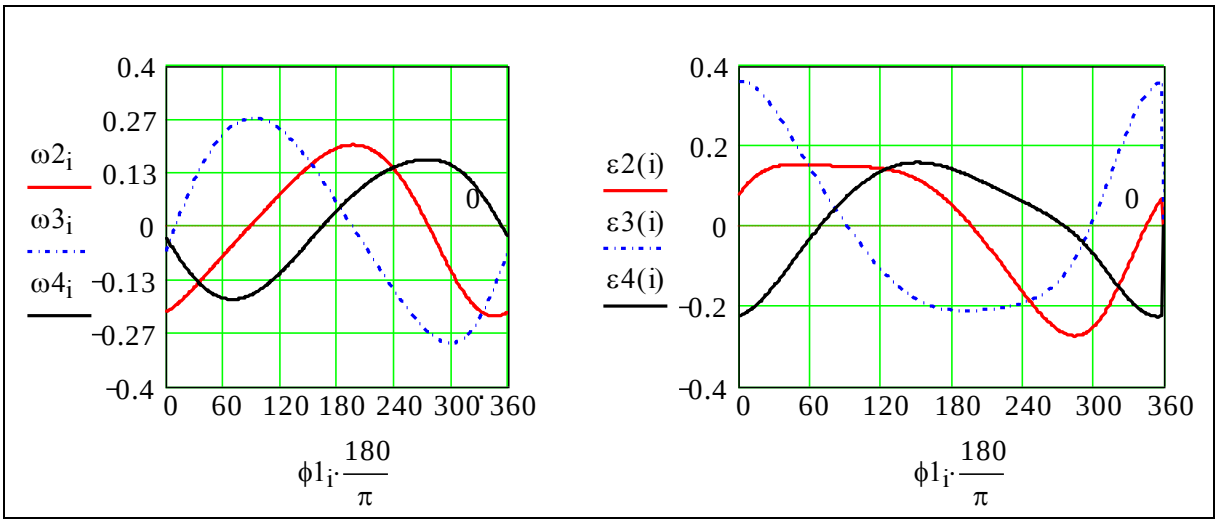


Рис. 4. Изменение угловых скоростей и ускорений звеньев механизма

Mathcad представляет уникальную возможность определения линейных скоростей и ускорений любой точки механизма сразу, как ***по модулю,*** так и ***в проекциях*** на оси координат, но для этого необходимо использовать ***векторную форму представления геометрических и кинематических параметров.*** Учитывая, что найденные угловые скорости и ускорения звеньев механизма являются проекциями соответствующих векторов на ось z, выразим эти вектора в форме ***вектор столбца*** с тремя элементами.

$$\omega a(i) := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega 1 \end{pmatrix}, \quad \Omega 2(i) := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega 2_i \end{pmatrix}, \quad \Omega 3(i) := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega 3_i \end{pmatrix}, \quad \Omega 4(i) := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega 4_i \end{pmatrix},$$

$$E2(i) := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \varepsilon 2(i) \end{pmatrix}, \quad E3(i) := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \varepsilon 3(i) \end{pmatrix}, \quad E4(i) := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \varepsilon 4(i) \end{pmatrix}.$$

Тогда ***линейную скорость*** любой точки механизма относительно полюса можно представить как векторное произведение угловой скорости звена на его радиус-вектор относительно этого полюса, а ***абсолютную линейную скорость*** любой точки механизма необходимо представлять в виде векторной сумме скорости полюса и скорости точки звена относительно этого полюса.

$$Va(i) := \omega a(i) \times A(i), \quad Vda(i) := \Omega 2(i) \times Ld(i), \quad Vd(i) := Va(i) + Vda(i),$$
$$Vb(i) := \Omega 3(i) \times L3(i), \quad Vcd(i) := \Omega 4(i) \times L4(i), \quad Vc(i) := Vd(i) + Vcd(i).$$

Аналогично, в виде векторной суммы представим ***линейные ускорения*** точек механизма: ускорения полюса, плюс векторное произведение углового ускорения звена на радиус-вектор точки относительно выбранного полюса (вращательное ускорение), плюс векторное произведение угловой скорости звена на линейную скорость точки относительно выбранного полюса – (центростремительное ускорение). Так, например, для точек B, C и D полные ускорения через вращательное и центростремительное будут иметь вид:

$$Wa(i) := \omega a(i) \times Va(i), \quad Wb(i) := E3(i) \times L3(i) + \Omega 3(i) \times Vb(i).$$
$$Wd(i) := Wa(i) + E2(i) \times Ld(i) + \Omega 2(i) \times Vda(i),$$
$$Wc(i) := Wd(i) + E4(i) \times L4(i) + \Omega 4(i) \times Vcd(i).$$

Проекции ускорений точек C и D в на ось x (переменная с индексом 0) и на y (с индексом 1):

$$Wdx(i) := Wd(i)_0, \qquad Wdy(i) := Wd(i)_1,$$
$$Wcx(i) := Wc(i)_0, \qquad Wcy(i) := Wc(i)_1.$$

На рис. 5а и рис. 5в представлены скорости и ускорения точек C и D в проекциях на оси, рассчитанные и построенные в системе Mathcad.

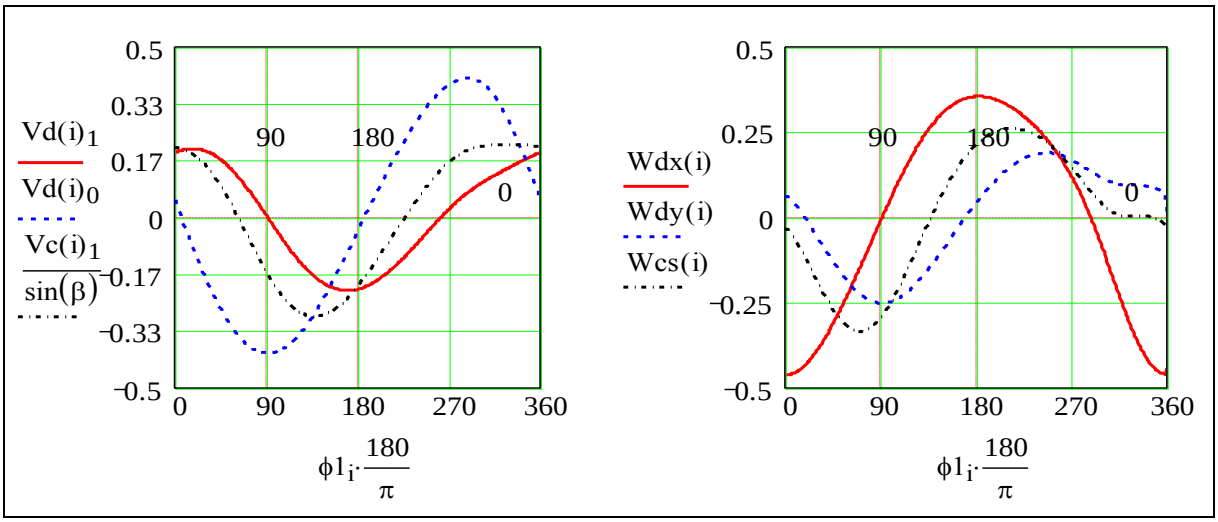


Рис. 5. Изменение линейных скоростей и ускорений точек механизма

Если математически описать контуры векторов линейных скоростей и ускорений точек механизма, то с помощью системы ***Mathcad*** возможно не только определить линейные скорости и ускорения любой точки механизма, но и представить контуры этих векторов, а также оценить плавность изменения кинематических параметров, воспользовавшись их векторной формой представления.

Методику визуализации решения задач кинематики многозвенных механизмов в системе Mathcad с применением графики, в том числе и анимационной, поясним на рассмотренном примере, позволяющей наглядно представить:

- ***положение отдельных тел в определенный момент времени;***
- ***траектории движения заданных точек механизма;***
- ***анимацию механизма и контуров векторов заданных точек.***

Алгоритм ***«оживления»*** механизма его тел и заданных точек предполагает исполнение следующих этапов:

a) создание контуров точек механизма и их траекторий;

b) создание контуров звеньев механизма и заданных контуров векторов;

с) вызов объектов анимации в проекциях для изображения их в графическом редакторе системы Mathcad.

Создание анимационного клипа, воспроизводящего движение механизма его тел и точек, осуществляется через меню системы: «Вид», «Анимация».

В окне меню системы Mathcad необходимо указать число фрагментов анимации, затем выделить область документа вместе с объектами, созданными в графическом редакторе, и «щелкнуть» по кнопке «Анимация». После создания видео клипа, необходимо его сохранить в виде файла, присвоив ему имя.

Ниже, на примере семизвенного механизма (рис. 1), рассмотрен алгоритм создания анимационного клипа в системе Mathcad. Кривошип OA вращается с угловой скоростью ω. Звено 3 соединено с кривошипом 1 шатуном 2 и может поворачиваться относительно оси O_1. В точке D к шатуну шарнирно присоединен второй контур механизма в виде звена 4 с ползуном на конце, который, если оживить решение задачи, будет перемещаться по наклонной направляющей. Алгоритму создания анимационного клипа должен предшествовать алгоритм расчета кинематических параметров механизма с использованием Mathcad, в котором необходимо задать исходные данные механизма, а также временной интервал исследования t0. Чтобы проиллюстрировать влияние на кинематику механизма исходных данных, изменим одну лишь координату оси качания звена 3 – x1, присвоив ей новое значение – x1 = 2,9 м.

Пример создания анимационного клипа в системе Mathcad по задаче «Семизвенный механизм»

Следуя порядку, изложенному выше, составить алгоритм анимации. Ниже представлен алгоритм ***создания контуров звеньев***, а также ***контуров*** векторов скоростей или ускорений в виде, в котором он реализован в системе Mathcad.

Анимация! - FRAME

Зададим число фрагментов анимации: Fra := 72

Тогда фрагментная переменная - n должна принимать следующие значения $n := \frac{N}{Fra} \cdot FRAME$

Введем новую дискретную переменную s := 0 .. 1

Выразим радиус-векторы звеньев AB, AD, DC и OB для конкретного фрагмента и создадим контуры точек и звеньев.

Отметим, что контур звена можно создать, если принять за начало координаты фрагментной точки и прибавить значение вектора, помноженное на s, которое принимает два значения: 0 и 1.

$$AB := L2(n)\,, \quad AD := Ld(n)\,, \quad OB := L3(n)\,, \quad DC := L4(n)\,.$$
$$A2 := A(n)\,, \quad B2 := A2 + AB\,, \quad D2 := A2 + AD\,, \quad C2 := D2 + DC\,.$$
$$oa_s := A2 \cdot s\,, \quad ab_s := A2 + AB \cdot s\,, \quad bo1_s := O1 + OB \cdot s\,, \quad dc_s := D2 + DC \cdot s\,.$$

Создадим контуры векторов скоростей точек, используя для наглядности масштабный коэффициент – Kv.

Построим траектории движения всех точек механизма, а также контуры звеньев и векторов ускорений в графическом редакторе Mathcad (рис. 6).

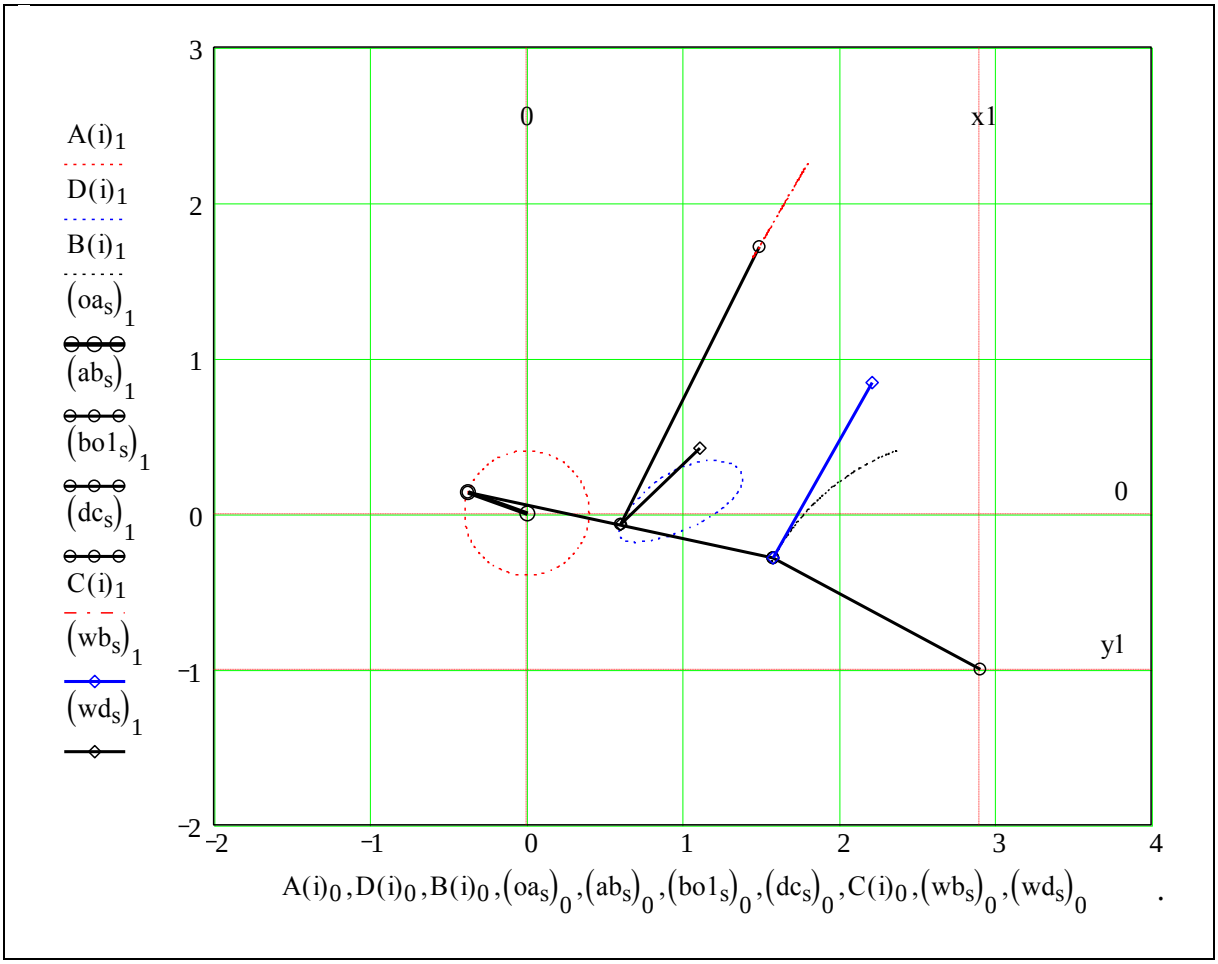


Рис. 6. Кадр видео клипа семизвенного механизма при $\phi 1 = 150^{o}$

Аналогично создаются контуры векторов ускорений точек, используя масштабный коэффициент – Ku. Отметим, что контуры векторов скоростей и ускорений обозначены другими символами, отличающимися от символов самих векторов скоростей и ускорений, и которые предстанут в кадре, если отложить по осям проекции векторов с индексом 0 по ***x*** и с индексом 1 по ***y*** (рис. 6).

$$Ku := 1 \qquad wa_s := A2 + Wa(n)\cdot s\cdot Ku \qquad wd_s := D2 + Wd(n)\cdot s\cdot Ku$$
$$wb_s := B(n) + Wb(n)\cdot s\cdot Ku \qquad wc_s := C(n) + Wc(n)\cdot s\cdot Ku$$

Библиографический список

1. Дьяконов, В.П. Mathcad 7 в математике, физике и в Internet / В.П. Дьяконов, И.В. Абраменкова. – М.: Нолидж, 1999. – 345 с.

К содержанию

УДК 378.44

КАЧЕСТВО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В НАШЕЙ СТРАНЕ: ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Е.Н. Слесарев

Приведен краткий обзор истории развития отечественного технического образования. Показаны его качественные преимущества перед западной моделью. Выявлена необходимость скорейшего внесения изменений в систему отечественного высшего технического образования на основе накопленного опыта.

Ключевые слова: высшее образование; управление качеством; российское техническое образование; уровень качества.

Государственное техническое образование в России имеет богатейшую историю и устоявшиеся традиции. Зарождались они более трех веков назад – еще в начале восемнадцатого века, когда Петр I занялся реорганизацией русской армии и строительством русского флота. Для этой работы понадобились люди, имеющие инженерное образование. Первые инженерные кадры были привлечены в Россию из Европы, но вскоре стало ясно, что необходимо готовить своих специалистов, знакомых с особенностями работы в нашей стране. В 1701 году была организована Школа математических и навигационных наук, на базе которой позднее для удовлетворения потребностей в технически грамотных кадрах были созданы Морская и Артиллерийская академии.

Выражаясь современным языком, «менеджмент качества» технической продукции оборонного назначения того времени осуществлялся в соответствии с указом Петра I «О качестве» от 11 января 1723 года. В нём было предписано, как должно осуществлять менеджмент качества на основе мотивации с применением кнута и пряника. В оригинале это звучит так:

«…инспекторы и их помощники должны проверять, как надсмотрщики ставят штемпели на товары. В случае сомнения они имеют право осуществлять проверки по своему усмотрению. …если армия несёт потери в битвах из-за недосмотра инспекторов и их помощников, то последних следует безжалостно высечь и примерно наказать. …я повелеваю, строить дома для инспекторов и их помощников не хуже помещичьих. Если они хуже, Демидов (назначенный царским Указом директор Тульского оружейного завода) не должен обижаться, если я прикажу его казнить».

Благодаря бурному развитию металлургического производства на Урале во второй половине XVIII века Россия заняла первое место в мире по выплавке чугуна. Увеличение объема металлургического производства и усовершенствование его технологии связаны с работами великого русского ученого М.В. Ломоносова, который в 1763 году издал свою книгу «Первые основания металлургии, или рудных дел». В 1773 году для подготовки горных инженеров был организован Горный институт императрицы Екатерины II.

Другой важной датой развития отечественного технического образования стало 20 ноября 1809 года, когда Александр I учредил Корпус и Институт инженеров путей сообщения. Территория нашей страны настолько огромна, что одна средняя область больше, чем целая среднеевропейская страна. И развитие столь протяженной во всех географических направлениях страны невозможно без развитой инфраструктуры путей сообщения, выполняющей для страны функции кровеносной системы.

Выпускники и сотрудники Института путей сообщения при мощной государственной поддержке, внесли огромный вклад в создание и развитие крупнейшей в мире транспортной инфраструктуры железных и шоссейных дорог, которая до сих пор составляет основу развития России. Государственный подход того времени к комплексному развитию страны демонстрирует также и тот факт, что с момента основания и вплоть до революции 1917 года Министерство путей сообщения получало наиболее щедрое государственное финансирование, сопоставимое лишь с военным ведомством.

Молодым российским инженерам-выпускникам того времени пришлось решать множество сложных технических задач, в связи с начавшемся в России строительством железных дорог. Первая железная дорога в России была построена в 1837 году между Петербургом и Царским Селом, а в 1842 году было начато строительство железной дороги между Петербургом и Москвой. Нельзя не отметить огромный вклад в это строительство Дмитрия Ивановича Журавского (1821–1891 гг.). Сразу после окончания института он был привлечен к проектированию железной дороги Петербург – Москва, и в 1844 году спроектировал мост через реку Веребью. Этот мост представлял собой грандиозную конструкцию, состоя-

щую из 9 пролетов по 54 метра каждый. Для них было найдено оптимальное отношение крайнего и среднего пролетов неразрезной фермы. Это был деревянный мост, аналогичный мостам системы Уильяма Гау, построенным ранее в Соединенных Штатах. Однако все подобные мосты ранее строились безо всякого расчета, и Журавский был первым, кто предложил метод расчета напряжений, возникающих в элементах таких мостов от подвижной нагрузки. Он также предложил весьма удачное сочетание материалов – каждый мостовой пролёт являлся деревянной фермой с раскосами, стянутой поперечными железными стержнями. Металлические элементы сделали мост значительно прочнее без существенного увеличения веса всего сооружения. Он также уточнил теорию изгиба балок. Дерево очень слабо сопротивляется сдвигу вдоль волокон, из чего Журавский сделал правильный вывод о том, что в деревянных балках большой высоты касательные напряжения являются важными и ими пренебрегать нельзя. Существовавшая на тот момент литература не содержала каких-либо сведений о вычислении этих напряжений, и поэтому Журавский решил эту проблему самостоятельно. Его метод определения касательных напряжений в балках теперь является общепринятым и представлен во всех учебниках по сопротивлению материалов. По окончании строительства моста в 1850 году Журавский опубликовал свой метод расчета ферм. Позднее за свою работу по мостам системы Гау он был за нее удостоен Демидовской премии Российской Академией наук.

Примерно в то же время русскими инженерами был построен крупнейший металлический мост через реку Неву (Николаевский), а профессор Петр Иванович Собко (1819–1870 гг.), преподававший сопротивление материалов и постройку мостов в Институте инженеров путей сообщения, опубликовал свои работы по теории расчета сопротивления строительных материалов.

На основании вышесказанного, очевидно, что качество обучения сопротивлению материалов и строительной механике в России в середине девятнадцатого века стояло на высочайшем мировом уровне. Работы ведущих российских инженеров издавались в переводе на иностранные языки. Изучение механических свойств строительных материалов в то время в России также соответствовало высшим мировым стандартам.

Успешный опыт организации Института инженеров путей сообщения послужил образцом правительству России для дальнейшего развития русского инженерного образования. Так, в 1828 году в Санкт-Петербурге был организован Технологический институт для подготовки в России инженеров-механиков и химиков. Позднее, в 1868 году в Москве на базе ремесленного училища было организовано Техническое училище, получившее известность в начале двадцатого века благодаря созданию лабораторий термодинамики и теплопередачи. В этом высшем учебном заведении бла-

годаря ученому Н.Е. Жуковскому (1847–1921 гг.) в одном из первых в мире студенты стали выполнять практические работы в аэродинамической лаборатории и изучать основы аэродинамики.

Российская промышленность в XIX веке продолжала своё бурное развитие, и для её интеллектуальной поддержки необходимо было открывать новые высшие технические учебные заведения по многим другим отраслям техники, причем не только Санкт-Петербурге и Москве, но и в других городах, например, в Харькове и Томске. Все эти учебные заведения были организованы по примеру Института инженеров путей сообщения. Программа обучения составляла пять лет, а хорошая математическая подготовка являлась обязательным условием конкурсных вступительных экзаменов. Благодаря этому, преподавание математики, механики и физики можно было начинать на довольно высоком уровне уже на первом курсе и дать студентам достаточную подготовку по фундаментальным предметам в первые два года. Последние три года использовались для изучения инженерных дисциплин. В течение этих лет читались лекции по техническим предметам, и от студента требовалась определенная работа в аудиториях, но большую часть времени студенты проводили в чертежных кабинетах.

После Октябрьской революции довольно-таки значительная часть профессуры, преподавателей, инженеров и технических специалистов покинули родину. И начавшуюся в 1930-х годах индустриализацию молодой советской власти приходилось осуществлять при помощи ведущих зарубежных компаний и с привлечением западных технических специалистов. Выводы были сделаны незамедлительно, и Советскому Союзу, правопреемнику Российской Империи, удалось возродить лучшие традиции российского высшего технического образования в кратчайшие сроки. И уже к началу 1940-х годов ведущими инженерно-техническими работникам на предприятиях и преподавателями в высших технических учебных заведениях стали высококвалифицированные отечественные специалисты. Советская власть очень дорожила своим инженерно-техническим кадровым потенциалом. Так студентов вузов не призывали в армию даже во время Великой отечественной войны! СССР победил в этой войне во многом благодаря техническому гению советских военных конструкторов. Именно во время Великой отечественной войны Советский Союз научился проектировать и производить лучшие в мире танки, самолеты, артиллерию и системы залпового огня. Отрадно, что эти традиции пока продолжаются…

Во время «холодной войны» СССР продолжил наращивать свой научно-технический потенциал, что не могло не беспокоить Запад. В 1957 году, после запуска Советским Союзом первого искусственного спутника Земли, к нам по поручению правительства Соединенных Штатов Америки, был направлен Степан Прокофьевич Тимошенко – выдающийся российский ученый, иммигрировавший в 1922 г. в США, основатель американ-

ской школы прикладной механики. Он посетил технические вузы Киева, Харькова, Ленинграда и Москвы. Встречался с преподавателями и студентами, изучал, собирал и обобщал опыт советского технического образования. По результатам этой поездки он сделал доклад в Конгрессе США и опубликовал в1959 году книгу «Инженерное образование в России» [1]. В этой книге он просто довольно подробно описал, как готовят инженеров в России от начальной школы и до академии наук. Благодаря этой работе, руководству США удалось перенять передовой российский опыт в области высшего технического образования и существенно упрочить свои позиции в этой сфере. Обидно, что мы в свою очередь в последнее время отказываемся от своих лучших традиций технического образования в пользу сомнительного западного опыта.

То, что происходит с нашим техническим образованием в настоящее время, не может не вызывать серьёзных опасений за его будущее. Конкурс на технические специальности не столь велик, как на гуманитарные, поэтому на них могут поступать ребята с более слабой школьной подготовкой. Кроме того, сама школьная подготовка по базовым для технического образования предметам – математике, физике, химии также оставляет желать лучшего. В результате первые два года обучения в техническом вузе обычно тратятся не на закрепление базовых знаний по математике, физике, механике на более высоком уровне и подготовку по фундаментальным техническим предметам, а лишь на восполнение пробелов школьного образования. Кроме того, «благодаря» введению бакалавриата общий срок обучения сократился на один год. В результате мы имеем не более двух лет полноценного технического образования вместо советских пяти лет! Это, конечно же, не может не отразиться на качестве нашего высшего технического образования.

С другой стороны, для достижения хорошего уровня качества технического образования необходим высококвалифицированный и хорошо мотивированный профессорско-преподавательский состав (ППС) вуза. Талантливая молодежь, как правило, не задерживается для работы в вузах, поскольку последние не могут предоставить им достойных условий работы – нет конкурентоспособной с другими предприятиями оплаты труда, а зачастую и современного оборудования, необходимого для реализации новых технических идей. В связи с этим средний возраст большинства технических кафедр российских вузов, мягко говоря, превышает пенсионный. Таким образом, мотивация ППС в вузах практически отсутствует, а квалификация пока сохраняется на достаточно высоком уровне благодаря «старой гвардии», но по понятным причинам долго это продолжаться не сможет.

Необходимо признать, что качество отечественного образования за годы рыночных преобразований существенно ухудшилось. И так называемая «реформа образования», которая происходят в нашей стране в последнее

время (сокращение в школах черчения, физики, химии, а зачастую и математики, школьная игра в «угадайку», называемая ЕГЭ вместо полноценных школьных выпускных и вступительных экзаменов в вузы, переход в вузах на подготовку недоинженеров, т.е. бакалавриат) по сути хоронит лучшие традиции отечественного технического образования. Это не просто вызывает опасения за будущее нашей страны, но и ставит вопрос о нашем физическом выживании в современной геополитической ситуации.

По мнению одного из ведущих специалистов в области качества академика Версана: «Главная причина состоит в том, что власть осознанно не хочет видеть здесь своей роли: считается, что проблему качества должен решать рынок. На мой взгляд, это стратегическая ошибка, негативные последствия которой для нашей экономики и социальной сферы с каждым годом будут только нарастать. Более того, уверен, что замедление нашей экономики, которое сегодня наблюдается, вызвано именно этим» [2].

Наука, промышленность и другие отрасли, которые трудоустраивают наших выпускников, получают квалифицированные кадры бесплатно, а значит, не могут рассматриваться, как реальные потребители [3]. Государство же в лице руководителей Минобразования какое-либо регулирование в сфере образования проводить, к сожалению, не хочет, считая, что рынок сам все отрегулирует. К сожалению, уже давно все убедились, что дикий рынок без вмешательства государства ничего отрегулировать не может. В таких условиях построить взаимовыгодные отношения между поставщиками, которыми являются образовательные учреждения, и фактическими потребителями, т.е. наукой, промышленностью и другими отраслями, невозможно. В последнее время, и Президент России, и Премьер-министр много говорят о возрождении отечественного технического образования. Говорят очевидные и правильные вещи. Жаль только, что Министерство образования их почему-то не слышит и продолжает свою разрушительную «реформу образования».

Библиографический список

1. Тимошенко, С.П. Инженерное образование в России / С.П. Тимошенко; пер. с англ. В.И. Иванова-Дятлова; под ред. Н.Н. Шапошникова, предисл. В.Н. Луканина. – Люберцы: ПИК ВИНИТИ, 1997. – 84 с.

2. Версан, В. Качество – стратегический путь возрождения России / В. Версан // Стандарты и качество. – 2013. – № 8. – С. 63–66.

3. Горшков, В.А. Некоторые проблемы внедрения СМК в соответствии с требованиями МС ИСО 9001 в образовательном учреждении / В.А. Горшков // Наука ЮУрГУ. Материалы 66-й научной конференции. Секция технических наук. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2014. – С. 1583–1591.

К содержанию

УДК 658.5.011 + 69

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ НА ПРИМЕРЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Е.Н. Слесарев

Рассмотрено развитие управления качеством и обеспечения качества на примере отечественных предприятий строительной отрасли. Показаны некоторые проблемы и преимущества реализации методов управления качеством. Выявлена необходимость скорейшего внесения изменений в систему отечественного высшего технического образования на основе накопленного опыта.

Ключевые слова: управление качеством; строительные организации; российское строительство; уровень качества.

Теория науки об управлении качеством, несмотря на значительно меньший путь своего развития, чем практика обеспечения качества, имеет в своем арсенале множество методик и инструментов, которые позволяют обеспечить достаточно высокий уровень качества продукции, работ или услуг. Этот уровень в свою очередь ведет росту конкурентоспособности и улучшению финансового положения организаций независимо от профиля их деятельности.

Достижение современного состояния науки и практики управления качеством прошло путь не только количественного (в плане рост количества разработок), но и качественного изменения. Действительно качественный товар – это не только (и не столько) то, что нравится самим производителям и соответствует определенным стандартам, содержание которых мало кому известно и ещё меньше кому понятно, а то, что удовлетворяет потребности покупателей (пользователей, заказчиков). Подлинное осознание этого позволяет производить не просто качественный, а по-настоящему востребованный на рынке товар, обеспечивающий гарантированное существование организации-производителя.

В современной экономической ситуации перед производителями очень остро встает вопрос об изучении потребителей (заказчиков, клиентов) и их потребностей, понимании тех нужд, которые они стремятся удовлетворить, приобретая ту или иную продукцию (недвижимость), работы или услуги. Когда все это становится понятным для подрядчика, он оказывается в более благоприятной для собственного развития ситуации, поскольку способен создать такой товар, который будет полноценно удовлетворять потребителей недвижимости.

Проблема качества в условиях рыночной экономики становится важнейшим фактором повышения уровня жизни, а также экономической, социальной и экологической безопасности. Само понятие «качество» – ком-

плексное, поскольку оно характеризует всестороннюю эффективность деятельности организации: разработка стратегии, маркетинг, организация производства, реализация продукции или услуг и т.д.

Решение проблемы повышения качества весьма значимо не только для каждой конкретной организации, но и для экономики в целом, поскольку позволяет устанавливать новые и прогрессивные пропорции между ее отраслями, а также внутри отраслей. Так довольно высокая надежность оборудования, приобретенного потребителем, обеспечивает пропорциональность организованного им производственного процесса, что в свою очередь важно для предотвращения аварийных и внеплановых выходов оборудования из строя и потенциального возникновения в дальнейшем т.н. «узких» мест.

Практика показывает, что некоторая экономия на качестве требует в дальнейшем значительно больших средств на устранение и исправление выявленных дефектов. Разработка же долгосрочных программ по повышению качества и предотвращению дефектов дает не разовую экономию, а позволяет достигнуть весьма значительного и при этом стабильного экономического эффекта.

У нас долгое время считалось, что качеством в организации должны заниматься специальные подразделения. Однако передовой зарубежный опыт показывает, что на достижение заданного уровня качества должны быть нацелены все подразделения и службы организации. Для повышения конкурентоспособности в условиях рыночной экономики необходимо изучать передовой опыт ведущих фирм мира по достижению и обеспечению ими высокого уровня качества. Опыт передовых фирм в странах с развитой рыночной экономикой показывает, что ключевую роль в повышении качества играют сами потребители, вернее их требования, информация о неисправностях, просчетах и ошибках, а также оценки потребителей.

Весьма сложно однозначно оценить отечественную строительную отрасль. С одной стороны не может не восхищать умение наших строителей возводить высококачественные, порою уникальные объекты на основе разработок мирового уровня. С другой стороны это восхищение зачастую омрачается общим негативным отношением к качеству основной массы возводимой недвижимости. Причем, практика показывает, что чем новее возводимые объекты, тем ниже, обычно, оказывается их качество. Сооружая некачественную недвижимость с большим количеством брака и недостатков, строительные организации зачастую сами становятся заложниками столь низкого качества, о чем порою даже и не догадываются [1].

Самые очевидные потери строительные организации несут еще в процессе исправления собственных недостатков, обнаруженных как ими самими, так и заказчиками в процессе строительства и сдачи объектов в эксплуатацию. Затраты же на исправление выявленного брака, как правило, ложатся дополнительным бременем на подрядчиков.

Кроме того, скрытые потери подрядчики несут в части своего положения на рынке и эти потери подчас более значительные. Поскольку информация о строительной продукции и услугах распространяется на рынке среди потенциальных потребителей и заказчиков очень быстро, и при этом преимущественно по неофициальным каналам. Негативная репутация предприятия на рынке строительных услуг существенно влияет на спрос на его продукцию и услуги. Падение спроса приводит к сокращению объемов строительно-монтажных работ, высокому уровню неритмичности производственного процесса, а следовательно, и к уменьшению выручки.

Одним из основных принципов систем менеджмента качества (СМК) является процессный подход. Создание эффективной системы менеджмента качества в любой компании, в т.ч. и в строительной, требует максимальной вовлеченности всех ее работников в процесс построения, отладки и последующего функционирования СМК, а также потребует увеличения доли работников, обладающих лидерскими качествами, которые смогут работать креативно и динамично, а также организовывать работу команд для реализации конкретных проектов.

Существенную роль в этом процессе играет способность строительной организации осуществить правильный и эффективный перевод выявленных потребностей и предпочтений потребителей (заказчиков) в характеристики создаваемой продукции (недвижимость, работы или услуги) и сформировать соответствующие процессы, обеспечивающие требуемое качество. Для этого подрядчикам целесообразно использовать широко применяемую во многих прогрессивных организациях методику Развертывания функций качества (QFD), которая по своей природе хорошо адаптирована к особенностям строительной отрасли.

Современное управление качеством основывается на концепции Всеобщего (Тотального) управления качеством (TQM). Его принципиальное отличие от других подходов к управлению качеством заключается в том, что оно охватывает всех участников системы по вертикали от директора до конкретного исполнителя и по горизонтали все этапы жизненного цикла продукции, которые могут прямо или косвенно повлиять на достижение целевого уровня качества. Все это позволяет свести к минимуму вероятность влияния на качество неучтенных, и как следствие не контролируемых, параметров, факторов и процессов.

Концепция TQM включает в себя различные составляющие, каждая из которых обеспечивает достижение определенных целей в области качества. Примечательно, что наибольшая ответственность за качество лежит не на непосредственных исполнителях, как это зачастую представляется простому обывателю, а на руководстве организации. Именно руководитель обеспечивает в организации благоприятные условия для оптимального поиска, обдуманных закупок, своевременного обучения, планомерного вне-

дрения, взвешенной мотивации, сбалансированного финансирования, тщательного контроля, всесторонней координации и т.д. и т.п. Только сочетание всех этих действий на соответствующем уровне позволяет ожидать и требовать от непосредственных исполнителей качественного выполнения строительно-монтажных работ (СМР).

Дальнейшее развитие концепция TQM получила в международных стандартах ИСО (ISO) серии 9000. Данные стандарты являются универсальными и направлены на создание эффективной СМК в организациях любого размера и профиля деятельности. Универсальность стандартов позволяет без ограничений использовать их и предприятиям строительной отрасли.

В соответствии с концепцией TQM и принципами ИСО (ISO) 9000 СМК организации управляет всеми ее процессами, от которых зависит качество продукции (работ или услуг). СМК ставит основной задачей предотвращение производства несоответствующей (бракованной) продукции или услуг. При правильно функционирующей СМК в соответствии с данными стандартами организация-производитель не только существенно снижает вероятность выпуска недоброкачественной продукции, но и тем самым обеспечивает признание на рынке среди своих действующих и потенциальных потребителей (заказчиков), партнеров по бизнесу, контролирующих организаций и т.д. Это в свою очередь позволяет повысить конкурентоспособность и уровень доверия к организации со стороны потенциальных потребителей (заказчиков).

Предприятиям строительной отрасли России необходимо взять на вооружение современные методы управления качеством, которые позволяют не только улучшать финансово-экономическое состояние самих подрядчиков, но и получить положительный социальный эффект в виде роста удовлетворенности заказчиков и потребителей [3].

Библиографический список

1. Байбурин, А.Х. Качество и безопасность строительных технологий: Монография / А.Х. Байбурин, С.Г. Головнев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 453 с.

2. Слесарев, Е.Н. Резерв экономического развития России в бережливом производстве / Е.Н. Слесарев, В.А. Горшков // Наука ЮУрГУ. Материалы 66-й научной конференции. Технические науки. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2014. – С. 1653–1657.

3. Версан, В. Качество – стратегический путь возрождения России / В. Версан // Стандарты и качество. – 2013. – № 8. – С. 63–66.

К содержанию

УДК 378.147.88 + 004

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ 3D-ПРИНТЕРОВ В ОБРАЗОВАНИИ, МАШИНОСТРОЕНИИ И АРХИТЕКТУРЕ

Е.Н. Слесарев, М.Н. Шабанов

Рассмотрено развитие технологии 3-D печати, раскрыты ее преимущества и недостатки. Показаны возможности и перспективы ее применения в современных условиях на примере образования, машиностроения и архитектуры.

Ключевые слова: машиностроение; 3-D принтер; строительство; архитектура.

В основе работы 3D-принтера лежит технология аддитивной печати, позволяющая получать нужные объекты методом наращивания слоев рабочего материала. По сути, 3D принтер является станком с ЧПУ. Пока такие принтеры проигрывают станкам по скорости изготовления, цене получаемого изделия и зачастую в качестве. Но, в свою очередь, обладают и рядом преимуществ, которые позволяют занять им свое место в современных технологиях.

3D принтеры могут создавать изделия сложнейшей формы из широкого спектра материалов, таких как гипс, бетон, полимеры, металлы. Активно идут исследования, связанные с использованием в данной технологии биополимеров, что в перспективе даст медицине широкие возможности в протезировании и выращивании поврежденных органов или их частей.

Можно выделить несколько областей, в которых 3D принтеры находят всё более широкое применение:

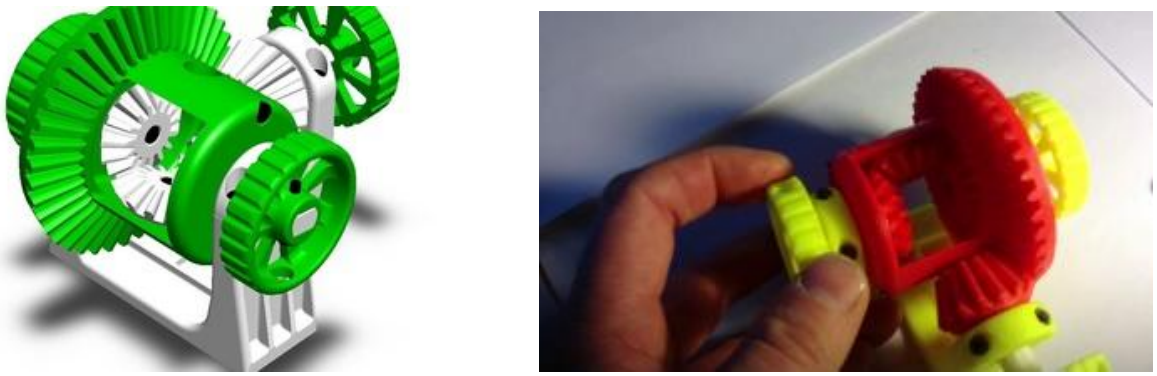
В образовании использование технологии объёмной печати позволяет использовать в учебном процессе цепочку «Идея – 3D модель – Макет(изделие)», что в свою очередь позволит: вовлечь студентов в научно-исследовательскую работу, стимулировать развитие творческих способностей и в целом повысить профессионализм выпускников, т.к. выявить конструкторские ошибки проще «подержав изделие в руках», чем глядя на чертеж или экран компьютера.

Как известно, образовательный процесс должен идти в ногу со временем, отслеживая все технологические новинки, с которыми впоследствии необходимо будет познакомить студентов, поскольку выпускники должны быть в курсе если не всех, то, по крайней мере, большинства современных технологических новинок.

Технология трехмерной печати является весьма молодым направлением, однако, несмотря на это развивается оно очень бурно. Еще совсем недавно, в образовательных учреждениях возможность моделирования и

прототипирования была весьма ограничена ввиду высокой стоимости, как самого оборудования, так и расходных материалов. Однако, в последнее время появилась технология послойного наращивания, что очень обрадовало студентов-дизайнеров. Ведь, это поможет им сделать процесс прототипирования и мелкосерийного производства более простым и быстрым.

Применение объемной печати позволит быстро создавать разнообразные наглядные пособия для обучающихся, что даст возможность студентам работать с физическим моделями, а это, в свою очередь, будет способствовать большей эффективности учебного процесса.



а) б)

3-хмерная компьютерная модель (а) и физическая модель (б), изготовленная на 3D принтере

В машиностроении: в области промышленного производства всегда необходимо создание моделей – прототипов будущих изделий, на данном этапе изготовление прототипа производится механической обработкой или литьем, что занимает продолжительное время, в то же время использование 3D принтера позволяет произвести печать прототипа за значительно меньшее время, используя компьютерную модель, созданную конструктором. Изготовление сложнопрофильных и уникальных деталей без использования механических обработки. Снижения веса деталей за счет заполнения внутреннего объема сотовой структурой. Изменяя алгоритм заполнения внутренней структуры можно управлять физико-механическими свойствами изделия. Также перспективно использование данной технологии в мелкосерийном и штучном производстве, где цена изделия, произведенного по традиционным технологиям, оказывается высокой. Так, компания Aerojet Rocketdyne, сообщила об успешном завершении цикла огневых испытаний легкого двигателя Bantam, полностью изготовленного путем 3D-печати. Использование 3D печати при изготовлении реактивного двигателя позволило сократить число деталей. Обычный двигатель Bantam состоит из десятков деталей, новая конструкция включает всего три секции: камеру

сгорания, систему инжектора и обтекателя и сопловую секцию. Усовершенствовав конструкцию маршевого двигателя Atlas, специалисты компании сократили время производства с года до двух месяцев, при этом стоимость двигателя уменьшилась на 65 %.

В архитектуре и строительстве: Как и в машиностроении создание макетов с высокой детализацией позволит специалистам проанализировать достоинства и недостатки проектируемых комплексов зданий и внести необходимые изменения. Область применения 3D печати не ограничивается созданием архитектурных объектов. В британском университете Лафборо, создан цементный состав, позволяющий печатать изделия любых форм. Усовершенствованный цементный состав укладывается методом экструдирования, что позволило отказаться от использования опалубки. Берок Хошневис из Университета Южной Калифорнии разработал 3D принтер, который может построить отдельный дом площадью в 250 кв.м в течение суток. Компания Shanghai WinSun Decoration Design Engineering Co создала 3D-принтер WinSun. Аппарат 150 метров длиной и 10 метров шириной способен всего за несколько часов напечатать здание высотой до 6 метров. Принтер WinSun использует цемент, усиленный стекловолокном. Тестовые образцы обошлись предприятию на 50 % дешевле, чем при использовании классических методов строительства. Словенская компания BetAbram занялась серийным производством строительных принтеров.

В последнее время всё чаще говорят о третьей индустриально-цифровой революции. Напомним, что первая индустриальная революция произошла в Англии в конце XVIII века, начавшись с механизации текстильного производства. В результате работа, ранее делавшаяся старательно руками в сотнях ткацких мастерских, была стянута в единую хлопкопрядильную фабрику – так появились первые заводы (фактории). Вторая индустриальная революция пришлась на начало XX века, когда Генри Форд изобрел конвейер и открыл эпоху массового производства. Эти две первые революции сделали людей более обеспеченными и урбанизированными. Сегодня на подходе третья индустриальная революция. Очевидно, что производство в последнее время становится цифровым и это, безусловно, изменит бизнес, общество и многое другое.

Система образования не может позволить себе отставание от передовых тенденций развития науки и техники, а следовательно, применение технологий объемной печати в образовательном процессе является не просто оправданным, но и необходимым.

К содержанию

УДК 378.14 + 004

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ НА ПРИМЕРЕ КУРСА «СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ»

М.Н. Шабанов

Показана необходимость применения в образовательном процессе математических пакетов в преподавании сопротивления материалов, а также дисциплин естественно-научного и общепрофессионального цикла технических специальностей.

Ключевые слова: информационные технологии; сопротивление материалов; образование.

Сопротивление материалов является базовой общеинженерной дисциплиной, необходимой при подготовке инженера любой специальности. Сопротивление материалов фактически является технической первоосновой для изучения последующих расчетно-конструкторских курсов. Наука о сопротивлении материалов получила свое наибольшее развитие в XX-м веке. Толчком к этому послужило бурное развитие морского флота, авиации, ракетной и космической техники. Конец XX-го века также характерен значительными достижениями в области микроэлектроники и компьютерной техники. Однако, какими бы совершенными электронными устройствами и помощниками не пользовался бы человек, без фундаментальных знаний в области механики и прочности невозможно создание ни новых машин, ни сложных инженерно-технических сооружений.

Новые научно-технические направления и компьютерные технологии сделали необходимым включение в учебные планы вузов множества новых дисциплин, знание которых становится обязательным для современного инженера. Однако такая модернизация учебных планов зачастую приводит к сокращению количества часов, выделяемых на освоение фундаментальных общетехнических дисциплин, в том числе и на сопротивление материалов. При этом необходимо помнить, что к такому сокращению часов следует подходить предельно осторожно, поскольку инженерные ошибки в расчетах на прочность и жесткость иногда приводят к катастрофическим последствиям. Многочисленные аварии и техногенные катастрофы, которые мы наблюдаем в последние годы в большом количестве наглядное тому доказательство. Такая тенденция наблюдается и в мировой технической практике: увеличивается число катастрофических разрушений конструкций в различных отраслях: разрушения строительных конструкций, корпусов ракет и самолетов, судов, роторов турбин и генераторов, резервуаров, сосудов давления, газопроводов и др.

Безусловно, для решения многих современных научно-технических задач совершенно недостаточно лишь методов традиционного курса сопротивления материалов. Имеется обоснованная необходимость выделения учебных часов на изучение новых, весьма перспективных направлений в науке о прочности, использование компьютерной техники в инженерных расчетах, программирование задач в различных средах. При этом по возможности необходимо сохранить полноту курса, строгость и доказательность основных положений науки о сопротивлении материалов.

При проектировании практически любых конструкций в последнее время инженеры используют пакеты современного программного обеспечения, основанные на универсальных методах типа метода конечных элементов. Перспективу развития методов обучения студентов они видят в том, что программа курса должна быть реформирована с акцентом на современные численные методы расчета конструкций на прочность и жесткость, применение программных комплексов и систем автоматизации прочностных расчетов.

Системы автоматизированного проектирования уже получили повсеместное использование в преподавании специальных дисциплин технических специальностей. В преподавании дисциплин естесвенно-научного цикла и общепрофессиональных дисциплин использование современных информационных технологий развито пока слабо. В основном это презентации, в некоторых случаях видеолекции. Применение же математических пакетов программ в преподавании таких дисциплин, как физика, теоретическая механика, сопротивление материалов и т.д. позволит избавить студентов от рутинных математических вычислений и глубже изучать сам предмет, проводить более широкий анализ задач, визуализировать полученные результаты.

В связи с этим возникает необходимость изучения различных математических пакетов на первом курсе, что в последствии позволит их широко использовать в преподавании, а студентам в самостоятельной учебной и исследовательской работе.

При выполнении расчетных работ по сопротивлению материалов студенты вынуждены осуществлять большой объем математических вычислений. При этом окончательный вывод о работоспособности конструкции основывается на сравнении рассчитанных и допускаемых (нормативных) величин.

В настоящее время имеется большое количество пакетов современного программного обеспечения (ПО), позволяющих значительно упростить эту работу. Некоторые программные продукты весьма дорогостоящие, например, Ansys, Nastran и др. Применение такого ПО может быть оправдано лишь при выполнении сложных работ исследовательского характера или ответственных работ прикладного назначения. Однако существуют и срав-

нительно недорогие программные продукты, позволяющие успешно использовать их для обучения студентов. Например, система автоматизированного проектирования АРМ WinMachine, разработанная научно-техническим центром «Автоматизированное проектирование машин» (НТЦ АПМ, г. Королев).

Перспективным является и использование при инженерных расчетах системы MathCAD как одной из наиболее распространенных в настоящее время и обладающей большими вычислительными возможностями, а также удобством работы. Редактор данной системы позволяют проводить многовариантные расчеты, а средства визуализации помогают автоматизировать построение эпюр внутренних силовых факторов и перемещений. Благодаря этому существенно упрощается процесс нахождения наиболее рационального или оптимального по какому-либо параметру решения поставленных задач. В ходе выполнения анализа решения студент самостоятельно или с помощью преподавателя может выявлять ошибки, а при необходимости и вносить исправления в написанную программу, чтобы получить новые численные значения искомых величин. В результате перед студентами можно ставить как задачи численного, так и параметрического исследования, а также оптимизации нагрузок и размеров исследуемой конструкций.

Представляется перспективным использование систем виртуальной реальности в подготовке специалистов в областях, где требуется объемное представление сложных объектов.

Возможность использования виртуальных лабораторных работ в дисциплинах естественно-научного цикла представляется сомнительной, так как не даст обучающемуся опыта работы с реальным измерительным инструментом и лабораторным оборудованием, что вцелом снизит качество подготовки.

К содержанию

УДК 69.07

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ АВАРИЙ

А.П. Мельчаков, Е.А. Казакова

Безопасность системы несущих конструкций строительного объекта – это безопасность объекта «конструкционная», и если она у объекта обеспечена, то его несущий каркас защищен от аварии. Главная угроза такой безопасности – это человеческий фактор, а механизм реального противодействия этому фактору – создание системы предупреждения.

Ключевые слова: безопасность, риск аварии, ошибки людей, надежность, система контроля риска аварии

В настоящее время аварии строительных объектов превратились в «обычное» и практически ежедневное явление, и лишь отдельные, наиболее «громкие» шокируют власти и население. Сегодня через СМИ населению страны пытаются объяснить, что главная причина обрушения строительных объектов – это внешние непроектные воздействия на них природно-климатического или техногенного характера. Часто в таких репортажах фигурирует фраза «взрыв бытового газа». Но при этом не объясняется, почему одинаковый по мощности взрыв газа в одних случаях приводит к локальным разрушениям, а в других – к массовому обрушению жилого дома и летальным исходам для его обитателей. Здесь уместно привести недавний трагический и имеющий неумолимую тенденцию к повторению пример. Астрахань, 27 февраля 2012 г., 12-50. Полным ходом идёт избирательная кампания по выборам нового президента России. Сначала в интернете, а спустя некоторое время по всем телевизионным программам появляются леденящие сознание кадры прямого репортажа с места обрушения одной из секций (рис.) 9-этажного крупнопанельного многоквартирного жилого дома по адресу г. Астрахань, Советский район, ул. Н. Островского №150/1.

Случайные прохожие, увидев зияющую дыру в жилом доме на уровне 3-го этажа, ради любопытства включили камеры своих мобильных телефонов и вскоре десятки миллионов россиян стали свидетелями гибели сограждан в момент полного обрушения секции дома. В аварии погибло десять человек. За государственный счёт жертвы этой аварии похоронены, компенсации выплачены, дом снесен и на его месте устроен парк. Из государственного бюджета на все про все потрачено примерно 500 млн рублей.

В сознании россиян трагедия уже забывается, но у профессионалов есть вопросы. Вопрос первый: кто виноват в трагедии? Первоначально пытались привлечь к ответственности газосбытовую организацию, эксплуати-

рующую газовое хозяйство дома, но следствие показало, что всё оборудование работает в штатном режиме, утечек газа в системе нет. От чего произошел взрыв – неизвестно. Предположили такой сценарий: «Некто решил свести счеты с жизнью, включил газовую конфорку, чиркнул спичкой, и – взрыв». Но такой сценарий был давным-давно учтён проектировщиками, которые первыми предложили оснащать многоквартирные панельные дома газовым оборудованием. При обязательной сертификации и до утверждения этого проекта в государственных органах технического надзора, проводились натурные испытания, которые показали, что в зависимости от содержания газа в воздухе результаты взрыва в доме, построенном в соответствии со СНиП, исчерпывающе делятся на три категории:

1. Разбитые стёкла в квартире.
2. Выбитые оконные рамы в квартире.
3. Выбитые не несущие стеновые панели (перегородки) в квартире.

Момент лавинообразного обрушения секции 9-этажного крупнопанельного жилого дома в г. Астрахани

Естественно, в случае взрыва «бытового» газа есть риск лишения жизни для находящихся в квартире людей, который возрастает по мере усиления мощности взрыва, но только в квартире, а не в подъезде и, тем более, не в доме. Так чья вина в этой трагедии? Безусловно – это вина строителей. Именно они при возведении дома не обеспечили достаточную прочность и жесткость его несущего каркаса, из-за чего риск аварии дома был близок к критическому значению, а взрыв газа лишь спровоцировал его обрушение. Сейчас можно только предположить, что при монтаже стеновых панелей дома была применена так называемая технология «прихваток» панелей к плитам перекрытия, а окончательная приварка их к «закладным» либо вообще не была произведена, либо сама сварка произведена некачественно, и скорее всего, без дополнительных процедур по защите ее от коррозии. Про

замоноличивание платформенных стыков и вовсе иногда забывается. Такая «технология» даже получила свое «научное» название – «скирдование». Ею пользуются в основном неквалифицированные строители, которые всегда стремятся как можно быстрее «закрыть объёмы» и сдать объект. В результате платформенные стыки плит перекрытия со стеновыми панелями сплошь некачественные, а жесткость ячеек дома преступно занижена. По мнению автора книги, именно этот факт и послужил основной причиной лавинообразного обрушения подъезда дома. Кстати, исследованиями специалистов из МЧС было подтверждено аналогичное состояние необрушившихся секций дома. На основании их заключения и было принято решение о его сносе. А вот конкретных людей (монтажников, сварщиков, бетонщиков, бригадиров, мастеров и др.), которые реально виновны в этой строительной катастрофе, опять же нет. Поэтому возникает второй вопрос, тоже для России традиционный. Что делать? Ответ на этот вопрос читатель найдет в этом пособии.

В последние годы существования СССР для Совета Министров проводил семинары выдающийся учёный, академик Валерий Алексеевич Легасов. Основой его лекций была разрабатываемая им с конца 70-х годов прошлого столетия концепция безопасности на любом производстве. Трагическое подтверждение этой концепции сделал Чернобыль. Совместная работа председателя Госстроя СССР Ю.П. Баталина с академиком В.А. Легасовым по ликвидации последствий первого взрыва 4-го реактора ЧАЭС и их титанические усилия по предотвращению возможного последующего, гораздо более мощного, убедили руководство страны в необходимости смены всей парадигмы отношения людей к проблеме безопасности.

Действовавший ранее в практике хозяйственной жизни страны принцип «реагировать и исправлять» был заменен на новый, предложенный академиком В.А. Легасовым, фундаментальный принцип – «предвидеть и предупреждать». Тогда при Госстрое СССР была создана рабочая группа по изучению мирового опыта в области безопасности строительства. Но 7 декабря 1987 года плановую работу этой группы прервала строительная катастрофа, вызванная землетрясением в Армении мощностью 7 баллов по шкале Рихтера. Её последствия – 25 682 погибших, 128 705 получивших ранения или увечья различной тяжести, 514 826 оставшихся без крова из 304 разрушенных населённых пунктов – стали «моментом истины» для всей строительной отрасли СССР. Казалось, во всём была виновата стихия, за 30 секунд перевернувшая и искалечившая жизни сотен тысяч людей. Однако, созданная при Совмине СССР после Чернобыля Государственная комиссия по чрезвычайным ситуациям (ГКЧС, председатель В. Х. Догужиев) была иного мнения. После расследования причин армянской трагедии комиссия опровергла поверхностные суждения прессы о неумолимой жестокости природы. Она пришла к следующему, неутешительному для Гос-

строя, выводу: если бы попавшие в зону бедствия здания или сооружения были бы построены в полном соответствии с действующими СНиП, то страна в этой чрезвычайной ситуации потеряла бы не более тысячи человеческих жизней. Когда мощные подземные толчки стряхнули с армянских зданий штукатурно-окрасочный марафет, то обнажились грубые отступления от нормативных требований: вместо арматуры – проволока, кладочная смесь почти без цемента, там, где должен быть ровный сварной шов – ржавые уродливые наросты. Специалистам стало ясно, что во всём виновата халатность строителей, а землетрясение лишь спровоцировало аварийные обрушения зданий, под завалами которых погибло и пострадало огромное число советских граждан. Вслед этой трагедии специальная коллегия Госстроя СССР постановила: «В СССР необходимо создать и ввести систему предупреждения аварий в строительстве!».

После принятия постановления было организовано всесоюзное совещание учёных строительной отрасли, где они получили возможность ознакомиться с выводами объединённой комиссии ГКЧС и Госстроя СССР и последними достижениями зарубежной науки по безопасности строительства. Именно тогда председатель Госстроя СССР Ю.П. Баталин сформулировал проблему безопасности в строительстве и призвал ученых приступить к исследованиям по этой проблеме на основе концепции безопасности академика Легасова.

К сожалению, этим планам не суждено было сбыться. В 1991 г. пришли новые люди, которые представили новому руководству новой страны армянскую строительную катастрофу как чисто природную. Примером новых воззрений стала статья Айзенберга «Строительная наука против сейсмических катастроф» [1]. В ней автор не отрицает факта низкого качество строительства в Армении. Дословно: «Оно низкое не только в Армении, но и в Сибири, и на Дальнем Востоке». При этом автор утверждает, что главная причина армянской трагедии не в пресловутом человеческом факторе, а в «особом» характере произошедшего в Армении землетрясения. В ней он делает попытку доказать, что впервые за всю историю наблюдений длина волны сейсмических колебаний земли при землетрясении неожиданно совпала с периодом собственных колебаний всех объектов, построенных в зоне активности, чем вызвала резонанс, и это привело к фатальным для населения последствиям. Вот так. Ни больше и ни меньше! В результате такого «научного» обоснования трагедии, прочно укрепившегося в сознании новых государственных деятелей, никакой системы предупреждения аварий в строительстве в России сейчас нет.

Сейчас уже стало очевидным, что систему предупреждения строительных аварий надо создавать. Также очевидно, что в ее основе должен быть еще пока «неизвестный» строительной отрасли России менеджмент риска аварии. Иначе вступление России в ВТО (Всемирную торговую организацию) может для строительной отрасли страны обернуться экономическим крахом.

Чтобы понять значимость проблемы конструкционной безопасности, надо знать основную причину аварийного обрушения здания или сооружения. Например, наиболее реалистичный сценарий строительной катастрофы на территории Армении такой: – к моменту землетрясения конструкционная безопасность большинства строительных объектов, находящихся в зоне активности, из-за многочисленных ошибок людей не была обеспечена; отсюда и «результат». В 90-х годах прошлого столетия этот сценарий подтвердили проектировщики из Дагестана. Их, после катастрофы, обвинили в ненадежности построенных на территории Армении по их проекту панельных зданий. Чтобы доказать «обратное», они провели натурный эксперимент. В полном соответствии со СНиП ими был возведен каркас панельного здания и произведена имитация землетрясения с постепенным увеличением мощности землетрясения до 9,4 баллов по шкале Рихтера. Этим экспериментом было доказано, что при той мощности землетрясения, какое было в Армении, правильно построенный по их проекту дом разрушиться не может. В эксперименте первые видимые повреждения дома стали наблюдаться в районе 9 баллов.

После Армянской трагедии в СССР издается книга «Вероятностные методы в строительном проектировании» [2]. Ее авторы – три профессора из Италии – Г. Аугусти (Флоренция), А. Баратта (Неаполь) и Ф. Кашиати (Павия). В ней они утверждают, что теоретическая вероятность обрушения конструкций, заложенная в объект при его проектировании, после реализации проекта может за счёт человеческих ошибок увеличиться примерно на порядок. В разделе «Анализ надежности в рамках норм проектирования» авторы пишут (дословно): «методы определения вероятности отказов учитывают лишь случайную природу нагрузок и сопротивлений им, пренебрегая такими источниками отказов, как ошибки и небрежности, которые могут проявлять себя во время проектирования, возведения и эксплуатации сооружений». Книга показала путь, который должны пройти разработчики норм на величину риска аварии строительного объекта.

С момента распада СССР прошло уже более 20 лет. За это время строительная отрасль страны существенно преобразилась. Сейчас на территории России зарегистрировано приблизительно 800 тысяч частных предприятий. Главная цель новоиспеченного строительного бизнеса – извлечение прибыли. Естественно, инвестиций в новые строительные технологии он почти не делает. Ему это невыгодно, ведь на модернизацию заводов, закупку новой техники и переобучение кадров нужно тратить «свои» деньги. Поэтому строительство идёт пока «по старинке», и осуществляется оно в основном за счёт сверхамортизации приватизированной материально-технической базы советской эпохи «индустриального» домостроения. А когда цены на металл, цемент и энергию внутри страны сравнялись и даже превзошли мировые, выяснилось, что на возведение одного квадрат-

ного метра жилья в России тратится в два раза больше металла и цемента, чем в развитых странах мира. Этот факт нынешние руководители строительного комплекса России объясняют не старым технологическим укладом строительства и коррупцией, а якобы «устаревшими» на сегодняшней день строительными нормами.

Безусловно, строительные нормы требуют модернизации и дополнения на ограничение риска аварии. Действительно, если нормы на величину риска аварии для конечной строительной продукции (зданий и сооружений) нет, то ее производители, как правило, допускают такую степень дефектности, которая обеспечивает им прибыль при минимуме затрат на ее создание. Именно поэтому объекты недвижимости, уже построенные и строящиеся сейчас, конструкционно-безопасными, в полном смысле этого понятия, считать нельзя. Несмотря на то, что в строительстве давно запущена в действие система управления качеством ИСО-9001, массового качества как не было, так и нет. «Риск аварии» и, тем более, «риск менеджмент» сегодня для строителей России термин новый и непонятный большинству работников отрасли.

Для того чтобы создать систему предупреждения аварий зданий и сооружений, необходимо ясно понимать следующее:

1. «Конструкционная безопасность» – это своеобразный щит от аварийного обрушения строительного объекта. Если такая безопасность объекта обеспечена, то он способен противостоять достаточно большому числу внешних воздействий, в том числе и не предусмотренных в проекте, а размер безопасного ресурса объекта будет не ниже предусмотренного нормами значения.

2. При этом возможность в любой конкретный момент времени количественно оценить реальную угрозу зданиям (сооружениям) в форме риска аварии – по существу, залог их конструкционной безопасности. Если при сдаче строительного объекта в эксплуатацию риск его аварии выше допустимого, то это неизбежно приведет к преждевременному исчерпанию безопасного ресурса объекта и более частым дорогостоящим ремонтам.

3. Принципиальная возможность количественной оценки риска аварии строительного объекта на любой стадии его жизненного цикла позволяет для предупреждения аварийных обрушений зданий и сооружений ввести и повсеместно использовать схему их страхования на случай аварии. При этом адекватный фактическому риску аварии объекта страховой тариф вполне обеспечивает баланс интересов между страховщиками и страхователями.

4. Гарантирование конструкционной безопасности новых и находящихся в эксплуатации зданий и сооружений должно иметь статус обязательной процедуры. На основе результатов гарантирования можно создать банк данных о физическом состоянии расположенных на территории России

зданий и сооружений. Такой банк позволит: а) прогнозировать реакцию объекта в условиях чрезвычайной ситуации; б) устанавливать на рынке недвижимости реальное соотношение между ценой и качеством; в) в разы снижать расходы на поддержание конструкционной безопасности строительных объектов, находящихся в эксплуатации.

Библиографический список

1. Российская архитектурно-строительная энциклопедия. Том X. Безопасность строительства, надежность зданий и сооружений. – М. ВНИИНТПИ Госстроя России, 2005. – 319 с.

2. Аугусти, Г. Вероятностные методы в строительном проектировании / Г. Аугусти, А. Баратта, Ф. Кашиати; пер. с англ. Ю.Д. Сухова. – М.: Стройиздат, 1988. – 583 с.

К содержанию

УДК 69.05

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СКВОЗНОЙ РАЗРАБОТКИ ВКР БАКАЛАВРОВ НАПРАВЛЕНИЯ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

Д.В. Чебоксаров

В 2011 г. произошел переход на двухуровневую систему образования. Сократился срок обучения по направлениям бакалавриата, перед защитой ВКР появился учебный семестр, исчезла преддипломная практика, в два раза сократился период разработки ВКР. Все это не позволяет выполнять ВКР бакалавров в режиме, который был годами отработан при подготовке и защите дипломных проектов специалистов. В статье приводится альтернативный вариант разработки ВКР.

Ключевые слова: бакалавриат, выпускная квалификационная работа, сквозное проектирование.

В связи с переходом на двухуровневую подготовку в системе высшего профессионального образования существенно изменились условия дипломного проектирования (ДП) студентов-бакалавров по сравнению со специалистами. Это обусловлено объективными причинами, связанными с глобальным изменением ФГОС по направлению 08.03.01 «Строительство». Основные отличия учебного плана кафедры Строительства филиала ФГБОУ ВПО ЮУрГУ (НИУ) в г. Миассе по ФГОС 3 и 3+ от ГОС ВПО специалистов в части, касающейся выпускной квалификационной работы (ВКР) следующие [1, 2, 3]:

1. Упразднена 3-я производственная и преддипломная практики.

2. Семестр, предшествующий защите ВКР у бакалавров – учебный (8 семестр), тогда как последний семестр у специалистов (10 семестр) был полностью посвящен дипломному проектированию.

3. Срок выполнения и защиты ВКР сократился с 15 недель для специалистов (а с учетом упраздненных практик 21 неделя) до 9 недель для бакалавров.

В рамках упраздненных практик студенты-специалисты осуществляли поиск тем для ДП и начинали выполнение проекта. По итогам 2-х практик студент мог решить следующие задачи: выбрать тему ДП, по заданию строительной или проектной организации; определиться с руководителем ДП от предприятия; выполнить первый (архитектурно-строительный) раздел ДП; приступить к выполнению второго (расчетно-конструктивного); собрать и проанализировать информацию для выполнения остальных разделов.

Наличие 10-го семестра, полностью отданного на проектирование, обуславливало высокое качество выполнения проектов, т.к. работа студента была посвящена только выполнению ДП.

Наконец, срок разработки проекта, сократившийся более чем в два раза, не позволяет выделить время на разработку разделов. В доступный для студентов срок можно успеть только оформить готовую работу, получить все необходимые отзывы и рецензии, пройти предварительную защиту работы. То есть выполнить только формальную часть проекта.

Все выше перечисленное не позволяет выполнять ВКР бакалавров в режиме, который был годами отработан при подготовке и защите дипломных проектов специалистов.

Возникает необходимость внедрения нового подхода к разработке ВКР. Таким новым подходом может стать сквозная разработка ВКР. Технология сквозного проектирования представляет собой передачу результатов одного этапа проектирования на следующий этап в единой проектной среде, при этом изменения, вносимые на любом этапе, должны отображаться во всех частях проекта [5]. Данная технология позволяет связать воедино все этапы выполнения ВКР от постановки задания до защиты.

Суть сквозной разработки заключается в том, что ВКР разрабатывается на протяжении нескольких семестров в рамках выполнения курсового проектирования. Таким образом, к концу 8-го семестра студент имеет на руках готовую ВКР, которую остается скомпоновать из отдельных курсовых проектов (работ) в единый проект.

Проиллюстрировать сквозную разработку ВКР можно на примере учебного плана направления подготовки 08.03.01 «Строительство» филиала ФГБОУ ВПО ЮУрГУ (НИУ) в г. Миассе. Схема и последовательность выполнения этапов приведена на рисунке.

Задача первого этапа познакомить студентов с основами проектирования зданий. На первом этапе студенты получают общие знания по специальности в рамках цикла ЕН. Это знания об инженерном обеспечении строительства (геодезия, геология), о графическом оформлении проектов (начертательная геометрия, инженерная графика, компьютерная графика), об основах расчета конструкций (сопротивление материалов), начальные знания о конструкциях зданий и сооружений (основы архитектуры, основы строительных конструкций). Первый этап завершается выполнением трех курсовых проектов (работ) по циклу архитектуры по заданиям преподавателя. Каждая из трех работ охватывает одну из функциональных групп зданий (общественные, жилые и промышленные здания).

Задача второго этапа – определение темы ВКР и разработка архитектурно-строительной части работы. На втором этапе в 6-м семестре в рамках дисциплины «Архитектура гражданских и промышленных зданий» студентам предлагается выбрать тему ВКР (требования к выбору тем такие же, что и у специалистов) и разработать архитектурно-строительную часть работы. Во время второй производственной практики студенты углубляют и расширяют свои знания о зданиях того типа, который выбран в качестве темы ВКР.

Задача третьего этапа – разработка остальных разделов ВКР. При этом в отличие от проектов студентов-специалистов в работах бакалавров выполняется комплексное проектирование здания. Дипломные проекты специалистов, в большинстве своем, ограничивались подробным расчетом одного–двух элементов здания (фундамент, колонны+ригели, перекрытие и т.д.). В работах бакалавров, в связи с тем, что курсовое проектирование охватывает все типы несущих конструкций из всех наиболее часто применяемых материалов, к концу 8-го семестра будут запроектированы практически все конструктивные элементы здания. Кроме того, в ВКР бакалавров, по желанию кафедры, возможно включение проработанного раздела, посвященного инженерно-техническому оснащению здания (ВиК, ТГСиВ, ЭО/ЭМ).

И, наконец, задача четвертого этапа – оформление ВКР согласно требований, получение отзывов, рецензии и собственно защита проекта. Для выполнения задач четвертого этапа, времени, которое выделено учебном планом (9 недель), хватит даже с учетом возможных корректировок разделов.

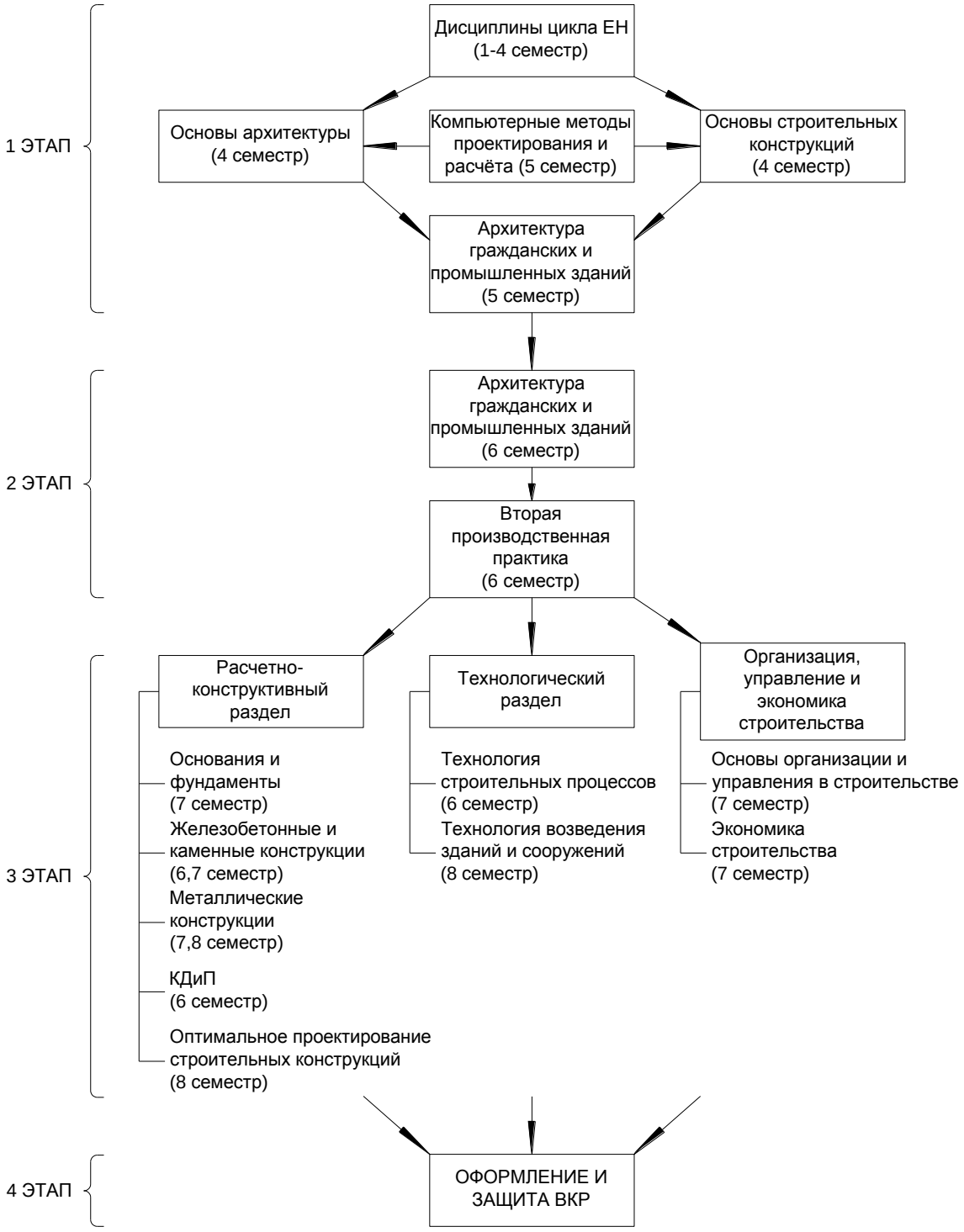


Схема выполнения ВКР

Предлагаемый подход, несмотря на многие трудности, связанные с преодолением стереотипов существующей системы обучения со стороны преподавателей и студентов, даст положительные результаты. Студент тогда будет учиться с увлечением, когда занятия интересуют его лично, когда содержание учения заключено в реальной практической деятельности,

результат которой можно применить. Так как конечная цель любого обучения в вузе – выполнение и защита дипломного проекта, то именно содержание работы по теме дипломного проекта является самым мощным мотивационным стимулом для творческой деятельности студента на протяжении всего периода обучения [4]. ВКР включает в себя сумму всех знаний, умений и навыков, полученных студентом за все курсы, и это должно гарантировать необходимый уровень и высокое качество как ВКР, так и качество образования студентов на момент окончания института. Считается, что студенты будут справляться более успешно с курсовыми и дипломными проектами и более полно осваивать основные приемы проектирования.

Таким образом, метод сквозного проектирования объектов профессиональной деятельности позволит усилить акцент на стимулирование студента к его профессиональному развитию, создав ему специальные условия для саморазвития и повышения творческого потенциала.

Библиографический список

1. ФГОС ВПО по направлению подготовки 270800 строительство (квалификация «бакалавр») (в ред. Приказов Минобрнауки РФ от 18.05.2011 N 1657, от 31.05.2011 N 1975).

2. ФГОС ВПО по направлению подготовки 08.03.01 строительство (квалификация «бакалавр») (Утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 марта 2015 г. N 201).

3. ГОС ВПО подготовки дипломированного специалиста по направлению подготовки 270100 Строительство (утвержден 07.03.2000 г., номер гос. регистрации № 12 тех/дс).

4. Качуровская, Н.М. Сквозное проектное обучение в техническом вузе / Н.М. Качуровская // Современные наукоемкие технологии. – 2005. – № 6. – С. 82–82.

5. Соболева, В.В. Теоретические основы метода сквозного проектирования объектов профессиональной деятельности инженера-строителя при изучении курса общей физики / В.В. Соболева // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3.

К содержанию

УДК 658.51.011

ОПЫТ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ С ЦЕЛЬЮ ДОСТОВЕРНОГО ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ ВЫПОЛНЕННЫХ СМР ТРЕБОВАНИЯМ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ФУНКЦИЙ ГСН

М.С. Эпштейн

В статье описывается опыт привлечения экспертных организаций с целью оценки качества выполненных строительно-монтажных работ при возведении зданий и сооружений.

Ключевые слова: безопасность, государственный строительный надзор, оценка качества СМР.

Деятельность органов государственного строительного надзора (далее – ГСН) регламентируется в РФ прежде всего ст. 49 и 54 Градостроительного кодекса РФ, Постановлением Правительства РФ от 1 февраля 2006 г. № 54 о государственном строительном надзоре в российской федерации, РД 11-04-2006 «Порядок проведения проверок при осуществлении государственного строительного надзора и выдачи заключений о соответствии построенных, реконструированных, отремонтированных объектов капитального строительства требованиям технических регламентов (норм и правил), иных нормативных правовых актов и проектной документации».

Согласно законодательству, государственный строительный надзор осуществляется в форме проверок соответствия выполненных работ и применяемых строительных материалов требованиям технических регламентов, проектной документации, прошедшей экспертизу, в период осуществления строительно-монтажных работ на объектах капитального строительства.

Государством определен круг этих объектов – жилые дома с количеством этажей более трех, общественные и промышленные здания площадью более 1500 квадратных метров и (или) количеством этажей более двух. По смыслу, государство берет на себя ответственность за обеспечение безопасности объектов, при эксплуатации которых возможно нанесение наибольшего, опасного воздействия на граждан – угроза жизни, причинение значительного материального вреда.

Беря на себя ответственность за безопасность зданий и сооружений указанных категорий, государство законодательно определяет обязательства застройщиков и подрядчиков по осуществлению строительного контроля в период проведения строительно-монтажных работ на всех без исключения объектах – статья 53 Градостроительного кодекса РФ, «Положение о проведении строительного контроля в РФ», утвержденное Постановлением Правительства РФ № 468 от 21.06.2010 г. Целью строительного

контроля является подтверждение участниками строительства соответствия выполненных работ и применяемых строительных материалов требованиям технических регламентов, проектной документации.

Кроме того, работы, оказывающие влияние на безопасность зданий и сооружений, согласно статье 52 Градостроительного кодекса РФ и Приказу Минрегиона № 624 от 30.12.2009 г., разрешается выполнять только при наличии допуска саморегулируемых организаций – некоммерческих объединений, создаваемых также для обеспечения безопасности строящихся объектов капитального строительства.

Положения о безопасности зданий и сооружений изложены в технических регламентах, в частности, в Техническом регламенте о безопасности зданий и сооружений – Федеральном законе № 384 ФЗ от 30 12.2009 г.

При всем многообразии законодательных актов, на практике возникают ситуации, при которых оценка соответствия выполненных работ и примененных строительных материалов затруднительна.

Во-первых, в отсутствии контроля со стороны государства, на объектах капитального строительства, не поднадзорных органам ГСН, строительный контроль осуществляется недобросовестно либо не осуществляется вообще.

Во-вторых, при строительстве объектов, попадающих под надзор государства, извещение о начале строительства подается в органы ГСН со значительным запозданием, когда работы, оказывающие влияние на безопасность зданий и сооружений, частично выполнены и скрыты последующими работами.

В-третьих, при реконструкции существующих объектов для определения пригодности зданий для проведения реконструкции, разработки проектной документации просто необходима оценка состояния объекта.

Наконец, на любом объекте возникают ситуации, когда внешние условия – погода, влажность, температура, время и сроки, в которые осуществляется проведение строительно-монтажных работ, человеческий фактор – квалификация, недобросовестное выполнение технологических операций, а также состояние технологического оборудования – оказывают значительное отрицательное влияние на результаты работ.

Все перечисление заставляет усомниться в надлежащем качестве выполненных строительно-монтажных работ.

Поэтому, в РД 11-04-2006 прямо прописана возможность привлечения экспертных организаций, для обследования как отдельных работ, конструкций, так и всего объекта в целом, с целью достоверного подтверждения соответствия выполненных строительно-монтажных работ и объекта требованиям безопасности.

В работе 3 территориального отдела накоплен достаточно большой опыт сотрудничества с организациями, проводящими обследование зданий и сооружений.

В числе объектов, подвергавшихся обследованию, производственные корпуса ИВЕКО-АМТ, Чебаркульской птицефабрики, Миасского мусороперерабатывающего завода, кирпичное и сборно-монолитное жилые здания по ул. Колесова, Б.Хмельницкого в Миассе, монолитные, кирпичные и панельные жилые здания в г. Златоуст, Куса, Усть-Катав, общественные здания различного профиля в г. Миассе, Златоусте, Сатке.

Результатами проведенных обследований стала оценка пригодности элементов и объектов в целом, либо разработка мероприятий по приведению зданий в состояние, соответствующее требованиям безопасности, либо расчетное подтверждение допустимости выявленных отклонений.

Действующий национальный стандарт ГОСТ Р 53778-2010 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», который вошел в обновленный перечень национальных стандартов и сводов правил, на основе обязательного применения которых обеспечивается соблюдение требований 384-ФЗ, перечисленными мерами ограничивается.

Однако степень соответствия (пригодности) оценивается описательно, без каких-то количественных показателей. В результате срок службы, затраты на эксплуатацию по содержанию готовых объектов, степень риска возникновения непредвиденных опасных ситуаций, возникающих при эксплуатации под воздействием факторов, заложенных при строительстве объектов, очень различна.

Для решения указанных задач по оценке риска аварий объектов, как при проведении обследований, так и при непосредственном поэтапном отслеживании качества строительства, более других подходит методика [1] Мельчакова А.П.

Библиографический список

1. Мельчаков, А.П. Прогноз, оценка и регулирование риска аварии зданий и сооружений: теория, методология и инженерные приложения: монография / А.П. Мельчаков, Д.В. Чебоксаров. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – 114 с.

К содержанию

УДК 69.053

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА В СИСТЕМЕ СТРАХОВАНИЯ НА СЛУЧАЙ АВАРИИ

Е.А. Казакова

Гарантию конструкционной безопасности здания и сооружения предоставляет контроль риска аварии в рамках системы страхования на случай аварии. Последовательность действий: «объект – обследование и диагностика – оценка риска аварии – оценка по величине риска аварии технического состояния объекта – адекватный страховой тариф», в данном случае является основополагающей.

Ключевые слова: конструкционная безопасность, риск аварии, страхование на случай аварии, система контроля риска аварии.

Ежегодно наблюдается рост числа строительных аварий и тяжести их последствий. Около половины из них происходят гражданском строительстве. Основными же причинами этих аварий являются дефекты строительных работ, применяемых материалов, а также ошибки участников инвестиционно-строительного процесса. Ущерб от аварий исчисляется миллиардами рублей. Существенны и экономические потери некачественного строительства: уже в первые годы эксплуатации до 5 % затрат на жилищное строительство уходит на ликвидацию брака и около 3 % – на преждевременный ремонт зданий.

В таких условиях оценка риска аварии и регулирование уровня конструкционной безопасности зданий и сооружений на стадиях их возведения и эксплуатации является одной из насущных проблем.

С целью обеспечения безопасности строительных объектов необходимо создать систему контроля конструкционной безопасности строительных объектов, представленную в виде информационной модели (рис. 1). Данная модель включает в себя различные механизмы воздействия на безопасность зданий на различных этапах его жизненного цикла через периодическую оценку риска аварии. При этом на этапе строительства основную роль при контроле качества строительства выполняет Госстройнадзор, а в процессе эксплуатации конструкционная безопасность поддерживается в рамках системы страхования на случай аварии.

Для функционирования такой системы необходимы соответствующие теоретические основы и методики нормирования, оценки и прогнозирования, а также процедуры контроля соответствия, позволяющие в совокупности устанавливать области приемлемых значений.

В методике расчета и прогнозирования риска аварии, разработанной д-р техн. наук, профессором Мельчаковым А.П.[1], риск аварии строительного объекта представлен в форме отношения фактической вероятности аварии объекта к вероятности аварии, заложенной в нормы для его проектирования. В такой форме риск аварии – во-первых, численная мера опасности аварийного обрушения строительного объекта, а во-вторых, такая мера поддается определению.

Периодическую оценку величины риска застрахованного объекта целесообразно осуществлять в виде сертификационных испытаний. Их оперативность достигается с помощью применения автоматизированной системы (рис. 2), которая подробно описана в [2].

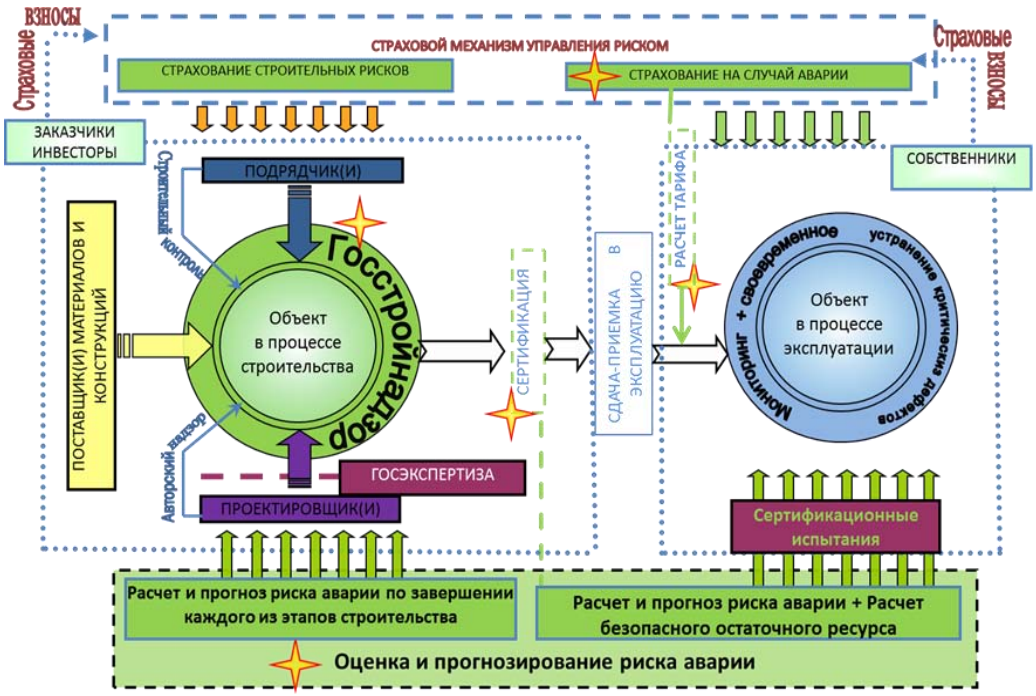


Рис. 1. Модель системы контроля конструкционной безопасности строительного объекта на стадии строительства и эксплуатации

Результаты таких испытаний выдаются в виде отчета о техническом состоянии. Данный отчет не является отчетом об обследовании, т.к. содержит лишь сведения, которые необходимы:

а) на стадии строительства – для принятия решения о продолжении строительства или о применении мер по снижению риска аварии;

б) при завершении строительства или в процессе эксплуатации объекта – для выдачи сертификата и страхового полиса.

Применение менеджмента риска в рамках осуществления деятельности государственного строительного надзора поможет уже на этапе строительства вести контроль конструкционной безопасности за счет достоверной и точной оценки соответствия этапов работ и завершенного объекта уста-

новленным требованиям. Если объект находится на стадии строительства, то фактический риск аварии $R_ф$ рассчитывается для каждого «промежуточного здания» (завершенного этапа строительства). Каждое построенное «промежуточное здание» должно удовлетворять условию:

$$R_ф < R^*, \quad (1)$$

где R^* – нормативный риск аварии – максимально допустимое значение фактического риска аварии построенного промежуточного здания. Для полностью построенного здания $R^*=2$.

В случае, если фактический риск аварии здания превысил требуемую из условия его конструкционной безопасности величину риска аварии, то в режиме реального времени производится регулирование риска аварии. При этом информация о величине риска аварии объекта позволяет принять управленческое решение и осуществить регулирование риска, что существенным образом меняет ситуацию при возведении объекта.

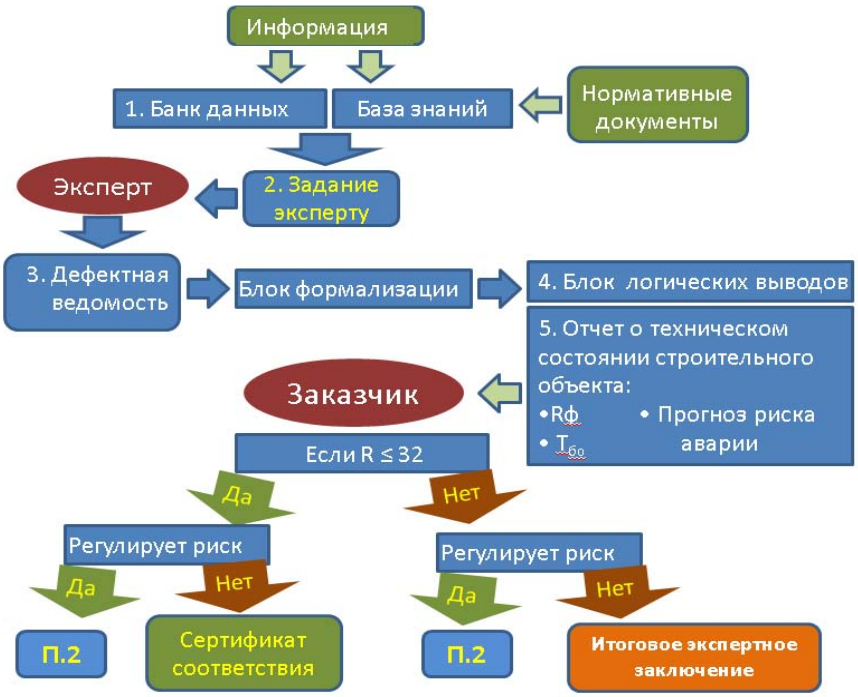


Рис. 2. Схема проведения процедуры обследования
с последующей выдачей сертификата

Регулирование риска аварии – это основа обеспечения конструкционной безопасности здания. Его главный принцип: расследование причин недостаточного уровня конструкционной безопасности объекта и построение на основе этого расследования оптимальной тактики и стратегии производства работ по снижению риска аварии. Основным способом снижения риска аварии является ликвидация критических дефектов в реально существующих конструкциях. Если ликвидировать дефекты в конструкции

не удается по техническим причинам или экономическим соображениям, то следует применить дублер-конструкцию, заменяющую и исполняющую функции существующей конструкции в составе несущего каркаса объекта. При этом любое техническое решение по снижению или поглощению риска аварии конкретного объекта должно в обязательном порядке пройти две стадии: расчетную и проектную. Обязательным этапом регулирования уровня конструктивной безопасности является прогноз ожидаемой ситуации риска аварии объекта после завершения ремонтно-восстановительных работ. Такой прогноз позволяет, убедиться в правильности принятых технических решений. Таким образом, после исправления дефектов необходимо внести изменения в расчеты.

После получения сертификата строительный объект принимается на страхование. Нетто-тариф определяется в зависимости от фактической величины риска аварии страхуемого здания.

В течение всего срока страхования со стороны страховой организации ведется мониторинг технического состояния застрахованного объекта в соответствии с нормами. Данный мониторинг, а также контроль качества эксплуатации строительного объекта осуществляют эксперты-сюрвейеры. Сюрвейер – инспектор страховщика, осуществляющий осмотр строительного объекта, принимаемого на страхование, и ведущий технический надзор за застрахованным объектом. По заключению сюрвейера страховщик принимает решение о заключении договора страхования. Группа экспертов-сюрвейеров объединена единой службой мониторинга. По результатам проведения контрольных мероприятий служба мониторинга предоставляет страховой компании отчет, включающий:

1. Сведения о наличии (появлении новых) дефектов в несущих конструкциях и их влиянии на риск аварии здания (сооружения).

2. Заключение о качестве эксплуатации строительного объекта.

3. Заключение о том, есть ли необходимость изменения тарифа и (или) срока страхования застрахованного объекта. В случае необходимости изменений такое заключение должно быть подтверждено расчетами и включать конкретные рекомендации.

При наступлении страхового случая (т.е. произошла авария строительного объекта) причины аварии устанавливаются специальными техническими комиссиями, доклад которым должен готовить эксперт-сюрвейер. Наличие в архиве службы мониторинга таких документов, как: отчеты о результатах проведения сертификационных испытаний, требования допусков к работам, журналы производства работ, результаты экспертиз и отчёты службы мониторинга, общий и детальный анализ последствий аварии дадут возможность выявить её причины. По результатам анализа причин аварии пополняется архив статистических данных и вносятся коррективы в коэффициенты, применяемые для расчета страхового тарифа. Т.к. в России до сих пор не ведется официальный учет случаев поврежде-

ния и обрушения зданий и сооружений, страховая компания, осуществляющая страхование строительных объектов на случай аварии, должна самостоятельно (с помощью экспертов-сюрвейеров) собирать доскональные сведения о любом из таких происшествий.

Таким образом, страховая компания после того, как взяла на себя финансовый риск за последствия возможной аварии, ни за что не допустит наступления страхового случая. Это значит, что специальные экспертные службы компании будут постоянно контролировать состояние застрахованного объекта и своевременно инициировать устранение критических дефектов в несущих конструкциях. В таких условиях страхование становится действительно мощным и эффективным механизмом предупреждения аварий за счет вынужденного стремления застройщиков и эксплуатирующих организаций повышать безопасность и качество строительства.

Библиографический список

1. Мельчаков, А.П. Прогноз, оценка и регулирование риска аварии зданий и сооружений: теория, методология и инженерные приложения: монография / А.П. Мельчаков, Д.В. Чебоксаров. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – 113 с.

2. Казакова, Е.А. Основные положения риск-менеджмента строительного объекта повышенного уровня ответственности / Е.А. Казакова // Наука ЮУрГУ [Электронный ресурс]: материалы 66-й научной конференции. Секции технических наук. – Электрон. текст. дан. (17,6 Мб). – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014.

К содержанию

УДК 692.46

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ «РЕВЕРСНОГО» ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ

Е.Г. Шерстобитова

В статье описывается порядок создания объекта недвижимости в соответствии с действующими нормативными документами, вводится понятие «реверсного» проектирования, а также его нормативно-правовые аспекты.

Ключевые слова: реверсное проектирование.

В настоящее время проектная документация и процесс проектирования играют важную роль в процессе создания зданий и сооружений. Это связано, в большей степени, с тем, что перечень норм и правил в сфере строительства обязательных к применению, довольно мал (Постановление Правительства РФ от 26 декабря 2014 года № 1521) и не охватывает все необ-

ходимые для обеспечения безопасности здания аспекты. В связи с этим в момент строительства проектная документация считается главным основанием для проведения работ и обязательным для соблюдения лицами, участвующими в строительстве. В соответствии со п.4 ст.48 Градостроительного Кодекса Российской Федерации (*далее* – ГрК РФ) виды работ по подготовке проектной документации, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства, должны выполняться только индивидуальными предпринимателями или юридическими лицами, имеющими выданные саморегулируемой организацией свидетельства о допуске к таким видам работ.

Основным документом, регламентирующим ведение строительной деятельности, является Градостроительный кодекс Российской Федерации (ГрК РФ). В соответствии со ст.4 ГрК РФ законодательство о градостроительной деятельности регулирует отношения по территориальному планированию, градостроительному зонированию, планировке территории, архитектурно-строительному проектированию, отношения по строительству объектов капитального строительства, их реконструкции, капитальному ремонту, а также по эксплуатации зданий, сооружений.

Если рассмотреть весь процесс создания объекта недвижимости, то можно понять, что от идеи до сдачи объекта капитального строительства в эксплуатацию может пройти значительный промежуток времени, исчисляемый годами. Желание сократить сроки строительства в виду не стабильной экономики, многие решаются на нарушение некоторых процедур, предусмотренных законодательством РФ в сфере проектирования и строительства объектов капитального строительства, что чаще всего приводит к трудностям при сдаче объекта в эксплуатацию и оформлении его как объекта недвижимости.

К настоящему моменту времени, в связи с внесением больших изменений в законодательство РФ в сферах градостроительства, строительства, пожарной безопасности, в связи с усложнением процедур выделения земельных участков под строительство, оформления разрешения на строительство, прохождения государственной экспертизы проектной документации, получения разрешения на ввод объекта в эксплуатацию, накопилось множество объектов капитального строительства не являющихся объектами недвижимости, т.е. не оформленных должных образом, но в то же время эксплуатируемых по своему назначению. В соответствии со ст. 222 Гражданского кодекса РФ такие объекты считаются самовольной постройкой и подлежат сносу (по решению суда). И здесь появляется необходимость поиска правильного, законного и желательно быстрого и не слишком затратного решения проблемы введения объекта капитального строительства в эксплуатацию.

Для того чтобы разобраться с этой задачей рассмотрим весь путь создания объекта недвижимости:

– Получение земельного участка под строительство. Порядок оформления земельного участка в собственность или в аренду для строительства объектов капитального строительства различных назначений обозначено в Главе 5 ГрК РФ.

– Инженерные изыскания, выполняемые в соответствии со ст. 47 ГрК РФ.

– Архитектурно-строительное проектирование. Состав и порядок выполнения проектной документации определяется требованиями ст. 48 ГрК РФ.

– Экспертиза проектной документации и результатов инженерных изысканий проводится в соответствии со ст. 49 ГрК РФ в зависимости от параметров объекта капитального строительства.

– Получение разрешения на строительство. Процедура и уполномоченные органы исполнительной власти на выдачу таких разрешений обозначены в ст. 51 ГрК РФ.

– Осуществление строительства. Ст. 52 ГрК РФ определяет ответственные лица за ведение строительства и сопутствующей документации, а также отношения между ними.

– Строительный контроль, осуществляемый в процессе строительства в соответствии со ст. 53 ГрК РФ.

– Государственный строительный надзор, так же осуществляемый в процессе строительства в соответствии со ст. 54 ГрК РФ, необходимость которого обусловлено параметрами здания или сооружения – ст. 49 ГрК РФ.

– Получение разрешения на ввод в эксплуатацию. Процедура и уполномоченные органы обозначены ст. 55 ГрК РФ.

– Регистрация объекта капитального строительства и оформление его в собственность позволяет классифицировать объект капитального строительства как объект недвижимости.

Самой трудоемкой, после самого процесса строительства конечно, и поэтому очень затратной частью является проектирование, так как сопровождает все этапы подготовки к строительству объекта и необходимо в процессе строительства для контроля соответствия строящегося объекта действующим нормам и правилам в сфере строительства, а также при необходимости внесения изменений. Многие, стараясь сэкономить, часто опускают эту часть, считая проект не особо важным документом.

Проанализируем необходимость проектной документации в обратном порядке создания объекта недвижимости – от ввода в эксплуатацию до оформления земельного участка под строительство:

Для получения разрешения на ввод в эксплуатацию сам проект не нужен, но необходимы документы, подтверждающие соответствие построенного объекта капитального строительства требованиям проектной документации (п. 3 ст. 55 ГрК РФ), так же в перечне присутствует разрешение на строительство и заключение государственного строительного надзора.

При необходимости осуществления государственного строительного надзора, в уполномоченный государственный орган исполнительной власти предоставляется проект в полном объеме (п. 5 ст. 52 ГрК РФ). Эта необходимость определяется ст. 49 ГрК РФ.

В соответствии с п. 3 и п. 6 ст. 52 ГрК РФ лицо, осуществляющее строительство обязано обеспечивать соблюдение требований проектной документации. Также в процессе строительства необходимо ведение строительного контроля, который подразумевает проверку соответствия выполняемых работ проектной документации (ст. 53 ГрК РФ).

Для получения разрешения на строительство к заявлению необходимо приложить материалы, содержащиеся в проектной документации по перечню, представленному в п. 7 ст. 51 ГрК РФ, а также положительное заключение экспертизы, если здание или сооружение соответствует параметрам, указанным в ст. 49 ГрК РФ, при которых необходимо прохождение экспертизы проектной документации.

Для экспертизы проектной документации предоставляются разделы в соответствии с перечнем, определенным п. 12, 13 ст. 48 ГрК РФ.

Для осуществления проектных работ необходимо иметь результаты инженерных изысканий, технические условия для обеспечения здания или сооружения необходимыми коммуникациями, что невозможно без определения месторасположения объекта капитального строительства.

Следовательно, на этапе «идеи» необходимо получить земельный участок (в собственность или в аренду) под строительство объекта капитального строительства, что возможно только через аукцион, для проведения которого необходим проект планировки территории. Вот здесь и начинается длинный путь проектных работ.

Из проведенного анализа следует, что отсутствие проектной документации на любом из этапов не допускается и может повлечь за собой наложение административных взысканий на лица, ответственные за нарушение законодательства РФ, а также трудности в оформлении необходимых документов для ввода объекта в эксплуатацию.

Проблема состоит в том, что же делать с уже построенными самовольно и в большинстве случаев эксплуатируемыми объектами капитального строительства. Так как проект все-таки необходим, возможно применение «реверсного» проектирования, т.е. создание проекта по уже существующим конструкциям частично или полностью возведенного здания. При этом нельзя забывать о том, что проект, как и само здание, должен соответствовать действующим техническим регламентам и нормативно правовым актам в сфере строительства, соблюдение которых обязательно для обеспечения безопасности здания или сооружения. Также для осуществления «реверсного» проектирования в большинстве случаев необходимо проведение обследования возведенных конструкций, а иногда и инженер-

ных изысканий. Решение о необходимости обследования технического состояния и мониторинга здания, а также объеме таких работ, должны принимать проектировщик и заказчик совместно. В то же время бывают случаи, когда органы исполнительной власти, уполномоченные осуществлять государственный строительный надзор, выдают предписание о проведении обследования тех или иных конструкций, и тогда обследование становится обязательным в объеме, определенном в предписании. Еще не стоит забывать, что органы исполнительной власти при проведении государственного строительного надзора, наделены полномочиями привлекать к административной ответственности лиц, нарушивших законодательство РФ в сфере строительства, проектирования, выполнения инженерных изысканий, энергосбережения и других в соответствии со ст. 23.56 и 28.3 КоАП РФ, что повлечет за собой дополнительные затраты.

Учитывая выше перечисленные факторы, можно сделать следующие выводы:

– Если существует построенное здание, которое необходимо ввести в эксплуатацию, но нет никаких документов, подтверждающих законность данного строительства, заказчик должен сам задуматься о применении «реверсного» проектирования. И тогда процедуру оформления можно начать с п. 2 перечня, описанного в данной статье. С дополнительными затратами заказчик столкнется при обращении в органы государственного строительного надзора, так как при проведении первой выездной проверки будет установлен факт уже выполненных работ, что нарушает процедуру проведения государственного строительного надзора, который осуществляется в процессе строительства. В зависимости от ситуации и полноты представленной документации, на заказчика и другие лица, участвующие в строительстве, могут быть наложены штрафные санкции в пределах компетенции органа государственного строительного надзора.

– Если здание построено и есть разрешение на строительство, прохождение дальнейшей процедуры немного облегчается, но избежать этапа проектирования все равно не удастся, так как объекты капитального строительства, обозначенные ст. 49 ГрК РФ, должны сопровождаться прохождением экспертизы проектной документации и осуществлением государственного строительного надзора.

Выше описаны более распространенные случаи самовольного строительства. Каждый отдельный случай будет иметь индивидуальный характер и свои особенности, следовательно, решения могут быть разными.

Библиографический список

1. Градостроительный кодекс РФ // СПС «Гарант».
2. Кодекс об административных правонарушениях РФ // СПС «Гарант».

К содержанию

УДК 69.001.5

3D ПРИНТЕРЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А.А. Власов

Рассмотрены вопросы возможности применения новых подходов к строительству на основе инновационных технологий с использованием объемной печати и 3D принтеров.

Ключевые слова: строительство, информационные технологии, 3D принтеры.

Современные технологии в строительстве по скорости своего развития, изменения не уступают информационным и компьютерным технологиям.

Современное строительство – это комплекс сложных технологических и организационных процессов, который характеризуется высоким профессионализмом его участников, сроками и качеством выполняемых работ, появлением новых конструктивно-технологических схем, усложнением применяемой техники, новыми материалами, растущими требованиями к качеству и срокам выполнения строительно-монтажных работ.

В настоящее время строительная отрасль переживает настоящий бум. Этот экономический подъем отрасли был бы невозможен без использования новых технологий строительства, инноваций в секторе материалов и строительной техники. Рассматривая вопросы инновационных решений в секторе строительства, хотелось бы отметить одно из перспективных направлений в современных технологиях – это применение 3D-принтеров. 3D-принтер – устройство, использующее метод послойного создания физического объекта по цифровой 3D-модели. 3D-печать может осуществляться разными способами и с использованием различных материалов, но в основе любого из них лежит принцип послойного создания (выращивания) твёрдого объекта.

На сегодняшний день существует уже очень много концепций и реальных инновационных проектов с 3D- принтерами в различных отраслях. Но, к сожалению, в строительстве применение 3D-принтеров ново и мало изучено.

На самом деле идея довольно таки проста и понятна. Например, на строительную площадку устанавливается 3D-принтер, производятся все необходимые измерения, чтобы заложить отправную точку для дальнейшего строительства. Загружается заранее разработанная программа со всеми координатами и командами для 3D-принтера. После этого производится загрузка и непрерывное обеспечение машины необходимым строительным материалом. Далее 3D принтер автоматически будет «печатать» фундамент, а затем стены и т.д.

На сегодняшний день существует два направления 3D-печати зданий: одно направление «американское» – когда печать производится послойно непосредственно на месте строительства будущего здания, то есть возведение здания производится контурно; и второе направление – «китайское» – когда производится печать отдельных вертикальных блоков в горизонтальном положении непосредственно на участке строительства, которые в дальнейшем при помощи монтажных механизмов выставляются в проектное положение.

К примеру, фирма Winsun из Китая при помощи 3D-принтера построила небольшой поселок из 10 домов, «напечатанных» из бетонной смеси, сырьем для которого послужил переработанный строительный и фабричный мусор, и стеклянного волокна. При этом скорость строительства может удивить каждого человека: 10 небольших домиков удалось напечатать всего лишь за сутки. Принтер сделал все детали дома, а на месте строители собрали отдельные блоки в одно целое. При этом стоимость каждого жилища составила всего $4,800 [1, 2].

WinSun собирается открыть по всему Китаю 100 перерабатывающих фабрик, которые будут превращать мусор в стройматериал для своих принтеров. Таким образом, они сократят расходы строительных фирм Китая примерно вдвое. Если распечатанные дома получат популярность, эта технология может решить проблему жилья для бедных [1].

Если же рассматривать оба направления, «американское» и «китайское», по отдельности, то мы получим ряд достоинств и недостатков их относительно друг друга.

Что касается «американского» направления, то недостатками их технологии является наличие бригады строителей, которые будут монтировать перемычки над проемами и перекрытия, покрытие и кровлю. А об устройстве какого-либо армирования, необходимого для восприятия растягивающих усилий в конструкциях, ведь бетон не работает на растяжение, речи вообще не идет. Отсюда и возникает вопрос, как обеспечить автоматизированный монтаж арматуры в процессе автоматизированного строительства дома с использованием 3D-принтера с непрерывной подачей и укладкой арматуры.

В «китайском» же направлении присутствует армирование в виде стекловолокна, но опять же, армирование производится только в одной плоскости. Да и строительство производится отдельными блоками, рядом с местом строительства или в заводских условиях. Т.е. опять же возникает необходимость в строительной бригаде, которая будет монтировать готовые блоки в проектное положение, вот только трудозатраты их значительно ниже, чем в «американском» направлении.

И в заключение хотелось бы отметить, что единственной полностью не автоматизированной сферой производства является строительство.

Без участия человека невозможен ни один этап строительства, что замедляет общий процесс, приводит большим трудозатратам. Технология использования строительного 3D-принтера должна в корне изменить ситуацию.

Внедрение в отрасль строительных 3D-принтеров – это путь к снижению стоимости объектов строительства, экономия используемых материалов и уменьшение числа привлеченных рабочих рук. Таким образом, при строительстве с использованием строительных 3D-принтеров, человеческий фактор сведется к минимуму и улучшится качество строительной продукции.

Библиографический список

1. URL: http://www.km.ru/nedvizhimost/2014/04/21/stroitelstvo-i-remont/737928-v-kitae-izobreli-3d-printer-dlya-stroitelstva-z/.
2. URL: http://mastery-of-building.org/kitajcy-napechatali-dom-na-gigantskom-3d-printere/.

К содержанию

УДК 691.3

ФИБРОБЕТОН

С.И. Суховая

Фибробетон – это новое поколение современных качественных армированных бетонов. Новое поколение бетонов и различных растворов с применением всевозможных фиброволокон.

Ключевые слова: фибробетон, фиброволокно, новые материалы.

Сегодня в строительстве и стало частым применение такого строительного материала как фибробетон. Фибробетон, это определенный вид бетона, в котором по всей его структуре распределяются специальные металлические вкрапления, которые имеют названия как фиброволокна.

Фибробетон своим появлением обязан быстроразвивающимся технологиям строительства, которые должны отвечать высоким требованиям современности, в частности, к строительным материалам. А одним из наиболее перспективных вариантов улучшения качества материалов, является их дополнение новыми связующими компонентами, например крепкими волокнами, которые делают исходный материал прочнее. Армированный фибрами бетон в несколько раз превосходит качественные характеристики обычного бетона.

В зависимости от того, из какого материала изготовлены фибры, армированный бетон делится на несколько видов. А наиболее часто они производятся из таких материалов:

– сталь;
– синтетические материалы;
– стекловолокно.

Фиброволокна (сталь, синтетические материалы)

Свойства фибробетона как композиционного материала определяются свойствами составляющих его компонентов. Основные характеристики материалов, используемых в настоящее время для изготовления фибры, приведены в таблице.

Сопротивление различным воздействиям у фибробетонов в несколько раз выше, чем у обычного бетона. Главными показателями свойств фибробетонов можно считать следующие:

- прочность при сжатии, осевом растяжении, растяжении при изгибе;
- начальный модуль деформаций;
- морозостойкость;
- водонепроницаемость;
- истираемость;
- ударную прочность (вязкость).

Важнейшая характеристика фибробетона – прочность на растяжение – является не только прямой характеристикой материала, но и косвенной, и отражает его сопротивление другим воздействиям, а также долговечность.

Другая важная *характеристика фибробетона* – ударная прочность (вязкость разрушения), которая в 3–5 раз превышает ударную прочность обычного бетона.

Экспериментально-теоретические исследования физико-механических свойств фибробетонов и опыт их применения позволили выявить эффективную номенклатуру конструкций, сооружений и изделий из них.

Установлены следующие области рационального применения фибробетонов:

- *монолитные конструкции и сооружения* – автомобильные дороги, перекладка покрытия, промышленные полы, выравнивающие полы, мостовые настилы, ирригационные каналы, взрыво- и взломоустойчивые сооружения, водоотбойные дамбы, огнезащитная штукатурка, емкости для воды и других жидкостей, обделки тоннелей, пространственные покрытия и сооружения, оборонные сооружения, ремонт монолитных конструкций полов, дорог и др.;
- *сборные элементы и конструкции* – железнодорожные шпалы, трубопроводы, склепы, балки, ступени, стеновые панели, кровельные панели и черепица, модули плавающих доков, морские сооружения, взрыво- и взломоустойчивые конструкции, плиты аэродромных, дорожных, тротуарных покрытий и креплений каналов, карнизные элементы мостов, сваи, шпунт, обогревательные элементы, элементы пространственных покрытий и сооружений, уличная фурнитура.

Практически все вышеуказанные конструкции из фибробетона широко применяются за рубежом, имеется положительный опыт их эффективного использования и в отечественном строительстве. Конструкции могут изготовляться как с фибровым, так и с комбинированным армированием, когда имеется фибра и стержневая или проволочная арматура.

Низкое сопротивление растяжению, которое характерно для каменных материалов – наиболее существенный недостаток, снижающий эффективность использования бетона в конструкциях. Ввиду сложной макроструктуры сопротивление растяжению – определяющий фактор и при других видах напряженного состояния бетона.

Достигаемое *фибровым армированием* увеличение отношения пределов прочности при растяжении и сжатии (Rbt/Rc) представляет собой средство повышения эффективности бетона как конструкционного материала. Учитывая относительно высокую стоимость и дефицитность волокон, этот показатель решит вопрос о конкурентоспособности фибробетонов по сравнению с другими видами армированных бетонов. Имеются мнения, что для этого потребуется достижение величины Rbt/Rc = 0,5–0,6. Практически такое соотношение прочностей возможно только при дисперсном *фибровом армировании* бетона-матрицы.

Интегральные *свойства фибробетона*, как и любого композита, обусловливаются свойствами его компонентов (фибры и бетона-матрицы), а также наличием и степенью их совместной работы. В *фибробетоне* такая работа обеспечивается за счет сцепления и анкеровки фибры в бетоне.

Таблица

Основные характеристики волокон для армирования композитов

Тип волокна	Плотность p, кг/см^3	Прочность на растяжение R_t, МПа	Удельная прочность R/p, 10^6 см	Модуль упругости при растяжении E, МПа	Удельный модуль упругости E/p, 10^8 см
Металлы:					
алюминий	0,00269	63,3	2,36	74 520	2,733
титан	0,00471	196,8	4,18	117 400	2,493
сталь	0,00781	421,8	5,4	210 000	2,689
бериллий	0,00186	175,8	9,47	309 300	16,666
Неорганические вещества:					
стекло E	0,00255	3515	13,8	73 820	2,897
стекло S	0,00249	4920	19,74	87 890	3,525
углерод	0,00175	250–350	14,3–20	200 000–250 000	11,4–14,3
высокопрочный углерод	0,00195	200–250	10,3–13	350 000 – 380 000	17,9–19,5
бор	0,00258	351,5	13,65	421 800	16,374
Органические вещества:					
квебра (PRD49)	0,002	170–225	8,5–11,3	13 300	6,65

Для изготовления фибры используются выработавшие технический ресурс или некондиционные, специально очищаемые, канаты с диаметром проволок от 0,2 мм до 1,0 мм.

Фибра, фрезерованная из сляба стали марок СтЗ ПС,СтЗ СП и др., производится в Санкт-Петербурге, Челябинске и Кургане. Эта фибра имеет прочность 600–900 МПа, длину 25–32 мм трапециевидное сечение шириной до 3 мм и толщиной 0,2–0,6 мм.

Фибра, резанная из тонкого холоднокатаного листа, в массовом порядке выпускается в г. Магнитогорске. Эта фибра имеет значительно более широкий сортамент: толщину от 0,3 до 1,0 мм; ширину от 0,4х0,6 мм и длину от 30 до 40 мм. Прочность этой фибры – от 480 до 600 МПа.

Другим видом волокон для фибрового армирования бетонов являются стеклянные волокна. Для дисперсного армирования бетона используют, как правило, специальное щелочестойкое стекловолокно, так как обычное алюмоборосиликатное (бесщелочное) стекловолокно быстро корродирует в щелочной среде твердеющего бетона и требует специальной защиты.

Фибра из синтетических волокон наиболее дешева и химстойка. Но она имеет низкий модуль упругости и высокую предельную деформативность, что предопределяет деформативность фибробетона, особенно после трещинообразования. Тем не менее, она может эффективно использоваться

для улучшения реологических свойств фибробетонных смесей, структурообразования бетона-матрицы на стадии твердения и повышения его долговечности. Наиболее эффективными с позиций прочности и долговечности фибробетона, в т.ч. при экстремальных химических, температурных и пожарных воздействиях, являются углеродные волокна. Но фибра из них пока слишком дорога, а снижение ее стоимости – вопрос будущего.

В настоящее время имеются практически все возможности для создания высокопрочных фибробетонов нового поколения на основе отечественных материалов. Наличие современных эффективных видов фибры позволяет упростить ее введение и перемешивание в бетонной смеси, что, в свою очередь, дает возможность в большей степени использовать технологическое оборудование, применяемое для обычных бетонов. При этом могут быть получены и использованы фибробетонные смеси высокой подвижности.

Модифицированные высокопрочные мелкозернистые бетоны, обладая сверхнизкой проницаемостью (W20), обеспечивают высокую коррозионную стойкость фибры и долговечность фибробетона, а также ускоренное нарастание прочности. Последнее особенно важно для монолитного строительства. Учитывая сложившиеся условия и мировой опыт, целесообразно ускорить разработки в области технологии и расчета фибробетонов, более широко применять фибробетонные конструкции при проектировании объектов строительства.

Библиографический список

1. URL: http://http://www.i-stroy.ru/docu/technology/fibrobeton_osobennosti_i_perspektivyi_primeneniy/591.html.
2. URL: http://flevel.ru/article/article_fiber_reinforced_concrete/.
3. URL: http://alfaspk.ru/fibrobeton-sposob-primeneniya-fibrobetona.

К содержанию

УДК 69.009

ПРОБЛЕМЫ В ОБЛАСТИ НЕГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ И РЕЗУЛЬТАТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

Н.В. Галашев

В 2011 году № 337-ФЗ уравнял юридический статус государственной и негосударственной экспертиз проектной документации и результатов инженерных изысканий для повышения безопасности и качества проектов, но привел к прямо противоположному явлению.

Ключевые слова: негосударственная экспертиза, ошибки проектирования.

Формирование института негосударственной экспертизы началось в 2008 году с постановления Правительства РФ № 1070 «О негосударственной экспертизе проектной документации и результатов инженерных изысканий». На этапе становления заключение негосударственной экспертизы не имело юридической силы для зданий и сооружений, указанных в ст. 49 п. 2 Градостроительного кодекса: жилые здания свыше трех этажей, свыше 1500 кв.м и т.д. Для таких зданий все еще требовалась исключительно государственная экспертиза проектной документации. Фактически, негосударственная экспертиза была создана для сознательных застройщиков, желающих иметь качественный проект во избежание дальнейших трудностей на строительной площадке.

В 2011году Федеральный закон от 28.11.2011 N 337-ФЗ «О внесении изменений в Градостроительный кодекс РФ и отдельные законодательные акты РФ» уравнял юридический статус организаций государственной и негосударственной экспертиз.

Часть 1. «Хотели как лучше…»

Создание негосударственной экспертизы было вызвано, в первую очередь, желанием разрушить монополию государственной экспертизы со всеми вытекающими проблемами. Ниже приведено мнение Министра регионального развития РФ Виктора Басаргина [3], которое на тот момент в = полной мере обосновывало принятие ФЗ № 337: «Меняется принцип взаимодействия между экспертной и проектной организацией с государственно-контрольного на партнерский, что повышает безопасность и качество проекта. Механизм страхования негосударственной экспертизы существенным образом повысит вероятность возмещения материального ущерба третьим лицам в случае некачественного проектирования, а также обеспечит контроль деятельности негосударственной экспертизы со стороны страховщиков».

Действительно, появилась возможность выбора экспертных организаций, сократились сроки проведения экспертизы, появилась возможность проведения консультаций между экспертом и проектировщиком на стадии любого из разделов проекта.

Часть 2. «… получилось как всегда»

На деле, в отдельных случаях, мы получили обычные рыночные отношения развивающихся стран третьего мира, принцип которых основан на увеличении объёма выпускаемой продукции за счет снижения качества.

Ниже приведено два примера, которые свидетельствуют о том, что эксперты вообще не интересуются содержанием проверяемых проектов.

Пример № 1. Здание торгово-развлекательного комплекса, железобетонный сборно-монолитный каркас по серии МКТ. Несущая конструкция покрытия – металлические прогоны по металлическим односкатным треугольным фермам. Строительный объём около 20 тыс. куб.м.

Нарушения, **не** выявленные экспертами при проведении негосударственной экспертизы проекта:

– конструкция вертикальных связей по колоннам приведена на рис. 1. Работоспособность этих связей не требует комментариев. Можно предположить, что лестничная клетка является ядром жесткости, но это не так. Связь между сборно-монолитным диском перекрытия и лестничной клеткой проектом не предусмотрена, а качество каменной кладки никак не соответствует строительным нормам [1];

– запроектированная система связей по фермам покрытия не обеспечивает геометрическую неизменяемость строительных конструкций.

Рис. 1. Конструкция вертикальных связей
по колоннам торгово-развлекательного комплекса

Помимо отмеченного, в ходе обследования здания, на строительной площадке было выявлено порядка 40 замечаний, из которых не менее 50 % были допущены из-за ошибок проектной организации, которые, в свою очередь, могли быть устранены на стадии экспертизы.

Пример № 2. Промышленное здание, четыре этажа, металлический каркас, перекрытия монолитные по профилированному листу. Строительный объём около 5,5 тыс. куб.м.

Нарушения, **не** выявленные экспертами при проведении негосударственной экспертизы проекта:

– конструктор, при расчете несущей способности колонн, фундаментов и оснований фундаментов, собрал нагрузки с трех этажей, вместо четырех! Не сложно подсчитать, что исключение одного из четырех этажей – это исключение 25 % от общей нагрузки;

– почти все узлы, представленные в проекте, принципиально отличались от тех, что были рассчитаны конструктором. К примеру: на рис. 2 приведена конструкция базы колонны, принятая при расчёте, которая может воспринимать изгибающий момент в плоскости рамы и условно называется «жесткое» соединение; на рис. 3 приведена конструкция базы колонны, принятая в разделе КМ проекта и выполненная по факту. Поверочный расчет показал, что несущая способность проектной базы колонны не может воспринимать расчетный изгибающий момент, что говорит о «шарнирном» соединении колонны и фундамента. Таким образом, принципиально меняется расчетная схема рамы, изменяются усилия в узлах и элементах.

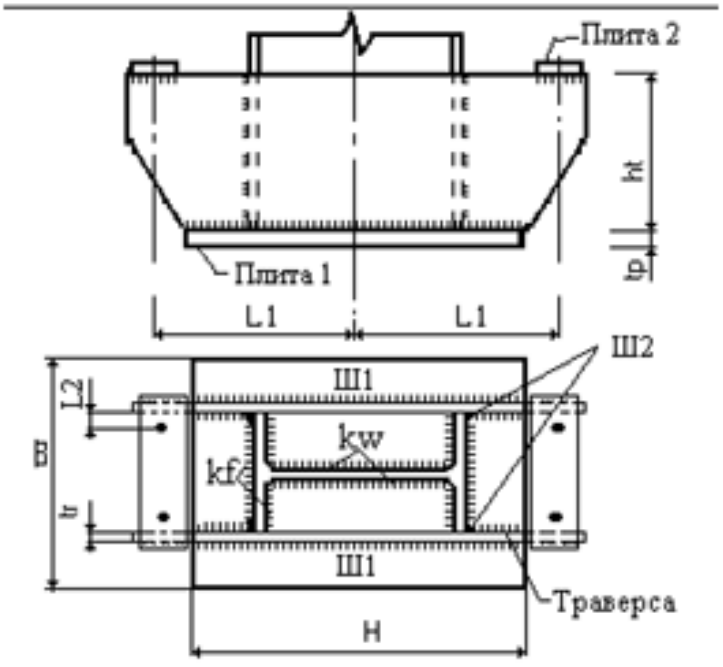


Рис. 2. Конструкция базы колонны принятая в расчёте

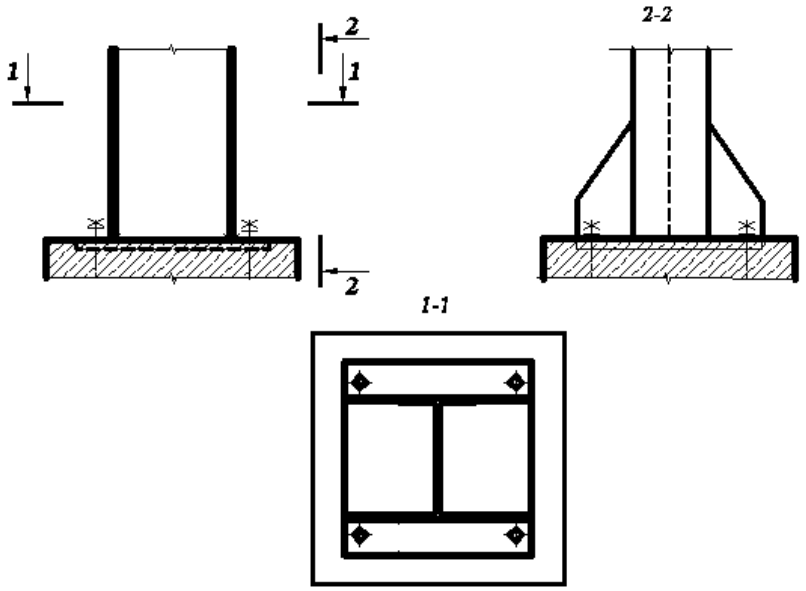


Рис. 3. Конструкция базы колонны,
принятая в разделе КМ проекта и выполненная по факту

Подобные примеры в моей практике – это, скорее, норма, чем редкое исключение.

Часть 3. Борьба с бедой, или как властьимущие тянут время

Внимательно отследив деятельность Комитета по Негосударственной Экспертизе, созданного Российским Союзом Строителей, за 2013–2014 года, в том числе все форумы, которые посещали представители этого комитета, можно отметить три главных направления по борьбе с проблемами в области негосударственной экспертизы:

– жесткий контроль деятельности экспертизных организаций;

– повышение требований к квалификации экспертов;

– открытый для общественности реестр выдаваемых заключений.

Жесткий контроль – это совершенно очевидное и необходимое мероприятие, требующее скорейшего осуществления. В условиях российских реалий отсутствие надзора приводит к проектам, примеры которых приведены выше.

Но что мы имеем. За полтора года работы появился, например, реестр выданных заключений [2]. Считается, что гласность повышает качество выдаваемых заключений. Но какой смысл в публикации результата экспертизы, если нет доступа к полному пакету проектной документации? Стоит заметить, что это направление не спонтанная идея, а регулярно обсуждаемая на протяжении всего 2014 года, и впервые прозвучавшая 19 ноября 2013 года в Доме Правительства Москвы в рамках Строительной Ассамблеи за круглым столом «Безопасность и качество. Экспертиза проектной документации объектов капитального строительства и результатов инженерных изысканий».

Но как же «жесткий контроль»?

Так, например, в сентябре 2014 года в г. Омске состоялся «III Форум саморегулируемых организаций проектировщиков и экспертных организаций», в резолюции которого вновь прозвучали только общие фразы, в том числе: «целесообразность ужесточения требований к организациям экспертизы» [4]. Эту фразу можно считать единственным итогом работы Комитета по Негосударственной Экспертизе за 2013–2014 год.

Заключение

В начале статьи отмечено, что с 2008 по 2011 год негосударственная экспертиза действительно выполняла проверку качества проекта, работала именно так, как было задумано. С 2011 года, к сожалению, некоторые организации, осуществляющие негосударственную экспертизу, являются лазейкой, через которую за определенное денежное вознаграждение можно обойти государственную экспертизу проекта.

Напрашивается вывод о работе властьимущих, которая направлена исключительно на сохранение существующего распорядка.

Поражает и безответственный, недальновидный подход владельцев будущих зданий. Мы все понимаем, что удешевление проектирования приводит к несоизмеримому удорожанию строительства. Но при этом задумываемся об экономии на каждом этапе отдельно, а не по итогам работы в целом.

Библиографический список

1. СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87».

2. Приказ Министерства регионального развития Российской Федерации от 16 марта 2012 г. № 102 «Об утверждении Порядка ведения реестра лиц, аттестованных на право подготовки заключений экспертизы проектной документации и (или) экспертизы результатов инженерных изысканий» // СПС «Гарант».

3. XXXII заседание Межправительственного Совета по сотрудничеству в строительной деятельности стран СНГ в г. Ереване. – URL: http://www.stroy-puls.ru/news/detail.php?ID=51458/

4. III Форум саморегулируемых организаций проектировщиков и экспертных организаций «Резолюция» Омск, 18 сентября 2014 года. – URL: http://omorrss.ru/documents/news/07-09/Резолюция%203%20Форума.doc.

К содержанию

УДК 69.007

О РАЦИОНАЛЬНОМ СООТНОШЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ-РУКОВОДИТЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТАХ

В.Е. Кошкин

Рассмотрено развитие управления инженерной деятельностью. Показаны некоторые проблемы и преимущества реализации методов управления проектно-исследовательской работой на основе накопленного опыта.

Ключевые слова: управление; техническое творчество; менеджмент; проектно-исследовательские работы.

«Поднимаясь всё выше и выше по служебной лестнице, вы видите, что количество важных постов становится всё меньше»

С. Норткот Паркинсон

Инженерный труд отличается богатым творческим содержанием, большим удельным весом познавательных и нестандартных операций. При решении поставленных перед коллективом задач доля творческих начал в труде отдельных членов коллектива будет неодинаковой.

Одной из самых многочисленных категорий ведущих специалистов проектной организации являются руководители, начиная с начальников групп и бюро и кончая генеральным или главным конструктором.

Очевидно, что университеты, занимающиеся подготовкой инженеров – специалистов для различных отраслей народного хозяйства (машиностроение, металлургия, строительство и т.п.), имеют дело, в том числе, и с потенциальными руководителями различного уровня. Ведь и будущий президент компании, и директор крупного государственного предприятия начинают с первой ступени служебной лестницы.

Так кем же является инженер – техническим специалистом или управляющим? Вопрос этот имеет большое практическое значение как в деле профилирования подготовки инженеров, так и в определении их функций на предприятии.

1. <u>Определение творчества.</u> При сравнении определений творчества, имеющихся в различных источниках, выясняется, что единого определения творчества не существует, и это вполне естественно. Ведь процесс творчества настолько многогранен, что в различные времена самым различным специалистам – философам, психологам, медикам и т.д. шаг за шагом пришлось подходить к пониманию сущности творчества.

Вот что по этому поводу трактует энциклопедия [1]: «Творчество – деятельность, порождающая нечто качественно новое, никогда ранее не бывшее».

В этом определении за порожденным «нечто» признается новизна, но не указывается на его необходимость, что, на наш взгляд, не позволяет в полной мере раскрыть суть творчества.

В книге А. и М. Уилсонов «Управление и творчество при проектировании систем» [2] даётся следующее определение творчества: «Творчество – это процесс, в результате которого создаются новые необходимые комбинации, состоящие из идей, видов энергии, единиц информации, объектов или совокупности двух–трёх указанных элементов».

В этом определении выделены две стороны творчества – его новизна и необходимость, причём ключевой считается необходимость, под которой понимается удовлетворение каким-либо требованиям.

Таким образом, проблема творчества имеет комплексный характер, и ограничение исследования этой проблемы одним или даже несколькими аспектами малопродуктивно. С одной стороны, творчество имеет психологическую природу, в нём важную роль играет интуиция. Но, одновременно. Творчество является и процессом развития научного знания, а потому его нельзя понять без логики.

Луи де Бройль, подчёркивая важную роль в научном творчестве интуиции, разрывающей «жёсткий круг, в который нас заключает дедуктивное рассуждение», вместе с тем отмечает, что интуиция, освобождённая «от оков строгой дедукции – может нас ввести в заблуждение» [9].

В чём же комплексность характера творчества?

Философский аспект творчества – это проблема методологии исследования, истинности знаний, результата творческого мышления.

Логика изучает творчество как систему развивающего знания.

Психология рассматривает процесс творческого мышления отдельного человека и выявляет, как, почему, с помощью какого мыслительного процесса отдельный человек открывает нечто новое.

Физиология исследует процессы, характеризующие деятельность мозга, структуру и функции нервных клеток, принципы и способы организации нейронных сетей и т.д.

Кибернетика рассматривает творческий процесс под углом зрения закономерностей переработки информации.

Педагогику интересует проблема воспитания творческих способностей, воспитания творчески мыслящего человека.

Социология выявляет факторы как стимулирующие, так и тормозящие развитие творческих способностей.

Можно предположить, что процесс творческого мышления складывается из двух этапов логического преобразования информации – формально-логического и диалектического.

Формально-логический этап не даёт ничего принципиально нового относительно исходных данных. Диалектический же этап характеризуется тем, что возврат к старому осуществляется на новой основе, т.е. при возвращении к исходному знанию обнаруживается, что оно содержит в себе элементы нового знания.

Таким образом, принципиально новая идея не выводится лишь на основе одних законов формальной логики из имеющихся знаний и предполагает выход за пределы имевшихся ранее знаний. То есть, процесс творчества совпадает не с формально-логическим этапом переработки информации, а с диалектическим, который включает в себя, как часть, и первый.

2. **Творческий характер инженерного труда.** Слово «инженер» латинского происхождения. Этим словом первоначально называли человека, который управлял военными машинами, позже – гражданских лиц, занятых в строительстве. Со строительством связано и зарождение инженерно-управленческого труда. Кооперированное производство использовало инженерно-технический труд, прежде всего, как организационно-управленческий. Он был необходим для координации всеми органами как частями единого целого. В дальнейшем инженерно-технический труд расширяет сферу своей применимости, появляются функции создания новых машин и механизмов, анализа технологических процессов, лабораторных испытаний и исследований и т.п.

В настоящее время «инженерно-технический труд есть особый вид сложного высококвалифицированного труда, направленного на создание и преобразование и при помощи инженерных методов и средств технических, технологических, экономических, организационных и социальных систем и процессов путём решения инженерных задач» [8].

Поэтому инженер должен знать не только технику и технологию, но и экономику, организацию производства, управление производственным коллективом, самостоятельно использовать инженерные методы при решении задач, используя специальную теоретическую и практическую подготовку, деловые и личностные качества, обладать способностью к изобретательству и творчески подходить к делу.

Как было отмечено, понятие «творчество» не имеет чёткого определения и по-разному интерпретируется различными авторами. Но именно творчество и изобретательность должны быть непременной чертой работников управленческого аппарата.

Таким образом, творческое содержание труда инженера характеризуется выполненными им функциями, технической вооружённостью труда, знаниями и навыками, необходимыми для выполнения данной работы, об-

щеобразовательной и профессиональной подготовкой, соотношением эвристическим моментом труда и монотонных, стандартных трудовых операций. Поэтому доля творчества в труде отдельных инженеров не одинакова, у одних она выше, у других – ниже.

Творческая неравнозначность труда инженерно-технических работников порождает противоречия. В условиях рыночной экономики эти противоречия принимают обострённый характер. Это показали в своей книге А. и М. Уилсоны в той части, где определяются функции и обязанности руководства на каждом этапе творчества [2]: «творческий процесс и управление во многом два совершенно самостоятельных вида деятельности. В идеальном случае эти две роли следовало бы выполнять лицами с различной теоретической подготовкой и практическим опытом. Их интересы разнятся: обычно творческие работники заняты идеями и реальными объектами, а руководители – организацией ресурсов, персонала, денежных средств. Однако для руководителя необходима подготовка и опыт в области исследований и разработок, если он собирается управлять творческой деятельностью. Чтобы как следует выполнять свои обязанности, он должен разбираться в природе творческой деятельности».

Как правило, руководящие кадры черпаются с той самой «первой ступени служебной лестницы». Это обстоятельство приводит к тому, что творческие и управленческие функции инженерного труда концентрируются в деятельности инженеров, т.к. выполнение инженерами узкоспециализированных, отделённых от процессов управления производством функций исполнительского характера обедняет содержание их труда. Специалисты рекомендуют искать выход в ограничении разделения труда.

«Компании не должны слишком усердствовать в организации работы, расчленяя её на бессмысленные задания, которые подавляют действительные способности работников. При существующем сейчас положении… инженер начинает пить, когда обнаруживает, что является лишь винтиком в гигантской машине» [6].

В любом обществе рациональная организация инженерного труда предполагает максимальное развитие творческой инициативы каждого работника. Это достигается учётом творческого содержания инженерных функций, участием всех специалистов (конечно, на разных уровнях) в коллективном обсуждении инженерных проблем, организацией творческих инженерных групп, возможностями должностного роста инженера по мере повышения его квалификации и накопления опыта.

В чём проявляется творческий характер инженерного труда, какие компоненты должны включать в себя творческий комплекс инженера? Вопрос этот является малоисследованным, поэтому представляет определённый интерес. При его исследовании стоит задача – установить структуру реальной деятельности работников. Необходимый для анализа перечень дело-

вых качеств может быть составлен путём изучения аттестационных характеристик инженеров и руководителей групп. В конечном итоге был выделен список из 18 качеств, который служит основой для экспертной оценки степени выраженности того или иного качества. Качества оценивались по семибалльным шкалам, где «7» интерпретировалась как обладание данным качеством в полной мере, а «1» – как отсутствие такого качества [4].

Таблица 1

Статистические характеристики экспертных оценок деловых качеств инженеров и руководителей

	$\bar{x}$	б
Творческий подход к делу	5,1	1,9
Инициативность	5,1	1,8
Оперативность	5,2	1,8
Опыт и знания	5,3	1,9
Самостоятельность	5,4	1,9
Организованность	5,4	1,8
Настойчивость	5,6	1,8
Ответственность	5,9	1,9
Аккуратность	5,9	1,8
Тщательность	5,9	1,8
Умственные способности	6,1	1,7
Усидчивость	6,1	1,8
Работоспособность	6,2	1,9
Трудолюбие	6,2	1,9
Старательность	6,3	1,8
Дисциплинированность	6,4	1,9
Исполнительность	6,5	1,7
Добросовестность	6,5	1,8

Для изучения внутренней взаимосвязи этих качеств была использована процедура факторного анализа, суть которой в том, что сначала производилось взаимная корреляция всех оценок по всем факторам. В результате были получены два фактора, условно названных А и Б.

В факторе А творческие качества получили больше веса, а исполнительские качества – малые веса. В факторе Б они расположились противоположным образом. Поэтому фактор А назовём фактором творчества, а фактор Б – фактором исполнительности.

Творческий труд инженера включает следующие качества:

– самостоятельность;

– творческий подход к делу;

– инициативность;

– умственные способности;
– опыт и знания.

Фактором веса этих качеств в факторе А оказались максимальными (от 0,88 до 0,69 соответственно их порядку в тексте), а в факторе Б – минимальными (от 0,11 до 0,28).

Исполнительный комплекс включает следующие качества:
– старательность;
– аккуратность;
– тщательность;
– исполнительность;
– дисциплинированность;
– усидчивость;
– добросовестность;
– трудолюбие.

Здесь в факторе А весы низкие (от 0,13 до 0,42), а в факторе Б – высокие (от 0,72 до 0,94).

Остальные качества вошли в третью группу качеств, имеющих примерно одинаковый вес как в творческом, так и в исполнительском факторах:
– оперативность;
– настойчивость;
– работоспособность;
– ответственность;
– организованность.

По обоим факторам веса колеблются в пределах от 0,26 до 0,69.

Таков смысл, вкладываемый в соответствующие совокупности качеств, а в том числе, и в творческую совокупность, самими инженерами, руководителями групп и главными специалистами.

3. О соотношении технического творчества и управления для руководителей групп и секторов при проектных работах

Начальники групп и секторов относятся к тем руководителям, которые в своей деятельности совмещают как творческие, так и управленческие функции. Возникает вопрос – какова соотносительная важность разных деловых качеств руководителей разных уровней. Ранговые значения деловых качеств инженеров и руководителей групп представлены ниже [4].

Умственная нагрузка и творческие способности воспитываются как самые необходимые качества, как инженера, так и руководителя группы. Причём более низкие корреляции для руководителей групп объясняются их более разнообразной работой, выполнением более широкого круга обязанностей, участием в более широком диапазоне этапов проектирования.

Таблица 2

Ранговые значения деловых качеств инженеров и руководителей групп

	Инженеры	Руководители групп
– умственная нагрузка	0,60	0,53
– творчество	0,59	0,49
– опыт и знания	0,52	0,42
– организованность	0,52	0,46
– инициативность	0,52	0,41
– самостоятельность	0,48	0,41
– ответственность	0,43	0,34

Для руководителей более высоких уровней (например, главного инженера проекта) порядок следования деловых качеств уже иной:

Таблица 3

Ранговые значения деловых качеств
руководителей более высоких уровней

– умственная нагрузка	0,57
– ответственность	0,57
– инициативность	0,54
– творчество	0,52
– опыт и знания	0,50
– самостоятельность	0,48
– организованность	0,45

При этом необходимо иметь в виду, что при сравнительном изучении особенностей работы инженеров трёх разных должностей надо в одно и то же деловое качество или требование к работнику вкладывать разный смысл. Например, ответственность может иметь объективно разное содержание в зависимости от должности работников.

Таким образом, из представленного материала следует, что у инженеров – руководителей групп такое качество как творчество оценивается довольно высоко. В связи с этим полезно выяснить, во-первых, истинное соотношение творчества и управления и, во-вторых, выявить рациональное их соотношение. Для этого было проведено исследование, где экспертами были начальники групп и секторов. Основой для экспертной оценки степени выраженности таких качеств деятельности как творчество и управление послужил опрос, в ходе которого были получены ответы на следующие вопросы:

– какую долю составляет техническое творчество в вашей проектной работе;

– каким должно быть рациональное соотношение технического творчества и управления при проектных работах на вашем уровне руководства.

Отбор экспертов производился по случайной выборке с целью иметь примерно одинаковое представительство различных по специфике работы подразделений, а также учесть разный производственный опыт и стаж работы в качестве руководителя. Обработка результатов производилась в соответствии с [5].

Статистические характеристики экспертных оценок соотношения творчества и общего объёма работ, имевшего место на период исследования, и желаемого рационального соотношения представлены в нижеприведённой таблице:

Таблица 4

Статистические характеристики экспертных оценок

Качество	Руководители			
	групп		секторов	
	$\bar{x}$	$б^2$	$\bar{x}$	$б^2$
Соотношение на период исследования	0,45	0,004	0,46	0,004
Желаемое рациональное соотношение	0,65	0,02	0,61	0,10

$\bar{x}$ – математическое ожидание значения соотношения доли творческих работ к общему объёму работ;

$б^2$ – дисперсия выборки.

Примерно 46 % опрошенных начальников групп и 5 % начальников секторов имели фактические доли творческих работ к общему объёму работ ниже, чем математическое ожидание всей выборки; 39 % начальников групп и 50 % начальников секторов имели желаемое рациональное соотношение доли творческих работ к общему объёму работ ниже математического ожидания выборки.

Причём большинство начальников секторов (80 %), кроме технического творчества и управления, вводят в общий объём выполняемых работ так называемую текущую работу, связанную с проведением в жизнь принятых технических решений, причём доля этих работ составляет от 20 % до 60 %. У начальников групп текущая работа занимает 20–25 % от общего объёма работ.

Отмечалось также, что соотношение творческих работ и общего объёма работы руководителей непостоянно и зависит от стадии разработки изделия и от числа одновременно разрабатываемых изделий, а также от характера деятельности руководимых подразделений (чем больше стандартных решений, тем меньше творчества).

Для повышения доли творческих работ в деятельности руководителей такого уровня как начальники групп и секторов, по моему мнению, являющихся определяющим звеном в цепочке проектных работ по организации выполнения поставленных задач, можно рекомендовать реализацию следующих направлений:

– рациональное соотношение творческих работ и общего объёма работы руководителей должно формироваться с учётом специфики деятельности руководимого подразделения, в соответствии с учётом опыта работы и специальных знаний, как самого руководителя, так и работников подразделения;

– уменьшение затрат времени на работы, связанные с проведением в жизнь принятых технических решений (отдавать больше инициативы исполнителям);

– увеличение, в общем объёме проектно-исследовательских работ, проработок по созданию перспективного проектного задела.

Библиографический список

1. Большая советская энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия, 1976. – 600 с.

2. Уилсон, А. Управление и творчество при проектировании систем / А. Уилсон, М. Уилсон М. – М.: Прогресс, 1974. – 245 с.

3. Скаржинский, М.И. Труд инженера / М.И. Скаржинский. – М.: Экономика, 1977. – 230 с.

4. Социально-психологический портрет инженера. – М.: Мысль, 1977. – 187 с.

5. Хан, Г. Статистические модели в инженерных задачах / Г. Хан, С. Шапиро. – М.: Мир, 1969. – 395 с.

6. Гвишиани, Д.М. Организация и управление / Д.М. Гвишиани. – М.: Наука, 1972. – 169 с.

7. Норткот Паркинсон, С. Искусство управления / С. Норткот Паркинсон, М.К. Рустомджи. – СПб.: Лениздат, 1992. – 144 с.

8. Мангутов, И.С. Инженер / И.С. Мангутов. – М.: Советская Россия, 1980. – 288 с.

9. Де Бройль, Л. По тропам науки / Л. Де Бройль. – М.: Издательство иностранной литературы, 1962. – 408 с.

К содержанию

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ В г. МИАСС

УДК 629.78

УПРАВЛЕНИЕ ВОЗВРАЩАЕМЫМ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ С РЕГУЛИРУЕМЫМ ЦЕНТРОМ МАСС

В.А. Афанасьев, В.И. Киселёв

Решается задача управления продольным угловым движением возвращаемых космических аппаратов (ВКА), обладающих системой перемещения центра масс (ЦМ) в поперечном направлении, чтобы получать балансировочный угол атаки, и продольном направлении, чтобы регулировать запас статической устойчивости. При практически мгновенном продольном смещении ЦМ возникают угловые колебания, которые при естественном демпфировании продолжаются недопустимо долго. Чтобы сократить их продолжительность, включаются рулевые ракетные двигатели, установленные в кормовой части ВКА. Определена структура и установлен закон управления включениями-выключениями двигателей для получения нового балансировочного равновесия. Результаты применимы в проектировании перспективных летательных аппаратов.

Ключевые слова: возвращаемый космический аппарат, смещение центра масс, угловое движение, балансировочное равновесие, ракетные двигатели, закон управления, конечное состояние, управляющие параметры.

Введение. Одно из перспективных направлений создания возвращаемых космических аппаратов (ВКА) – это установка в нём системы перемещения центра масс (ЦМ) как в поперечном направлении от продольной оси для образования балансировочного угла атаки, так и в направлении самой оси для регулирования запаса статической устойчивости. Рассматривается осесимметричный ВКА конической формы с мгновенным перемещением ЦМ, в результате которого образуются угловые колебания в продольной плоскости движения по углу атаки. Для сокращения продолжительности колебаний вводится управление угловым движением с помощью малых ракетных двигателей, установленных в кормовой части корпуса для создания управляющих угловых ускорений в канале тангажа [1].

Постановка задачи. Рассматривается задача управления по углу атаки ВКА, который совершает полёт в атмосфере с балансировочным углом атаки, образованном в результате поперечного смещения ЦМ (рис. 1) y_m и сохраняющемся до момента $t = t_{-1}$. При определённом запасе статиче-

ской устойчивости в указанный предначальный момент t_{-1} ВКА находится в устойчивом балансировочном равновесии под углом атаки:

$$\alpha_b = \frac{C_x y_m}{C_y^{\alpha}(c_m - c_d)l}, \qquad (1)$$

где C_x – коэффициент силы лобового сопротивления; C_y^{α} – производная коэффициента подъёмной силы по углу атаки в предположении его малости и линейности соответствующей функции; $y_m < 0$ – поперечное смещение центра масс относительно продольной оси; $c_m = x_m / l$, $c_d = x_d / l$, x_m, x_d – расстояния от наконечника ВКА до центра масс и центра давления соответственно; l – длина ВКА. Условием устойчивости балансировочного равновесия является неравенство: $x_m - x_d < 0$.

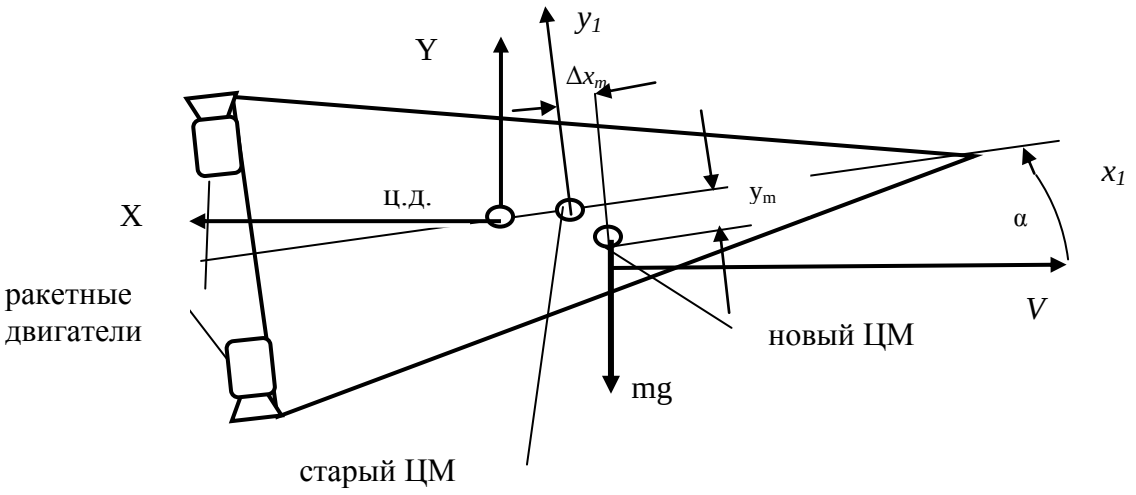


Рис. 1. Балансировочное равновесие при поперечном смещении центра масс

В этот момент происходит практически мгновенное смещение центра масс по продольной оси на величину Δx_m в сторону наконечника и возникает угловое движение по углу атаки из-за нарушения балансировочного равновесия (рис. 2). Через достаточно малое время, в течение которого параметры движения и характеристики ВКА считаются неизменными, в момент t_0, когда угловое положение ВКА характеризуется начальными значениями угловой скорости $\dot{\alpha}_0$ и угла атаки $\Delta\alpha_0$:

$$\dot{\alpha}_0 = \dot{\alpha}(t_0), \qquad \alpha_0 = \alpha_b + \Delta\alpha_0, \qquad (2)$$

где α_0 – полная начальная величина угла атаки, происходит включение рулевых ракетных двигателей. Двигатели создают управляющее угловое ускорение n, направленное на демпфирование углового движения так, чтобы по окончании управления в некоторый момент t_k, пока неизвестный, угловое положение ВКА характеризовалось параметрами:

$$\dot{\alpha}_k = \dot{\alpha}(t_k) = 0, \qquad \alpha_{bk} = \alpha_b + \Delta\alpha_k, \tag{3}$$

где α_{bk} – балансировочный угол атаки в конечный момент управления t_k, который меньше исходного (1), $\alpha_{bk} < \alpha_b$, из-за увеличения плеча момента подъёмной силы на величину $\Delta x > 0$, $\Delta\alpha_k = \Delta\alpha(t_k) < 0$ – заданное отклонение угла атаки от исходного балансировочного угла атаки α_b.

Решение задачи состоит в том, чтобы при заданном начальном моменте включения управления t_0 определить закон управления, устанавливающий такие значения момента переключения управления t_1 и момента выключения управления t_k, при которых формируется конечное состояние (3).

Математическая модель управляемого углового движения. Угловое движение, возникшее в результате продольного смещения ЦМ и управляемое под действием углового ускорения, создаваемого рулевыми ракетными двигателями, описывается следующим уравнением второго порядка:

$$\ddot{\alpha} + C_y^{\alpha} qSl\left(c_m - \Delta c_m - c_d\right)\alpha / I = C_x y_m qS / I \pm n, \tag{4}$$

где α – угол атаки; I – момент инерции относительно поперечной оси oz_1 связанной системы координат; S – характерная площадь ЛА, например, площадь кормового среза; $q = \rho V^2 / 2$ – скоростной напор; ρ – плотность атмосферы; V – скорость полёта; n – угловое ускорение, создаваемое ракетными двигателями; $\Delta c_m = \Delta x / l$.

Запишем уравнение движения по тангажу (4) в отклонениях от балансировочного равновесия, определяемого углом атаки α_b (1). Для этого представим действительные параметры углового движения в виде сумм балансировочного параметра и его отклонения от соответствующей величины:

$$\ddot{\alpha} = \ddot{\alpha}_b + \Delta\ddot{\alpha}, \qquad \dot{\alpha} = \dot{\alpha}_b + \Delta\dot{\alpha}, \qquad \alpha = \alpha_b + \Delta\alpha.$$

Подставляя последние выражения в уравнение (4), после несложных преобразований приходим к уравнению в отклонениях $\Delta\alpha$, $\Delta\dot{\alpha}$, $\Delta\ddot{\alpha}$ от параметров балансировочного равновесия:

$$\ddot{\alpha} = a\alpha + b \pm n, \tag{5}$$

в котором отброшен символ Δ и приняты следующие обозначения:

$$a = C_y^{\alpha} qSl\left(c_d - c_m\right)/ I > 0, \quad b = C_x y_m \Delta c_m qS /\left[\left(c_m - c_d\right)I\right] > 0.$$

Теперь в дальнейшем параметры углового движения имеют смысл отклонений от соответствующих балансировочных значений, совпадающих при $\ddot{\alpha}_b = \dot{\alpha}_b = 0$ с полными величинами.

Конструирование закона управления. На рис. 2 представлена динамика углового движения ВКА, управляемого с помощью ракетных двигателей, в отклонениях от параметров балансировочного равновесия: $\ddot{\alpha}_b = 0$, $\dot{\alpha}_b = 0$, $\alpha_b > 0$.

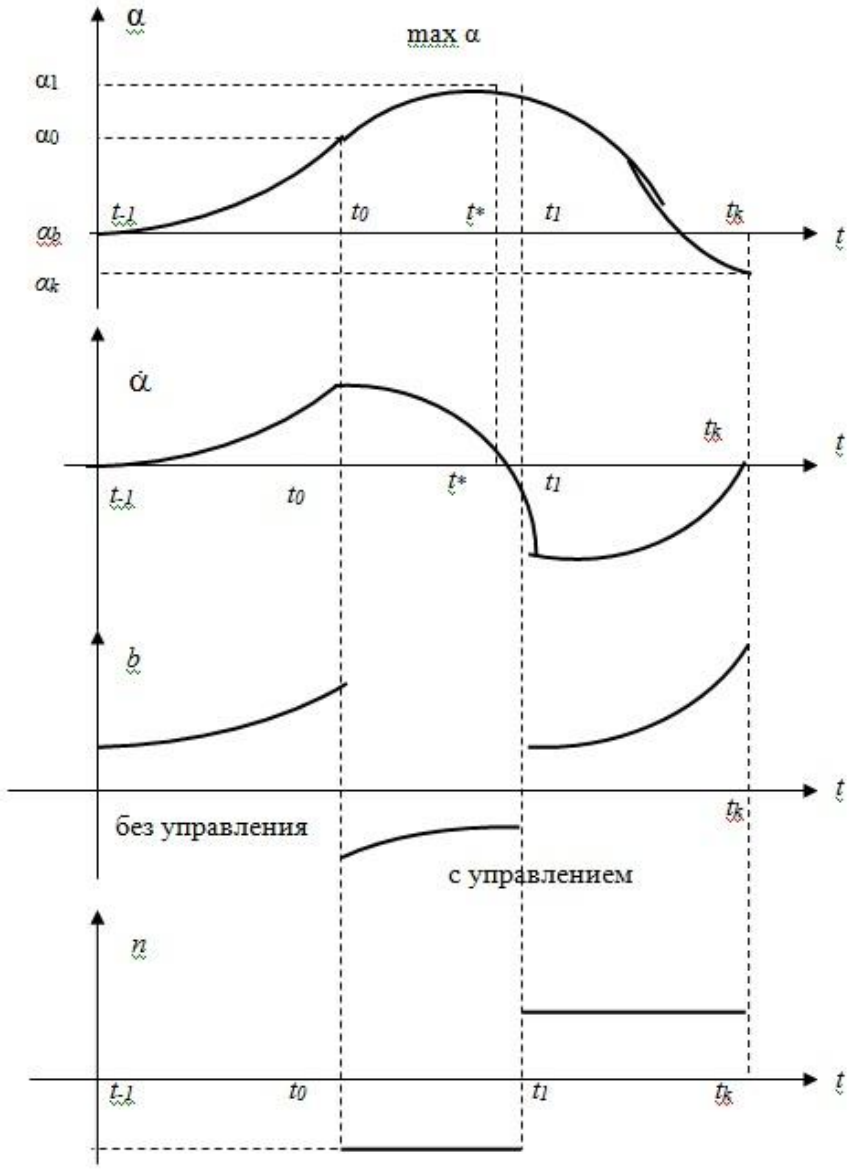


Рис. 2. Управление и динамика изменения угла атаки после продольного смещения центра масс к наконечнику

В момент t_{-1}, когда ЛА имеет нулевые начальные условия (в отклонениях от параметров балансировочного равновесия), угловое движение описывается уравнением (5) при $n = 0$. Уравнение решается достаточно просто и на промежутке $t \in [t_{-1}, t_0)$ получаем следующие зависимости угловой скорости $\Delta\dot{\alpha}_0 = \dot{\alpha}_0$ от угла атаки $\Delta\alpha_0 = \alpha_0$:

$$\dot{\alpha}_0 = \sqrt{(a\alpha_0 + 2b)\alpha_0}\,. \qquad (6)$$

и времени от угла атаки:

$$t_0 = \frac{1}{\sqrt{a}} \ln \left| \frac{a}{b}\alpha_0 + 1 + \sqrt{\frac{a^2}{b^2}\alpha_0^2 + 2\frac{a}{b}\alpha_0} \right|. \qquad (7)$$

Выражения (6) и (7) определяют параметры свободного углового движения после продольного смещения центра масс. Задавая величину α_0 по формуле (7), получим время t_0, а по формуле (6) – угловую скорость $\dot{\alpha}_0$.

Получили параметры углового движения, при которых в момент t_0 начинается угловое движение при включении управляющего ускорения n, направленного на торможение углового движения, возникшего в результате продольного смещения центра масс. Математически управление означает уравнение движения с отрицательным ускорением $-n$ в правой части.

На первом управляемом промежутке $t \in [t_0, t_*)$ происходит торможение. Угловое движение рассматривается до момента достижения максимального угла атаки $\alpha_* = \alpha(t_*) = \alpha_{\max}$ и описывается уравнением с отрицательным управляющим ускорением:

$$\ddot{\alpha} = a\alpha + b - n, \qquad (8)$$

с начальными условиями (6) и (7). Замена переменных $p = d\alpha / dt = \dot{\alpha}$ приводит уравнение (8) к виду:

$$\frac{dp}{d\alpha}\, p = a\alpha + b - n.$$

Решение этого уравнения даёт выражение для текущей угловой скорости:

$$\dot{\alpha} = \sqrt{\dot{\alpha}_0^2 + a\alpha^2 - 2(n-b)\alpha - a\alpha_0^2 + 2(n-b)\alpha_0}\,. \qquad (9)$$

Положительная скорость (9) сохраняется до момент $t = t_*$, когда она обращается в нуль: $\dot{\alpha}_* = 0$. Решение квадратного уравнения относительно угла атаки α_* имеет вид:

$$\alpha_* = \frac{n-b}{a} \pm \sqrt{\left(\frac{n-b}{a} - \alpha_0\right)^2 - \frac{\dot{\alpha}_0^2}{a}}\,. \qquad (10)$$

Для определения величины угла атаки решаем уравнение (9):

$$\ln\left|\frac{a\alpha - (n-b) + \sqrt{a^2\alpha^2 - 2a(n-b)\alpha - a^2\alpha_0^2 + 2a(n-b)\alpha_0 + a\dot{\alpha}_0^2}}{a\alpha_0 - (n-b) + \sqrt{a}\dot{\alpha}_0}\right| = \sqrt{a}(t-t_0).$$

В момент $t = t_*$ с учётом (10) получаем формулу:

$$t_* = t_0 + \frac{1}{\sqrt{a}} \ln\left|\sqrt{\frac{n-b-a\alpha_0+\sqrt{a}\dot{\alpha}_0}{n-b-a\alpha_0-\sqrt{a}\dot{\alpha}_0}}\right|. \qquad (11)$$

На втором промежутке $t \in [t_*, t_1)$ угловое движение также описывается уравнением с отрицательным управляющим ускорением (8) с начальными условиями (10), (11) и $\dot{\alpha}_* = 0$. Решение уравнения, как и для первого промежутка, даёт выражение для угловой скорости:

$$\dot{\alpha}^2 = \dot{\alpha}_*^2 + a\alpha^2 - 2(n-b)\alpha - a\alpha_*^2 + 2(n-b)\alpha_*.$$

С учётом $\dot{\alpha}_* = 0$ и (10) получаем:

$$\dot{\alpha} = -\sqrt{a\alpha^2 - 2(n-b)\alpha + 2(n-b)\alpha_0 - a\alpha_0^2 + \dot{\alpha}_0^2}\,. \qquad (12)$$

По окончании второго промежутка составной траектории получаем алгебраическое уравнение с двумя неизвестными $\dot{\alpha}_1$ и α_1:

$$\dot{\alpha}_1 = -\sqrt{a\left(\alpha_1^2 - \alpha_0^2\right) - 2(n-b)(\alpha_1 - \alpha_0) + \dot{\alpha}_0^2}\,. \qquad (13)$$

Решение уравнения (12) с учётом (10) даёт:

$$\ln\left|\frac{a\alpha - (n-b) + \sqrt{a^2\alpha^2 - 2a(n-b)\alpha + 2a(n-b)\alpha_0 - a^2\alpha_0^2 + a\dot{\alpha}_0^2}}{a\alpha_* - (n-b)}\right| = -\sqrt{a}(t-t_*).$$

В момент $t = t_1$ с учётом (11) и (13) получаем формулу для вычисления первого управляющего параметра в искомом законе управления:

$$t_1 = t_0 + \frac{1}{\sqrt{a}} \ln\left|\frac{n-b-a\alpha_0+\sqrt{a}\dot{\alpha}_0}{a\alpha_1 - (n-b) - \sqrt{a}\dot{\alpha}_1}\right|. \qquad (14)$$

На заключительном промежутке $t \in [t_1, t_k]$ угловое движение после переключения управления в момент t_1 на положительное ускорение описывается уравнением:

$$\ddot{\alpha} = a\alpha + b + n,$$

с начальными условиями $\dot{\alpha}_1$ (13) и α_1, t_1, связанными зависимостью (14).

Для текущей величины угловой скорости на заключительном промежутке стабилизирующего закона управления получаем выражение:

$$\dot{\alpha} = -\sqrt{\dot{\alpha}_1^2 + a\alpha^2 + 2(b+n)\alpha - a\alpha_1^2 - 2(b+n)\alpha_1}\,. \qquad (15)$$

По окончании управляемого разворота $t = t_k$ получаем величину угловой скорости, которая выдерживается равной нулю (3):

$$\dot{\alpha}_k = -\sqrt{\dot{\alpha}_1^2 + a\alpha_k^2 + 2(b+n)\alpha_k - a\alpha_1^2 - 2(b+n)\alpha_1} = 0, \qquad (16)$$

откуда при подстановке (13) следует алгебраическое уравнение, из решения которого получаем величину угла атаки в момент переключения управления:

$$\alpha_1 = \left[2(n-b)\alpha_0 + \dot{\alpha}_0^2 + a\left(\alpha_k^2 - \alpha_0^2\right) + 2(b+n)\alpha_k\right] /(4n). \qquad (17)$$

С другой стороны, из выражения (16) следует соотношение:

$$\dot{\alpha}_1^2 - a\alpha_1^2 - 2(b+n)\alpha_1 = -a\alpha_k^2 - 2(b+n)\alpha_k,$$

подставляя которое в (15), приходим к уравнению:

$$\dot{\alpha} = -\sqrt{a\left(\alpha^2 - \alpha_k^2\right) + 2(b+n)(\alpha - \alpha_k)}, \qquad (18)$$

решение которого в конечный момент $t = t_k$ даёт формулу для определения второго управляющего параметра в законе управления:

$$t_k = t_1 + \frac{1}{\sqrt{a}} \ln\left| a\alpha_1 + b + n + \sqrt{a^2\left(\alpha_1^2 - \alpha_k^2\right) + 2a(b+n)(\alpha_1 - \alpha_k)}\,/\,n \right|, \qquad (19)$$

где величина α_1 определяется по формуле (17), а величина α_k задаётся в отклонении от исходного балансировочного угла атаки α_b.

Пример. Пусть ЛА имеет следующие конструктивные $l = 1{,}5$ м; $S = 0{,}5$ м^2; $I = 5$ кгм^2, и аэродинамические характеристики: $C_x = 0{,}1$; $C_y^{\alpha} = 2{,}0$ 1/рад; $c_m - c_d = -0{,}01$. Поперечное смещение центра масс равно $y_m = -0{,}00909$ м. Рулевые ракетные двигатели создают управляю-

щее ускорение $n = 20$ с$^{-2}$. Продольное смещение центра масс проводится на величину $\Delta c_m = 0{,}002$.

По формуле (1) определяем балансировочный угол атаки:

$$\alpha_b = \frac{C_x y_m}{C_y^{\alpha}(c_m - c_d)l} = \frac{0{,}1 \cdot (-0{,}00909)}{2 \cdot (-0{,}01)1{,}5} = 0{,}0303 \text{ или } 1{,}736^{\circ}.$$

Вычислим коэффициенты уравнения (5):

$$a = C_y^{\alpha} qS(c_d + \Delta c - c_m)l / I = 210000 \cdot 0{,}5(0{,}01 + 0{,}002) \cdot 1{,}5 / 5 = 36 \text{ с}^{-2};$$

$$b = \frac{C_x y_m \Delta c}{(c_m - c_d)} \frac{qS}{I} = \frac{0{,}1 \cdot (-0{,}00909) \cdot 0{,}002}{-0{,}01} = 0{,}2727 \text{ с}^{-2}.$$

Пусть предначальное свободное движение продолжается до угла атаки $\alpha_0 = 0{,}1$ (5,730º). По формуле (6) определяем начальную скорость:

$$\dot{\alpha}_0 = \sqrt{(a\alpha_0 + 2b)\alpha_0} = \sqrt{(36 \cdot 0{,}1 + 2 \cdot 0{,}2727)0{,}1} = 0{,}6438 \text{ с}^{-1} \text{ (36,890º/с)}.$$

По формуле (7) при $a / b = 36 / 0{,}2727 = 132{,}013$ получаем время:

$$t_0 = \ln\left|13{,}201 + 1 + \sqrt{174{,}266 + 26{,}402}\right| / \sqrt{36} = 0{,}5575 \text{ с}.$$

Вычисления по формуле (20) определяют максимальное отклонение угла атаки от балансировочного угла атаки:

$$\alpha_* = \frac{20 - 0{,}2727}{36} - \sqrt{\left(\frac{20 - 0{,}2727}{36} - 0{,}1\right)^2 - \frac{0{,}6438^2}{36}} = 0{,}1130 \text{ (6,4758º)}.$$

Вычисления по формуле (11) определяют момент достижения максимального угла атаки:

$$t_* = 0{,}5575 + 0{,}0407 = 0{,}5982 \text{ с}.$$

Новый балансировочный угол атаки изменится на величину, следующую из уравнения движения (8) при $\ddot{\alpha} = 0$ и $n = 0$: $a\alpha + b = 0$:

$$\alpha_k = -b / a = -0{,}2727 / 36 = -0{,}007575 \text{ } (-0{,}4340^{\circ}),$$

откуда новый балансировочный угол атаки равен:

$$\alpha_{bk} = 0{,}0303 - 0{,}007575 = 0{,}0227 \text{ } (1{,}3020^{\circ}).$$

По формуле (17) вычислим приращение угла атаки относительно балансировочного угла атаки в момент переключения управления:

$$\alpha_1 = (3{,}9455 + 0{,}4135 - 0{,}3579 - 0{,}3971)/80 = 0{,}04505 \ (2{,}581^\circ).$$

Абсолютное значение равно: 0,0303+0,04505 = 0,07535 (4,317º). По формуле (13) вычисляем угловую скорость при переключении управления:

$$\dot{\alpha}_1 = -1{,}1097 \ \text{с}^{-1} \ (63{,}582^\circ/\text{с}).$$

По формуле (14) вычисляем первый управляющий параметр в законе управления:

$$t_1 = t_0 + \frac{1}{6}\ln\left|\frac{20 - 0{,}2727 - 36 \cdot 0{,}1 + \sqrt{36} \cdot 0{,}6438}{36 \cdot 0{,}04505 - (20 - 0{,}2727) + \sqrt{36} \cdot 1{,}1097}\right| = t_0 + 0{,}0929 \ \text{с}.$$

По формуле (19) получаем второй управляющий параметр в законе программного управления:

$$t_k = t_1 + \frac{1}{6}\ln\left|(1{,}6218 + 20{,}2727 + \sqrt{2{,}5559 + 76{,}8133})/20\right| = t_1 + 0{,}0720 \ \text{с}.$$

Полное время углового разворота равно:

$$t_k = 0{,}5575 + 0{,}0929 + 0{,}0720 = 0{,}7224 \ \text{с}.$$

Заключение. Таким образом, методом аналитического решения уравнений углового движения получена конструкция закона программного управления для ВКА, совершающего полёт в атмосфере на балансировочном угле атаки, образованном от поперечного смещения центра масс, после продольного смещения центра масс. Закон управления угловым движением состоит из момента переключения t_1 управляющего ускорения, создаваемого ракетными двигателями, на противоположное, и момента завершения углового разворота t_k по достижении нового балансировочного угла атаки [2]. Конструирование закона программного управления осуществляется по простым формулам, удобным на начальных этапах проектирования перспективных ВКА.

Библиографический список

1. Афанасьев, В.А. Управление разворотами космического аппарата за назначенное время с помощью ракетных двигателей / В.А. Афанасьев, Г.Л. Дегтярев, А.С. Мещанов, Т.К. Сиразетдинов // Изв. вузов. Авиационная техника. – 2013. – № 1. – С. 73–77.

2. Афанасьев, В.А. Аналитическое конструирование траекторий полета возвращаемых космических аппаратов / В.А. Афанасьев, А.С. Мещанов, В.Р. Хайруллин // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – 2010. – № 4. – С. 161–170.

К содержанию

УДК 629.76

РАСЧЕТ МАССОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПОВЕРХНОСТИ ГОРЕНИЯ ЗАРЯДА РДТТ В СРЕДЕ 3 D-МОДЕЛИРОВАНИЯ CREO PARAMETRIC

С.А. Биткин, А.Б. Кузнецов

Предлагается методика проектирования заряда твердого ракетного топлива РДТТ в программной среде твердотельного моделирования Creo Parametric, позволяющая рассчитывать массоцентровочные и геометрические характеристики заряда в процессе выгорания в зависимости от толщины горящего свода.

Ключевые слова: ракетный двигатель твердого топлива, твердотопливный заряд, расчет массовых и геометрических характеристик, программная среда твердотельного моделирования.

Одна из основных задач при разработке ракетного двигателя на твердом топливе (РДТТ) – проектирование заряда твердого топлива. Комплексной программой, используемой для этой цели, является программа Square [1], разработанная АО ФНПЦ «Алтай» (Н.А. Макаровец, Н.И. Огаркова), адаптированная к задачам АО «ГРЦ Макеева». Комплекс задач позволяет проводить:

– расчет характеристик выгорания заряда твердого топлива с произвольной 3-х мерной геометрией поверхности;

– расчет вскрытия поверхности корпуса в процессе выгорания заряда;

– расчет проходных сечений, свободного объема камеры сгорания по времени работы;

– расчет массы заряда, координат центра масс, продольного и поперечного моментов инерции заряда;

– расчет продольного распределения массы топлива в процессе выгорания зарядов.

Кроме того, известны методика и программа расчета заряда разработки ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» (М.Л. Филимонов), позволяющие моделировать процесс горения с учетом переменности скорости горения топлива [2].

На начальной стадии проектирования маршевых РДТТ при формировании облика ракеты актуальным является решение обратной задачи внутренней баллистики по определению поверхности горения в зависимости от толщины горящего свода, обеспечивающей требуемую расходно-тяговую диаграмму [3]. Зачастую требуемые расходная и тяговая диаграммы не равномерны по времени работы, что обусловлено ограничениями по допустимому скоростному напору при разделении ступеней и допустимыми перегрузками. В качестве примера на рис. 1 представлена дигрессивная тяговая диаграмма для РДТТ первой ступени космической ракеты авиационного старта.

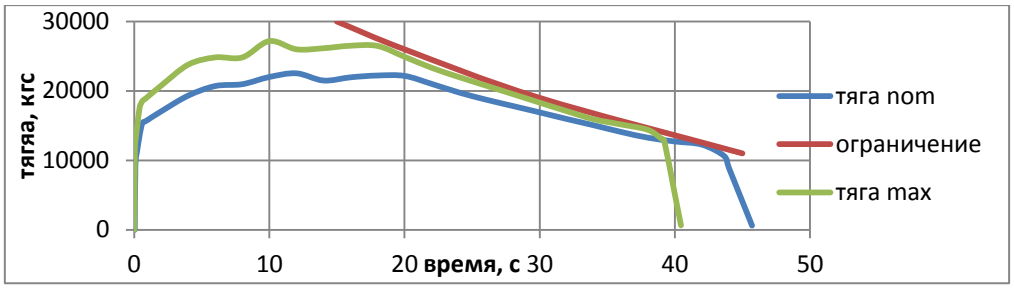


Рис. 1. Тяговая диаграмма с учетом ограничения

Для оперативности выбора принципиальной схемы заряда на данном этапе допустимо использовать закон горения параллельными слоями.

В работе [4] для проектирования заряда рассматривается программа твердотельного проектирования SolidWorks. С учетом встроенных возможностей, этот программный продукт, по аналогии с программой Square, позволяет рассчитать массо-центровочные и моментные характеристики (МЦМХ) и геометрические характеристики заряда.

Программа SolidWorks создает 3-мерную модель заряда (рис. 2). Для описания внешнего контура заряда задается набор точек, описывающих внутреннюю поверхность корпуса двигателя по теплозащитному покрытию и раскрепляющим манжетам. С помощью команды «Эскиз» на опорной плоскости по точкам вводится кривая – сплайн контура. Далее этот контур вращается вокруг продольной оси, и создается твердотельная 3D-модель с формой, повторяющей внешнюю форму заряда.

Далее строится профиль канала заряда, соответствующий начальному моменту времени. Геометрический закон горения задает условие, что плоские поверхности разгораются плоскопараллельно, от угловых точек более 180° разгар происходит по окружности, менее 180° – по биссектрисе угла [3]. Поэтому к первоначальному профилю канала добавляется профиль с параллельными отрезками с их сглаживанием по окружности с центром в угловых точках. Полученный с учетом сгоревшего свода профиль прокручивается вокруг оси и получается 3D-модель канала – твердое тело с формой, идентичной форме канала заряда.

Следующим строится тело с комплектом щелей. Для этого на опорной плоскости строится эскиз продольного сечения щели, командой «Вытянутая бобышка» создается тело с формой щели и далее строится массив с заданным числом щелей вокруг оси вращения.

Окончательная модель заряда создается при помощи команды «Скомбинировать тела-удалить», «вычитанием тел» – при этом из первоначального тела «Заряд» удаляются тела «Канал» и «Щели».

В дальнейшем, при изменении управляющего размера «е» – величины сгоревшего свода, можно получить соответствующую модель заряда в процессе выгорания.

Согласованность изменения формы разных тел в зависимости от управляющего размера «e» осуществляется с помощью инструмента «Уравнения».

При проектировании заряда необходимо получить зависимость МЦМХ от величины сгоревшего свода. В SolidWorks набор точек по «e» создается с помощью последовательности конфигураций. Каждой конфигурации соответствует свой свод.

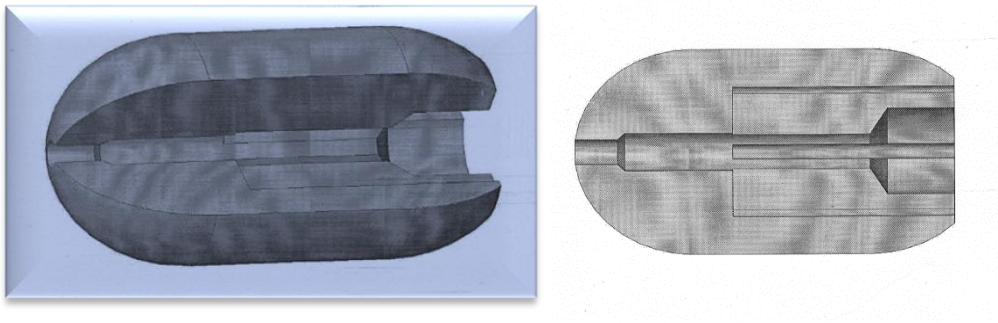


Рис. 2. Твердотельная модель канально-щелевого заряда в среде Solid Work

Недостатками данной методики являются:

– поверхность горения рассчитывается отчасти вручную после вывода совокупной площади в таблицу Excel;

– некоторые участки профиля, организующего выгорание, могут выпадать. Уменьшение длин отрезков меньше минимально возможных SolidWorks интерпретирует как ошибку, которая обходится созданием нескольких эскизов, которым будут соответствовать несколько тел, что загромождает модель, приводит к путанице, уменьшению надежности и увеличению времени вычислений.

В качестве альтернативы предлагается методика проектирования заряда твердого ракетного топлива в программной среде твердотельного моделирования Creo Parametric [5].

Рассмотрим эту методику на примере канально-щелевого заряда с проточкой, который показан на рисунке 3.

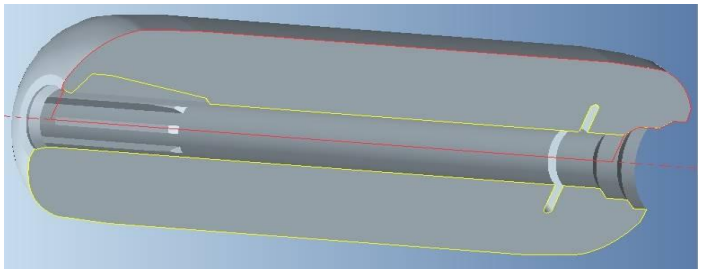


Рис. 3. Схема канально-щелевого заряда с проточкой

Все тела, которые используются для проектирования заряда, такие как щели, проточка, канал и другие создаются в дереве модели одной детали. В первую очередь создается эскиз внешнего контура заряда, задающийся набором точек, описывающих внутреннюю поверхность корпуса двигателя по ТЗП и раскрепляющим манжетам. С помощьъю команды «Эскиз» на опорной плоскости создается контур. Используя данный эскиз, с помощью команды «Вращать» строится 3D-модель «Объем» с формой, повторяющей внешнюю форму заряда, рис. 4.

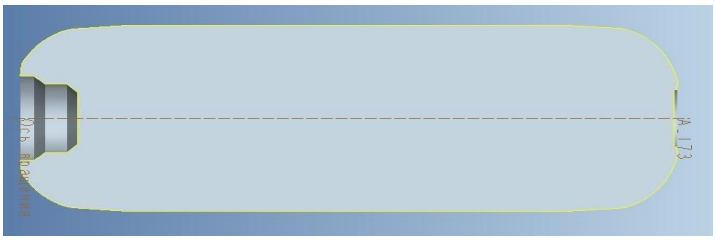


Рис. 4. Продольное сечение элемента «Объем»

Далее, с помощью инструмента «Массовые свойства» в дереве модели создается элемент «МГХ_объема», содержащий данные о массово-габаритных характеристиках, таких как масса, суммарная площадь модели, объем, моменты инерции и положение центра масс модели, содержащей на данном этапе только элемент «Объем».

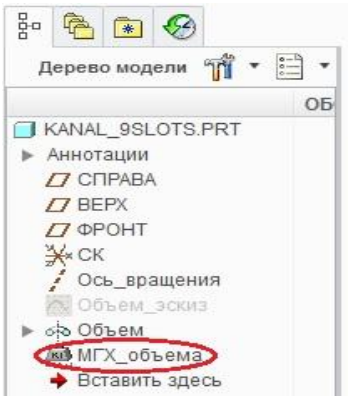


Рис. 5. Элемент, содержащий массовые свойства
в дереве модели

После расчета МГХ элемент «Объем» больше не нужен, поэтому он удаляется из модели с помощью любого другого элемента, созданного с удалением материала инструментом «Вытянуть» или «Вращать». Для этого на опорной плоскости создается эскиз произвольной формы, размеры которого перекрывают элемент «Объем». В итоге, после данной операции, в модели не остается элементов, имеющих массу. Теперь мы можем строить элементы модели канала, состоящего в нашем случае из элементов «Канал», «Щель» и «Проточка».

Далее строится эскиз с профилем канала заряда, соответствующего начальному моменту времени. При этом образующие прямые сглаживаются по окружности с минимально возможным радиусом. Этот эскиз в модели играет лишь вспомогательную роль. Для создания элемента «Канал» потребуется другой эскиз, который построим с помощью инструмента «Смещение» в среде эскиза. Этот инструмент позволяет смещать выбранные контуры на заданное расстояние. В нашем случае таким расстоянием будет размер «e», равный величине сгоревшего свода. Полезной особенностью данного инструмента является способность без выдачи ошибки строить контуры при уменьшении длины отрезков до нуля. Инструмент просто строит контур без такого вырожденного участка. Для создания смещенного контура необходимо спроецировать первоначальный контур канала с помощью инструмента «Проецировать». Выбрав в настройках инструмента тип проецирования «Контур», необходимо в дереве модели указать на эскиз с первоначальным контуром. В результате мы получим контур, смещенный от исходного на расстояние «e». Теперь необходимо этот контур замкнуть на оси вращения, чтобы можно было создать элемент «Канал». Заметим, что после создания элемента «Канал» в окне уравнений необходимо записать уравнение, которое устанавливает равенство между размером, характеризующим расстояние смещения контура и параметром «e».

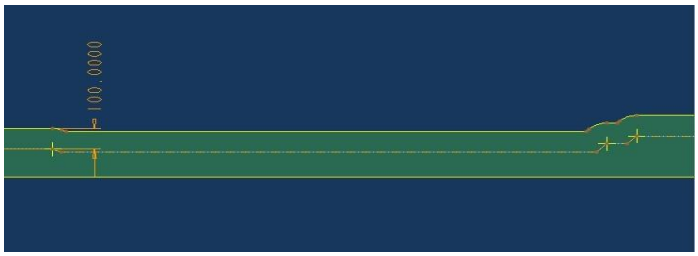


Рис. 6. Эскиз канала со смещенным
на расстояние e=100 мм контуром

Далее аналогично строится эскиз щели с начальным контуром со скруглениями, равными минимальному размеру. На этом эскизе далее строится элемент «Щель». Кромки щели также скругляются минимальным радиусом с помощью инструмента «Скругление». Для создания массива щелей элементы «Щель» и «Скругление щели» группируются и инструментом «Массив» создается массив из необходимого количества щелей. В нашем случае, это 9 щелей.

Для создания модели щели с разгаром, равным заданному параметру «e» необходимо воспользоваться инструментом «Смещение», выбрав в качестве поверхностей смещения все поверхности твердого тела и исключить

поверхности торцов щели, примыкающих к каналу. Размер смещения необходимо задать равным параметру «e». Таким образом, мы получили набор из 9 щелей канала с величиной разгара «e».

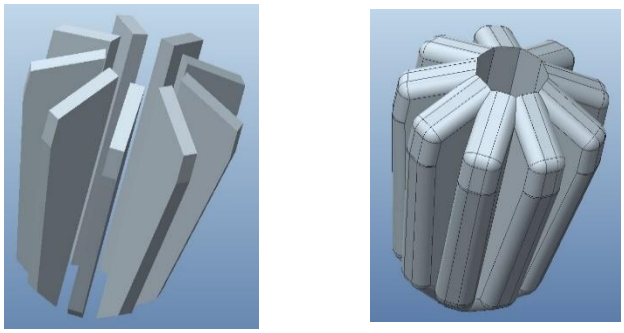


Рис. 7. Массив щелей (начальный слева,
с величиной разгара e=30 мм справа)

После создания щелей инструментом «Вращать» создается элемент «Канал» и «Проточка».

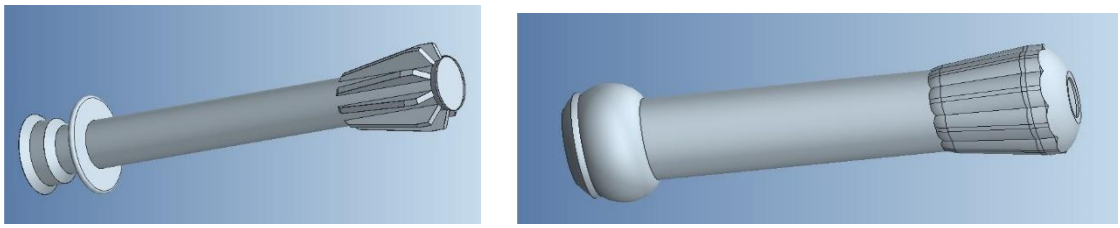


Рис. 8. Форма канала с проточкой и щелями
(до начала горения и частично вышедшей на ТЗП)

Для того, чтобы канал со щелями не вышел за границу внешнего контура заряда, необходимо создать элемент «Обрезка», который «обрезает» излишки материала элементов под размер внешней поверхности заряда.

Далее, с помощью инструмента «Массовые свойства» в дереве модели создается элемент «МГХ_канала», содержащий данные о МГХ созданного канала.

Чтобы получить значение массы заряда, через окно уравнений вводится параметр для расчета массы заряда «M». Параметр «M» вычисляется как разность между массой элемента «Объем» (значение которой находится в элементе «МГХ_объема») и массой канала (из элемента «МГХ_канала»). Аналогично можно ввести соответствующие параметры и вычислить значения для моментов инерции и координат центра тяжести заряда.

В случае с площадью горения дело обстоит немного сложнее. В момент, когда поверхность горения доходит до корпуса, эта поверхность исключается из процесса горения. Если же вычислить полную площадь мо-

дели канала, то площадь элементов поверхности, уже вышедшие на внешнюю поверхность заряда, будет являться частью канала и будет суммироваться с суммарной площадью горения. Поэтому необходимо обходить это явление. В качестве решения данной проблемы предлагается создать элемент вращения в виде сферы, используя эскиз для внешней формы заряда. Внутри этой сферы будет находиться полость в виде внешнего обвода заряда. Внутри же этой полости, в свою очередь, уже находится твердотельная модель канала (рис. 9). Таким образом, по мере увеличения значения параметра «e» поверхность канала со щелями будет постепенно выходить на внутреннюю поверхность полости.

Для нахождения площади горения необходимо из общей площади модели вычесть площадь сферы и площадь внутренней поверхности полости (площадь поверхности ТЗП, до которой еще не дошел фронт горения). Последняя представляет собой сумму площадей поверхностей днищ и цилиндрической части заряда. Для ее вычисления эти площади необходимо измерить с помощью инструмента «Измерение-Площадь» и сохранить результат в виде элемента дерева модели. То есть, для вычисления площади горения нужно создать через уравнения параметр «S», который будет равен разности между указанными площадями.

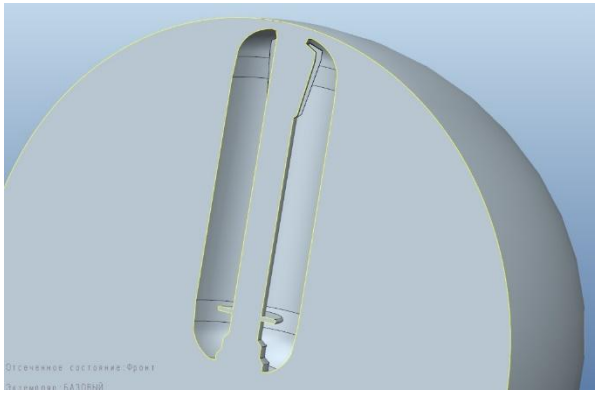


Рис. 9. Канал в полости сферы

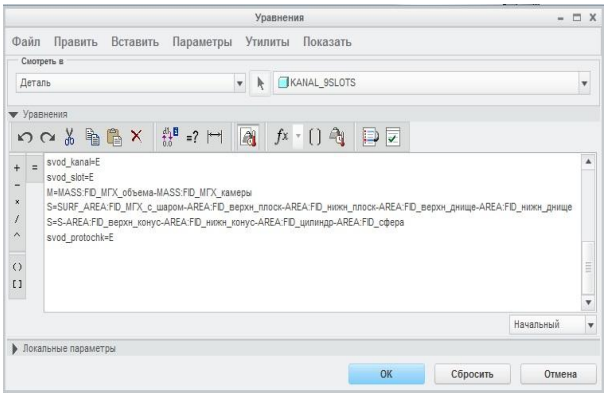


Рис. 10. Окно уравнений

Далее, после того, как мы создали параметрическую модель заряда, для получения необходимых кривых зависимостей S(e), M(e) и др. необходимо создать таблицу семейства, в которой будет столбец с параметром «e» и столбцы с интересующими нас параметрами площадей, масс и др. (рис. 11). Выбрав расстояние по величине сгоревшего свода, через которое нам необходимо знать значения интересующих нас параметров, можно задать приращение параметра «e», через которое можно создать необходимое количество элементов таблицы, каждый из которых будет соответствовать определенному значению параметра «e». После создания и проверки экземпляров таблицы будет возможно воспользоваться инструментом «Пра-

вить текущую таблицу в Excel», который откроет документ Excel, из которого можно скопировать столбцы с параметрами и построить по ним соответствующие графики зависимостей от параметра «e» (рис. 12).

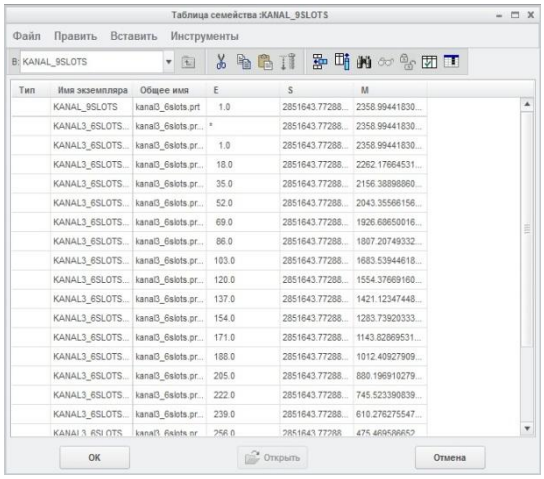


Рис. 11. Таблица семейства модели

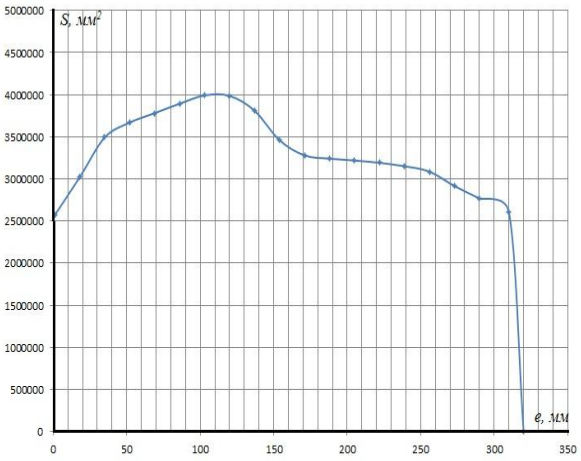


Рис. 12. Кривая зависимости S(e)

На данном этапе модель является лишь расчетной и достоверно в ней можно взглянуть только на форму канала со щелями, но не на сам заряд, который является результатом вычитания формы канала из твердотельной модели объема корпуса. Поэтому для наглядного представления самого заряда создается новая модель путем копирования уже созданной модели, но из нее удаляются все элементы снизу дерева модели до элемента «Объем». Затем, с помощью инструмента «Объединение/наследование» с удалением материала из этого элемента вычитается модель канала. Таким образом, получается модель заряда, связанная с расчетной рабочей моделью. Для просмотра модели заряда при произвольном значении горящего свода необходимо переключиться на расчетную модель, указать в параметрах необходимое значение «e», регенерировать модель, затем переключиться на модель заряда и регенерировать ее.

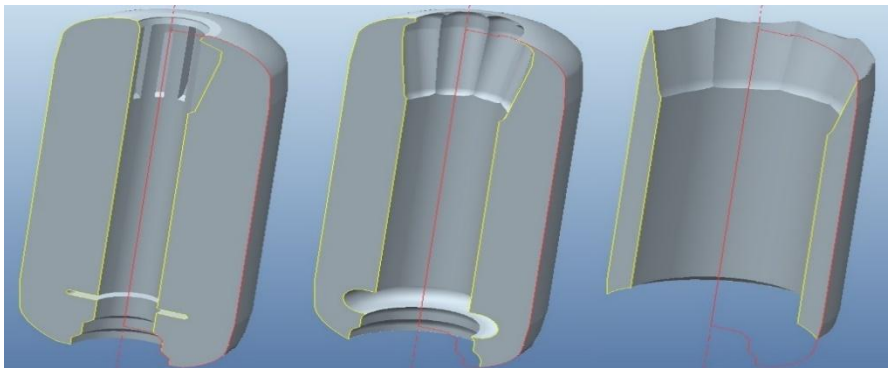


Рис. 13. Модель заряда с толщиной сгоревшего свода, слева направо, соответственно, 0; 70; 220 мм

Библиографический список

1. Инструкция для работы с программой SQUARE-2 «Расчет площади поверхности и инерционных характеристик энергоузлов изделий Т» (РТМ САПР-15-6-80), КБМ. – Миасс, 1982.
2. Внутренняя баллистика РДТТ / РАРАН, под ред. А.М. Липанова и Ю.М. Милехина; редкол. серии: В.В. Панов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 2007. – 504 с.: (Справ. б-ка разработчика-исследователя).
3. Соркин, Р.Е. Теория внутрикамерных процессов в ракетных системах на твердом топливе / Р.Е. Соркин. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 288 с.
4. Биткин, С.А. Расчет массовых, центровочных, моментных характеристик, зависимости площади горения заряда РДТТ с помощью программы SolidWorks. Методика расчета / С.А. Биткин, С.А. Рязанов. – ОАО «ГРЦ Макеева», 2011.
5. Creo Parametric. Базовый курс, PTS, 2011.

К содержанию

УДК 629.76

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИИ СПУСКА МНОГОРАЗОВОЙ ОДНОСТУПЕНЧАТОЙ РАКЕТЫ

В.И. Киселёв

Предложен один из возможных способов решения задачи построения одноступенчатой ракеты, алгоритм её решения, приведен пример решения задачи.

Ключевые слова: многоразовая одноступенчатая ракета, траектория спуска, угол атаки, скоростной угол крена.

Постановки задачи построения траекторий спуска с минимизацией общего количества поглощённого аппаратом тепла в процессе спуска широко и давно известны [1]. Однако для решения задачи, как правило, даются общие указания и указывается, что «вся сложность процесса оптимизации состоит в выборе номинальной траектории нулевого приближения», а способ выбора этого приближения не указывается [1]. По-видимому, для аппарата произвольной конструкции такое решение трудно указать. Кроме того, на практике нужно спроектировать траекторию, удовлетворяющую не одному, а нескольким критериям, например, кроме минимума тепла, подводимого к аппарату, уровень перегрузки не должен превышать некоторого заданного значения.

Наиболее распространённый подход к решению такого рода задач состоит в построении до спуска опорной программной траектории, удовле-

творяющей всем заданным условиям. Информация об этой траектории помещается в память бортового компьютера. В полёте в результате воздействия различного рода возмущений фактическая траектория будет отличаться от опорной траектории. Задача системы управления СЛА в полёте заключается в парировании действующих возмущений и обеспечении движения СЛА по траектории, близкой к опорной. Рассмотрим задачу построения указанной опорной программной траектории.

Решение поставленной задачи получено с учётом технических особенностей задачи. Так, объект управления близок по своим характеристикам к одноступенчатой многоразовой ракете [2]. По многим соображениям (простота реализации, экономичность используемых импульсных двигателей и т.д.) предпочтителен релейный принцип управления, когда управляющие параметры, в нашем случае скоростной угол крена и угол атаки мгновенно переходят с одного заданного программного значения на другое программное значение. При решении задачи использовалась наиболее полная пространственная математическая модель движения объекта в атмосфере, а также методы нелинейного программирования при решении задач оптимизации.

Движение центра масс СЛА в рассматриваемом случае описывается известной системой дифференциальных уравнений в сферически-скоростной системе координат [3]:

$$\dot{V} = \dot{W}_{x1} \cdot \cos\alpha - \dot{W}_{y1} \cdot \sin\alpha - G_r \cdot \sin\theta - G_\omega \cdot (\sin\varphi \cdot \sin\theta + \cos\theta \cdot \cos\sigma \cdot \cos\varphi);$$

$$V \cdot \dot{\theta} = \dot{W}_{x1} \cdot \cos\gamma \cdot \sin\alpha + \dot{W}_{y1} \cdot \cos\gamma \cdot \cos\alpha + \left(V^2 / R - G_r\right) \cdot \cos\theta$$
$$-2V \cdot \omega \sin\sigma \cdot \cos\varphi - G_\omega \cdot (\sin\varphi \cdot \cos\theta - \sin\theta \cdot \cos\sigma \cdot \cos\varphi);$$

$$V \cdot \cos\theta \cdot \dot{\sigma} = -\dot{W}_{x1} \cdot \sin\gamma \cdot \sin\alpha - \dot{W}_{y1} \cdot \sin\gamma \cdot \cos\alpha + \left(V^2 / R - G_r\right) \cdot \cos\theta +$$
$$+G_\omega \cdot \sin\sigma \cdot \cos\varphi + 2 \cdot V \cdot \omega \cdot (\sin\varphi \cdot \cos\theta - \sin\theta \cdot \cos\sigma \cdot \cos\varphi);$$

$$\dot{R} = V \cdot \sin\theta; \dot{\varphi} = (V / R) \cdot \cos\theta \cdot \cos\sigma; \dot{\lambda} = -(V / R \cdot \cos\varphi) \cdot \cos\theta \cdot \sin\sigma.$$

Здесь R – расстояние от центра масс СЛА до центра Земли, φ – геоцентрическая широта, λ – геоцентрическая долгота, V – скорость СЛА, θ – угол наклона вектора скорости к плоскости местного горизонта, σ – угол между проекцией вектора скорости на плоскость местного горизонта и местным меридианом, ω – угловая скорость вращения Земли, G_ω, G_r – составляющие ускорения силы тяжести по направлению вектора угловой скорости вращения Земли и радиус-вектора, $\dot{W}_{x1} = \frac{c_x \cdot q \cdot S}{m}, \dot{W}_{y1} = \frac{c_y \cdot q \cdot S - K_N \cdot P}{m}$ – составляющие кажущегося ускорения по осям связанной с изделием системы координат, c_x, c_y – аэродинамические коэффициенты, $q = \rho \cdot V^2 / 2$ – скоростной напор, S – площадь характерного (миделевого) сечения СЛА, P – сила тяги управляющего двигателя, ρ – текущая плотность атмосферы, K_N – коэффи-

циент усиления тяги, α – пространственный угол атаки, γ – скоростной угол крена (угол отклонения плоскости угла атаки от вертикальной плоскости). Управление движением СЛА осуществляется путём формирования пространственного угла атаки α и скоростного угла крена γ с помощью специальных управляющих двигателей тягой P.

Так как количества поглощённого аппаратом тепла в процессе спуска пропорционально интегралу от скоростного напора, то в качестве критериев оптимизации используется интеграл от скоростного напора и максимальное значение модуля вектора перегрузки, который не должен превышать заданного значения, в данном случае, 4g.

Хотя по постановке задача является задачей оптимального управления, она может быть сведена к задаче нелинейного программирования известным способом [4, 5] и для её решения можно применить эффективные численные методы. В данной работе использовался метод скользящего допуска [6].

Полученная траектория является оптимальной в смысле минимума подведённой к поверхности РН количества тепла и удовлетворяет ограничениям по максимуму перегрузки. Критерием количества подведённого тепла служит величина, пропорциональная интегралу от скоростного напора. В качестве управляющих параметров используются скоростной угол крена (γ) – угол отклонения плоскости «продольная ось изделия – вектор скорости» от вертикальной плоскости и пространственный угол атаки (α)– угол между продольной осью изделия и вектором скорости в указанной выше плоскости. Законы управления этими величинами – кусочно-постоянные. При этом переход с одного значения на другое происходят одновременно, что позволяет снизить размерность оптимизационной задачи. Более того при математическом решении задачи последовательности значений скоростного угла крена и пространственного угла атаки задавались заранее из эмпирических соображений, а автоматически с помощью соответствующих методов оптимизации выбирались лишь моменты переключения с одних значений указанных углов на другие.

Эмпирические соображение, которые закладывались при выборе названных последовательностей следующие:

– эффективность торможения, для чего, например, при входе в атмосферу (высота 100 км.) РН ориентировалась днищем вперёд по направлению движения;

– пологость траектории, для чего затягивалось движение в разряжённых слоях атмосферы, в том числе путём введения режима бокового манёвра;

– непревышение заданного уровня поперечной перегрузки, что ведёт к малости пространственного угла атаки;

– значения угла атаки принимаются равными 180° (днищем вперёд) с целью обеспечения максимального торможения, и 20°, на котором дости-

гается максимальное аэродинамическое качество в достаточно большом диапазоне чисел Маха, что обеспечивает эффективность совершаемых манёвров, в том числе боковых;

– значения скоростного угла крена выбирались из условия такого распределения подъёмной силы, при котором обеспечивается пологость траектории, т.е. удержание угла наклона траектории к местному горизонту в диапазоне -1.5° ÷ 1.5°. Эти значения выбирались «круглыми» (0°, 45°, 90°, 0°, 45°, 30°, 0°) из соображения, что протяжённость движения с выбранным значением угла крена выбирается автоматически и так, что компенсируют эту «круглость», т.е. величина управляющего импульса – произведение значения угла на длительность импульса – величина оптимальная.

Все эти эмпирические соображения приняты с целью обеспечения возможности математического решения поставленной многокритериальной задачи оптимизации. При этом размерность задачи оптимизации равна 6, что является достаточно большим количеством для задач такого рода.

На рис. 1–8 приведены основные результаты расчётов.

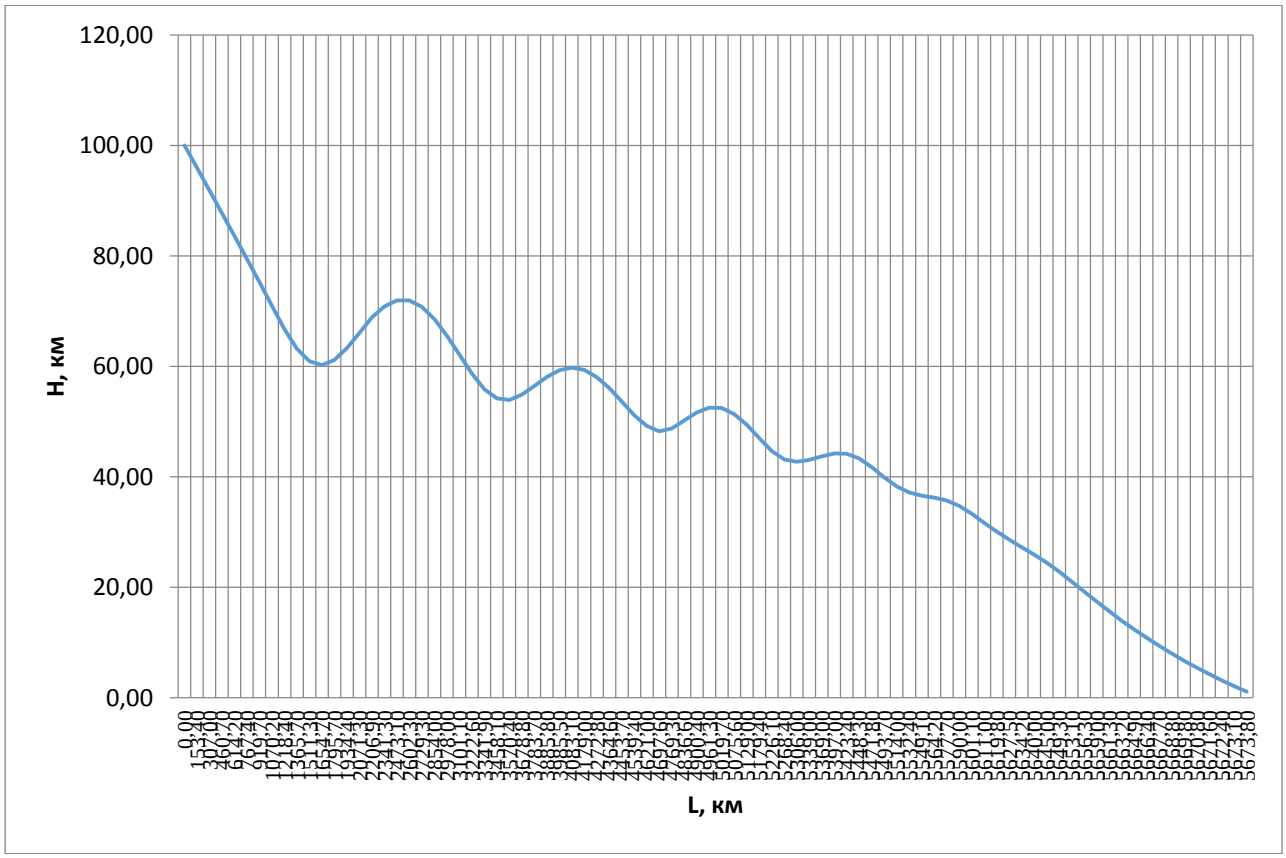


Рис. 1. Профиль траектории

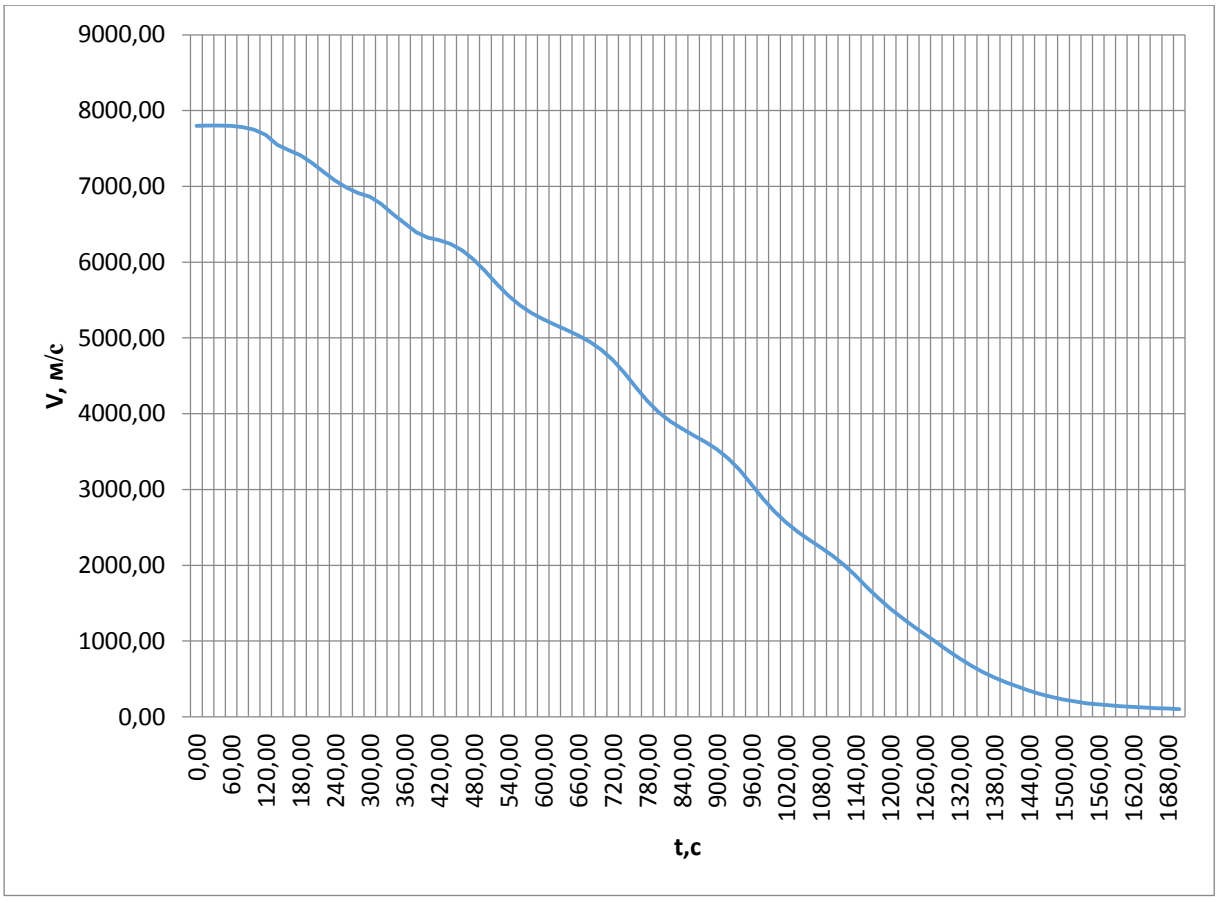


Рис. 2. Профиль скорости

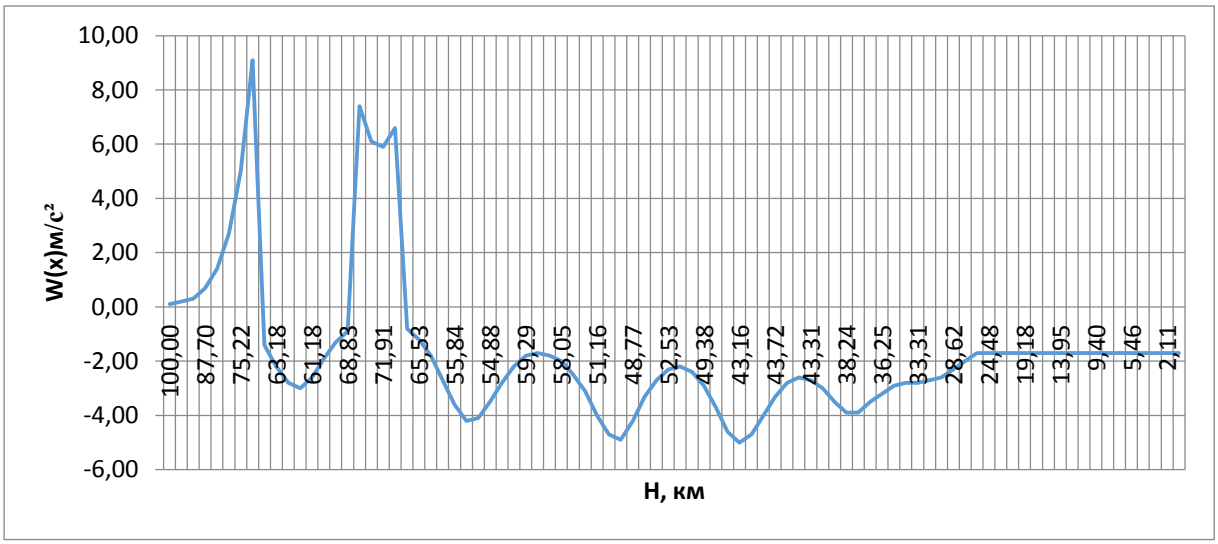


Рис. 3. Уровень продольной перезагрузки

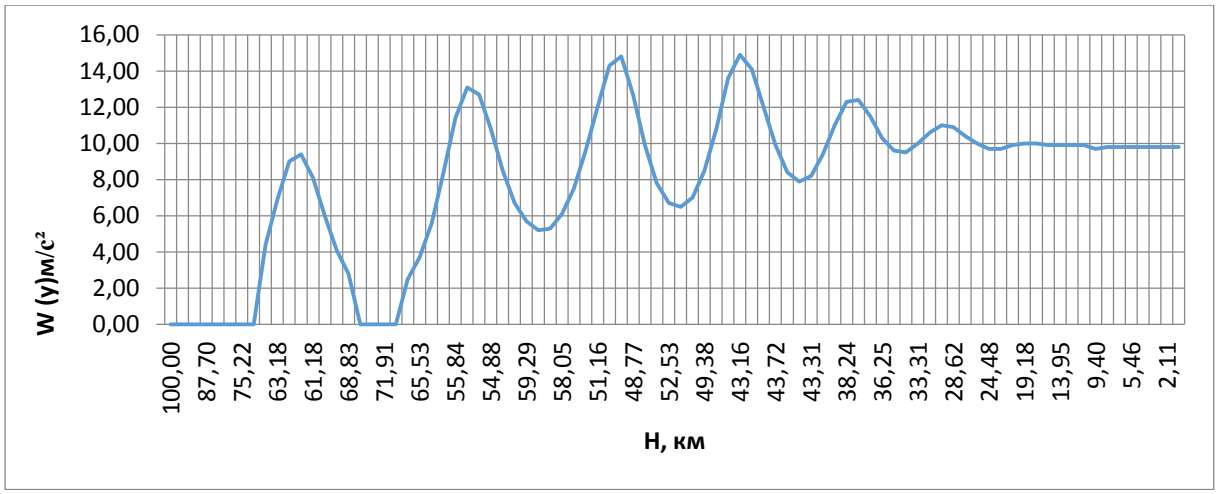


Рис. 4. Уровень поперечной перезагрузки

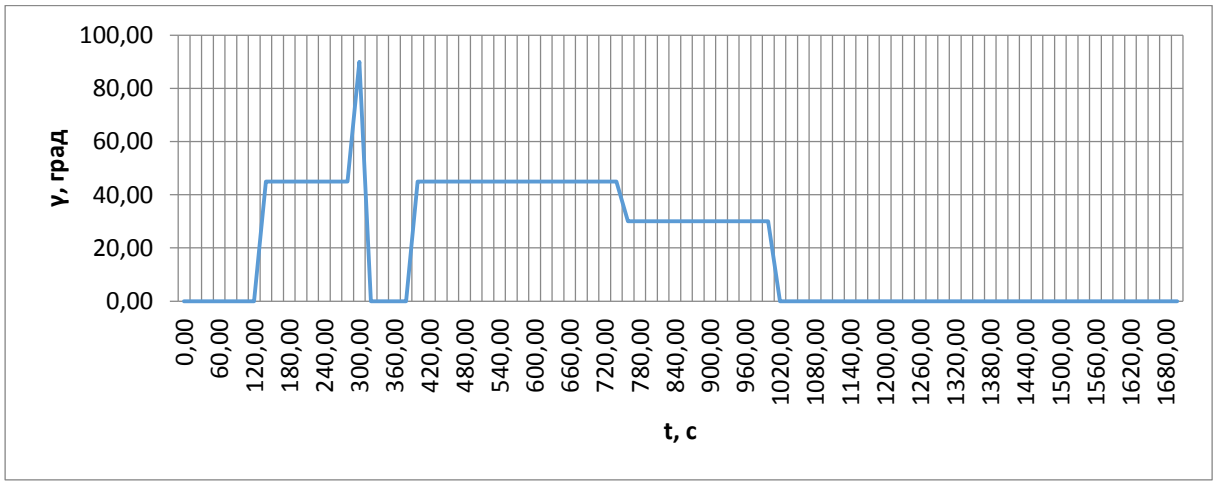


Рис. 5 График скоростного угла крена

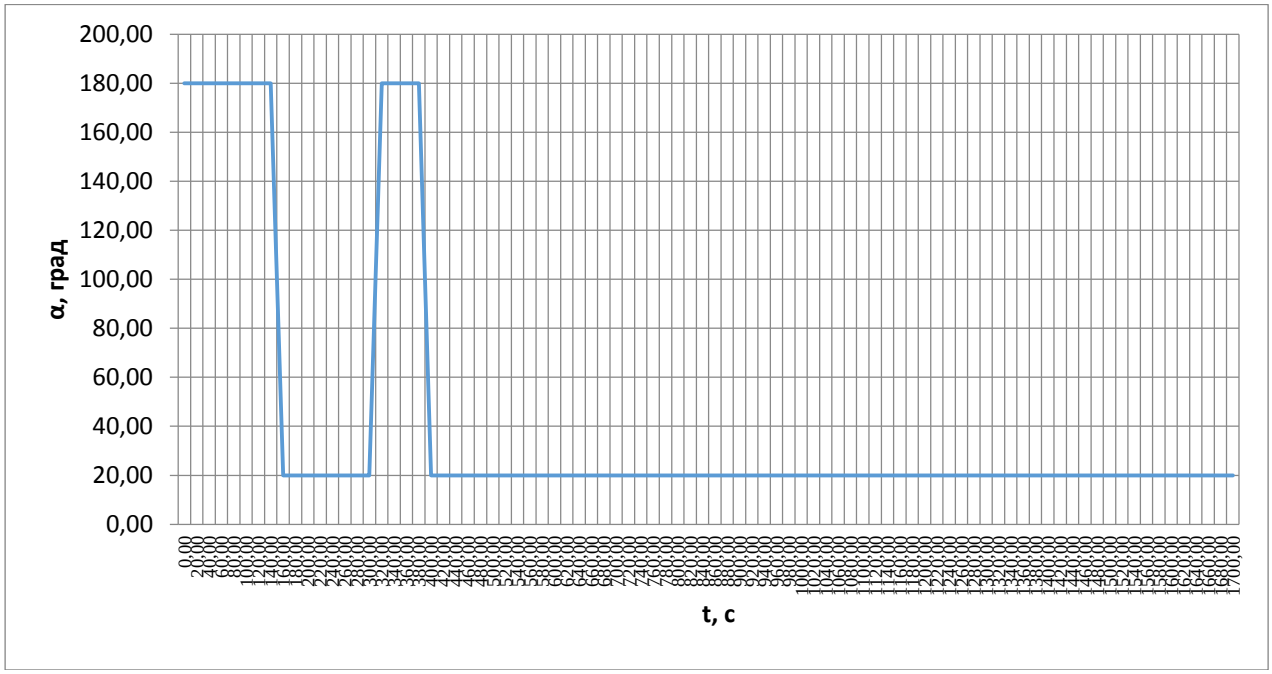


Рис. 6. График угла атаки

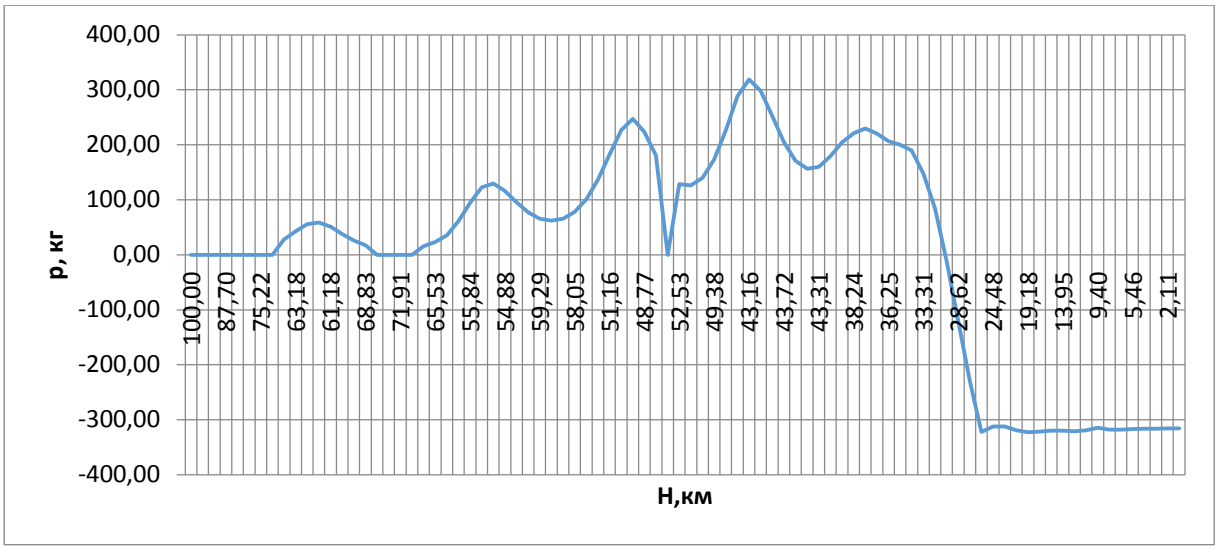


Рис. 7. Закон управления поперечной тягой

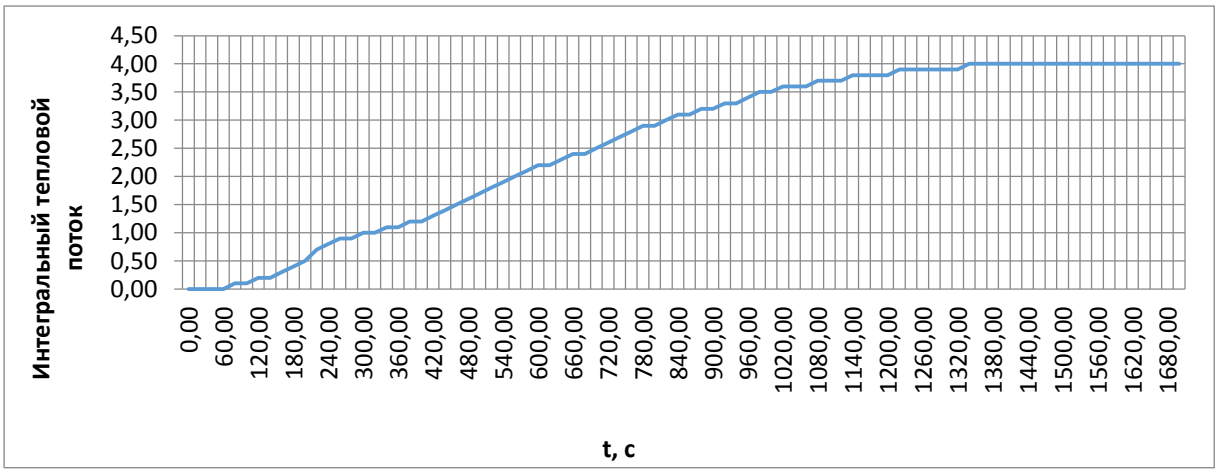


Рис. 8. Интегральное количество тепла

Значения интегрального теплового потока = N*10^3ккал/$м^2$, N –на графике

Описание характерных участков полученной траектории

Предварительно до входа в атмосферу путём подачи тормозного импульса, обеспечивается сход РН с орбиты и малый угол входа (-1.5° – наклон траектории к местному горизонту) РН в атмосферу (высота 100 км.).

Дальнейшее движение происходит по следующей логике.

При входе в атмосферу РН ориентируется днищем вперёд (угол атаки полагается равным 180°) с целью максимально эффективного торможения. Движение в таком режиме продолжается около 140 с до высоты ~70 км.

После достижения этой высоты РН переводится в режим движения носком вперёд с углом атаки 20°, вектор возникшей при этом подъёмной силы отклоняется от вертикали на 45°. Действие подъёмной силы направлено на движения в режиме кабрирования. В результате, на высоте ~60 км (время

полёта ~140 с) наклон траектории к местному горизонту становится нулевым и начинается движение по восходящей траектории, которое продолжается до высоты ~70 км, наклон траектории к местному горизонту при этом становится равным ~+1° (~300 секунда полёта).

В этот момент с целью недопущения выхода РН в разрежённые слои атмосферы, что грозит потерей управляемости, РН переводится в режим движения днищем вперёд с углом атаки 180° и нулевым значением скоростного угла крена (впрочем, это не играет никакой роли, т.к. в этом случае подъёмная сила не возникает). Движение в таком режиме продолжается около 80сек. до достижения углом наклона траектории к местному горизонту значения равным ~-1° (~380 секунда полёта).

В этот момент (~380 с полёта) РН переводится в режим движения носком вперёд с углом атаки 20°, вектор возникшей при этом подъёмной силы отклоняется от вертикали на 45°. Движение в таком режиме продолжается около 360сек. до достижения углом наклона траектории к местному горизонту значения равным ~-1° (~740 секунда полёта). После чего РН переводится в режим полёта с углом атаки 20°, вектор подъёмной силы при этом отклоняется от вертикали на 30°. Цель такого режима повысить вертикальную составляющую подъёмной силы с целью удержания траектории полёта в пологом режиме. Движение в таком режиме продолжается около 260 с до достижения углом наклона траектории к местному горизонту значения равным ~1° (~1000 секунда полёта).

В этот момент РН переводится в режим полёта с углом атаки 20°, вектор подъёмной силы при этом отклоняется от вертикали на 0°. Цель такого режима перевести подъёмную силы в вертикальную плоскость с целью удержания траектории полёта в пологом режиме. Но ввиду значительного падения скорости, угол наклона траектории к местному горизонту начинает расти. Движение в таком режиме продолжается до достижения высоты 1 км. Скорость РН в этот момент достигает 100 м/с, и РН переходит в режим посадки, а это уже совсем другая задача.

Заключение. Предложен метод построения оптимальной траектории спуска многоразовой одноступенчатой ракеты, алгоритм её решения, приведен пример решения задачи. Полученная траектория допускает естественную физическую интерпретацию.

Библиографический список

1. Каменков, Е.Ф. Маневрирование спускаемых аппаратов / Е.Ф. Каменков. – М.: Машиностроение, 1983. – С. 183.

2. Киселёв, В.И. Одноступенчатая осесимметричная ракета-носитель и способ создания подъёмной силы в процессе движения одноступенчатой ракеты-носителя / В.И. Киселёв, А.В. Вавилин, А.И. Плошкин, Ю.Ю. Усолкин, В.А. Фетисов // Патент РФ на изобретение № 2226169, зарегистрированный в Государственном реестре изобретений РФ 27 марта 2004 г.

3. Шкадов, Л.М. Механика оптимального пространственного движени летательных аппаратов в атмосфере / Л.М. Шкадов, Р.С. Буханова, В.Ф. Илларионов, В.П. Плохих. – М.: Машиностроение, 1972. – С. 240.

4. Киселёв, В.И. Метод формирования опорной траектории спускаемого летательного аппарата / В.И. Киселёв, Т.К. Сиразетдинов, А.С. Мещанов // Известия ВУЗов, Авиационная техника. – 1992. – № 3. – С. 14–18.

5. Киселёв, В.И. Об аналитическом проектировании динамических систем с ограничениями на параметры / В.И. Киселёв, О.В. Матвиенко О.В // НТС РК-Техника. – Серия 14. – 2009. – Вып. 1 (56). – С. 210–224.

6. Химмельблау, Д. Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау. – М.: Мир, 1975. – С. 536.

К содержанию

УДК 66.041-982

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ВАКУУМНО-КОМПРЕССИОННАЯ ПЛАВИЛЬНАЯ УСТАНОВКА

В.М. Лопатин, Р.Ш. Насыров

Описано устройство установки, которая предназначена для получения образцов особо чистого кварцевого стекла методом вакуумной плавки. Основным узлом установки является малогабаритная плавильная электропечь, сконструированная по принципу «матрешки», которая содержит вакуум-плотную термобаростойкую внутреннюю оболочку. Установка может использоваться при выполнении научно-исследовательских работ в области термообработки силикатных материалов.

Ключевые слова: высокотемпературная обработка силикатных материалов, синтез кварцевого стекла, вакуумно-компрессионная электропечь.

Изготовление кварцевых стекол особо чистой категории основано на использовании уникального оборудования, обеспечивающего синтез материала в вакуумной среде в условиях высоких рабочих температур. Вакуумная технология изготовления кварцевых стекол включает этапы очистки исходного сырья, вакуумной плавки, обработки расплавленного слитка в газовой среде высокого давления и отжиг. Высокотемпературные этапы вакуумной плавки и газовой обработки выполняются с помощью вакуумно-компрессионной установки, создание которой является сложной технической задачей. Сложность установки связана с высокими требованиями к материалам и узлам плавильной камеры, которая должна функциониро-

вать при температуре до 2000ºС и давлении газовой среды до 3 МПа. Степень сложности повышается в случае создания компактной установки, для которой возрастают значения градиентов температуры и газового давления.

Цель настоящей работы заключалась в создании вакуумно-компрессионной установки с настольным размещением плавильной камеры, то есть в малогабаритном исполнении. Выбор малогабаритного исполнения связан с необходимостью выполнения исследовательских работ в области силикатных технологий, когда масса получаемого слитка обеспечивает решение исследовательских задач и, как правило, не превышает одного килограмма.

Основным узлом плавильной установки является вакуумно-компрессионная электрическая печь [1]. Для достижения и поддержания указанных режимов температуры и давления в ограниченном рабочем объеме электропечи выбрана многослойная конструкция (рис. 1), в которую встроена прочная толстостенная оболочка (баллон), дополненная системами термоизоляции и водоохлаждения. В основу многослойной конструкции положен принцип «матрешки», наружная оболочка которой выполнена из тонкостенного металлического листа, а внутренняя представляет собой толстостенный баллон, который испытывает основные механические нагрузки и обеспечивает функционирование плавильной камеры. Зазор между оболочками образует полость, через которую прокачивается охлаждающая вода. Наружная и внутренняя оболочка выполнены в форме цилиндрического основания с крышкой, которые сопрягаются между собой с помощью фланцев и стяжных болтов через уплотнительную прокладку.

Внутренняя толстостенная оболочка ограничивает рабочий объем электропечи и образует плавильную камеру, оснащенную высокотемпературным тепловым узлом с резистивным нагревателем и многослойным тепловым экраном. Плавильная камера имеет вакуум-плотное и баростойкое исполнение, что позволяет выполнять операции вакуумирования или заполнения инертным газом высокого давления. Вакуумная откачка камеры выполняется через трубопровод, расположенный в крышке корпуса. При необходимости создания в камере высокого давления газа трубопровод перекрывается тарельчатым клапаном, который разделяет объемы низкого и высокого давления.

В зазоре между оболочками, через который прокачивается охлаждающая вода, расположен спиральный трубопровод для напуска и выпуска инертного газа. Водяное охлаждение трубопровода позволяет производить выпуск нагретого до высокой температуры газа из плавильной камеры в атмосферу на любом этапе рабочего цикла плавки, обеспечивая целостность как самого трубопровода, так и запорной арматуры газовой магистрали.

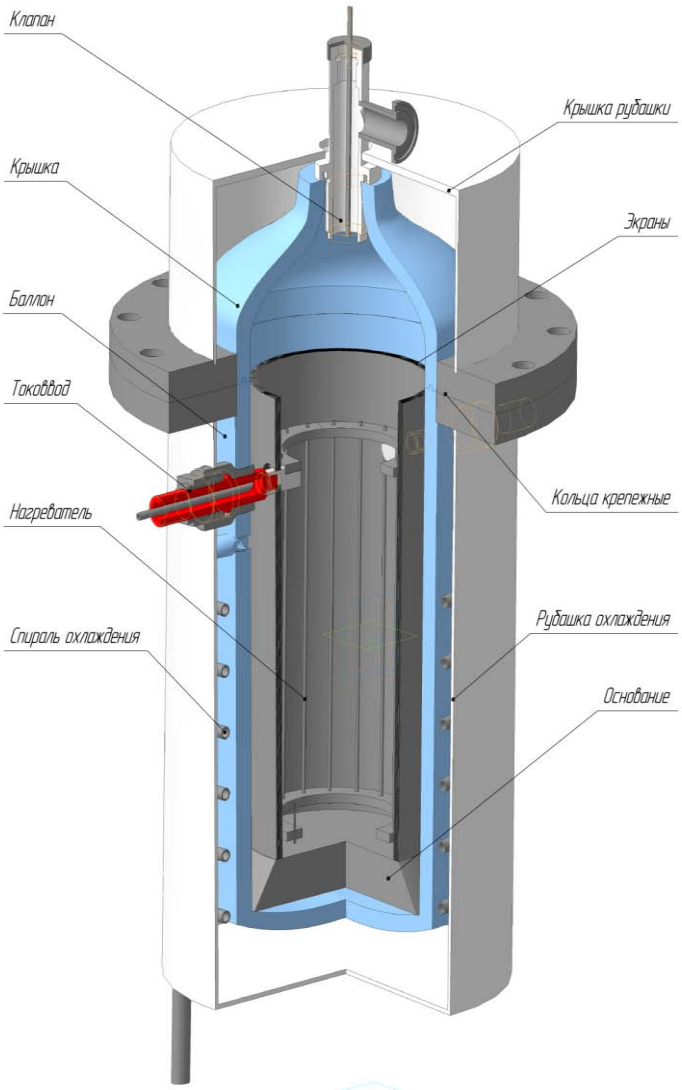


Рис. 1. Вакуумно-компрессионная электропечь

На цилиндрической поверхности электропечи диаметрально противоположно установлены два токоввода, через которые обеспечивается электропитание теплового узла. Токовводы выполнены из меди, имеют герметичное водоохлаждаемое исполнение и рассчитаны на токи до 1500 А. Тепловой узел камеры содержит четное количество стержневых вольфрамовых нагревателей, которые соединены с токовводами молибденовыми кольцами. Молибденовые кольца, между которыми располагается вольфрамовые нагреватели, образуют цилиндрическую конструкцию типа «беличье колесо», в котором верхнее кольцо разделено на два полукольца. Каждое полукольцо соединено при этом с одним из токовводов, в результате стержневые нагреватели разбиты на две равные группы проводников, соединенных между собой последовательно, а вольфрамовые стер-

жни закреплены в подвешенном состоянии и сохраняют работоспособность в процессе их нагрева и линейного расширения.

Нагреватели теплового узла помещены в теплоизоляционный экран, имеющий вид цилиндрического стакана с крышкой. Теплоизоляционный экран по всем поверхностям выполнен из нескольких слоев листового молибдена. Зазор между слоями экранов не менее 1–2 мм. Многослойная конструкция экрана эффективно поглощает излучение нагревателей и кварцевого слитка, который размещается во внутреннем объеме экрана в молибденовом тигле. Внутри теплового узла установлены также две вольфрам-рениевые термопары для регистрации температуры теплового узла.

Функционирование вакуумно-компрессионной электропечи в составе установки обеспечивают следующие агрегаты и системы (рис. 2).

1. Вакуумный пост обеспечивает предварительную откачку на уровне 10^{-1}–10^{-2} Па и величину предельного вакуума на уровне 10^{-4} Па.

2. Газовая система предназначена для плавного напуска инертного газа в плавильную камеру и выпуска горячего газа в атмосферу.

3. Блок электропитания теплового узла осуществляет регулировку тока через нагреватели в диапазоне до 1500 А при напряжении около 15 В.

4. Система водоохлаждения обеспечивает отвод тепла с внешней поверхности камеры.

5. Система контроля регистрирует значения давления, температуры и других параметров.

Рис. 2. Состав вакуумно-компрессионной установки

Состав агрегатов установки позволяет варьировать в широком диапазоне давление и температуру слитка кварцевого стекла и открывает тем самым большие возможности для проведения исследовательских работ в области термообработки силикатных материалов, в частности, в области получения высококачественного кварцевого стекла из природного сырья [2]. Ограниченный объем электропечи, не превышающий 15 литров, позволяет использовать установку не только в исследовательской работе, но и в мелкосерийном производстве малогабаритных кварцевых блоков.

Следует отметить также, что многослойная конструкция с компактным расположением основных элементов позволяет получить произведение $P \cdot V$ меньше 500 (V – объем рабочего газа в литрах и P – давление газа внутри печи в атмосферах), что соответствует безопасному уровню работ с сосудами высокого давления и допускает отсутствие регистрации в органах Госгортехнадзора России.

Разработка установки выполнялась в рамках Межотраслевого научно-исследовательского центра высокотемпературных расплавных и газофазных технологий при сотрудничестве специалистов Института минералогии УрО РАН и Филиала Южно-Уральского госуниверситета в г. Миассе. Авторы выносят благодарность студентам машиностроительного факультета Сучкову Алексею и Соломатову Егору за активную помощь в создании электронной конструкторской документации деталей и узлов установки.

Библиографический список

1. Пат. на полезную модель 150474 Российская Федерация, МПК F 27 B 14/04. Вакуумно-компрессионная электрическая печь / Р.Ш. Насыров, В.М. Лопатин. – № 2014113356/02; заявл. 04.04.2014; опубл. 20.02.2015, Бюл. № 5. – 6 с.

2. Насыров, Р.Ш. Высококачественное кварцевое стекло из природного сырья / Р.Ш. Насыров, С.А. Попов, В.М. Лопатин, Б.С. Лунин // Материаловедение. – 2013. – № 4. – С. 31–33.

К содержанию

УДК 629.7.025.64 + 533.6.013.416 + 533.6.011.55

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА ДАВЛЕНИЯ СФЕРЫ ЗА СЧЕТ МАЛОГО ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ ЕЁ ПЕРЕДНЕЙ ЧАСТИ ПРИ СВЕРХЗВУКОВОМ И ГИПЕРЗВУКОВОМ ОБТЕКАНИИ

Ю.А. Мокин

Рассмотрена задача оценки вариаций положения центра давления гиперзвуковых спускаемых летательных аппаратов (ГЛА), имеющих сферическую или близкую к сферической форму, за счет малого изменения формы поверхности передней части. В рамках метода дифференциальной гипотезы локальности (ДГЛ) с использованием теории Ньютона и метода местных сфер получены аналитические интегральные выражения линейного функционала, определяющего изменение положения центра давления для заданного изменения формы передней части сферы. Получены интегральные выражения и численные оценки нормы указанного оператора-функционала. Указан вид вариации поверхности, реализующей максимальную вариацию центра давления при заданных ограничениях изменения формы передней части сферы. Аналитические оценки подтверждены результатами прямых численных расчетов обтекания в рамках уравнений Эйлера и Навье-Стокса. Показано, что линейное изменение центра давления сферы может в 3–4 раза превышать величину нормальных вариаций ее поверхности.

Ключевые слова: гиперзвуковой летательный аппарат, сфера, полусфера, малые углы атаки, слабые вариации поверхности, центр давления.

Введение

Определение положения центра давления при сверхзвуковом и гиперзвуковом обтекании тел вращения заданной геометрии является одной из стандартных задач аэродинамики. В работе [1] изложена постановка и получено в общем виде решение в некотором смысле «обратной» задачи: задачи оценки максимально возможных величин изменения положения центра давления за счет малых вариаций поверхности тела вращения при малых углах атаки. В настоящей работе на основе указанного общего решения получены соответствующие оценки для частного случая сферической исходной формы спускаемого летательного аппарата. В методическом плане настоящую работу можно рассматривать в качестве продолжения работы [1] в части верификации ее результатов на эталонных примерах

сферы, полусферы или сферического сегмента, исследованию особенностей и численному моделированию сверхзвукового обтекания которых посвящены многие работы разных авторов.

Наряду с теоретическими аспектами тема работы имеет и практическую направленность. К летательным аппаратам, имеющим форму близкую сферической, можно отнести не только старинные пушечные ядра и некоторые современные космические аппараты, но и отдельные космические тела при их входе в атмосферу. Кроме того, спускаемые летательные аппараты, например, конической формы могут иметь сферическое притупление, форма которого в процессе абляции теплозащитного материала может изменяться с различной степенью предсказуемости.

Центр давления сферы (полусферы) при ее гиперзвуковом обтекании потоком газа, без учета ввиду относительной малости сил трения, совпадает с ее геометрическим центром. Если центр масс также расположен в центре сферы, то при отсутствии каких-либо органов управления или стабилизации все направления возможной ориентации сферы относительно вектора скорости набегающего потока можно считать равноправными, все стационарные аэродинамические силы и моменты относительно её центра в скоростной системе координат, кроме силы сопротивления, равны нулю. Если по каким-либо причинам (ориентация перегрузки, по условиям сохранности груза; конструктивные особенности; толщины теплозащитного покрытия; направленная радиосвязь) должна быть обеспечена ориентация сферы относительно потока, то это может быть достигнуто, например, путем малого смещения центра масс в направлении желательного положения критической точки. Величина указанного смещения и будет фактически определять запас статической устойчивости. Альтернативой смещению центра масс может быть также и смещение центра давления в заданном направлении за счет малого изменения формы, например – поверхности передней, потенциально наветренной части сферы. В обоих случаях, в первом – при учете возможного изменения формы лобовой части сферы за счет малых упругих деформаций конструкции и абляции ТЗМ, во втором – непосредственно, необходимо иметь оценки потенциально возможного изменения положения центра давления сферы при малых вариациях ее поверхности.

Целями настоящей работы являются:

– получение приближенных аналитических интегральных соотношений для оценки положения центра давления при малых вариациях формы передней части сферы (полусферы), обтекаемой сверхзвуковым потоком воздуха;

– численная оценка максимально возможных величин изменения положения центра давления при заданных ограничениях на величины вариаций поверхности передней части сферы;

– определение качественного характера вариаций поверхности полусферы, обеспечивающих реализацию максимального изменения положения центра давления;

– проверка и подтверждение полученных аналитических оценок результатами прямого численного расчета в рамках моделей невязких уравнений Эйлера, для модели равновесно диссоциирующего воздуха, и уравнений Навье-Стокса.

2. Постановка задачи

Рассмотрим гиперзвуковое обтекание полусферы единичного радиуса со слабыми вариациями поверхности при малых углах атаки α. Уравнение поверхности полусферы в цилиндрической системе координат (x, r, φ) представим в виде:

$$r(x,\varphi) = y(x) + \varepsilon \cdot \delta y(x); \quad -1 \le x \le 0;\ 0 \le \varphi \le 2\pi, \tag{1}$$

где $y(x) = \sqrt{1-x^2}$ – уравнение образующей полусферы с центром в начале координат; $\delta y(x)$ – слабая вариация образующей; ε – параметр малости.

На основе метода дифференциальной гипотезы локальности (ДГЛ) [2] в предположении, что распределение коэффициента давления на поверхности тела при малых углах атаки и слабых вариациях поверхности определяется выражением:

$$\Phi(x,\varphi) \approx \Phi_0(x) + \Phi_t(x) \cdot \Delta t + \frac{1}{2}\Phi_{tt}(x) \cdot \Delta t^2, \tag{2}$$

где $\Phi_0(x), \Phi_t(x), \Phi_{tt}(x)$ – коэффициенты–функции формулы Тейлора, определяющей величину давления на поверхности рассматриваемого тела при малых вариациях его поверхности и угла атаки; $t = \tan(\alpha_м)$ – тангенс местного угла атаки в рассматриваемой точке; $\Delta t = t(x,\varphi) - t_0(x)$ – приращение тангенса местного угла атаки; $t_0(x) = y'(x)$, в работе [1] получено интегральное выражение величины первой вариации центра давления δx_f за счет слабой вариации поверхности $\delta y(x)$:

$$\delta x_f = \frac{1}{I_1}\left\{ -\int_{x_н}^{x_к} F(x) \cdot \delta r(x) dx + G(x_к) \cdot \delta r(x_к) \right\}, \tag{3}$$

где $I_1 = \int_{x_н}^{x_к} \Phi_t \cdot (1 + p^2) \cdot r dx,$

$$G(x) = \Phi_{tt}(1+p^2)(x-x_f+pr)r + 2\Phi_t p(x-x_f+pr)r + \Phi_t \cdot (1+p^2)r^2,$$

$$F(x) = \Phi_{ttx} \cdot (1+p^2) \cdot r \cdot (x-x_f+r \cdot p) +$$

$$\Phi_{tt} \cdot [p \cdot (x-x_f+r \cdot p) \cdot (1+p^2+2r \cdot y'') + r \cdot (1+p^2) \cdot (1+p^2+r \cdot y'')] +$$

$$\Phi_{tx} \cdot [2r \cdot p \cdot (x-x_f+r \cdot p) \cdot p + r^2 \cdot (1+p^2)] +$$

$$\Phi_t \cdot [2r \cdot y'' \cdot (x-x_f+3r \cdot p) + 2r \cdot p \cdot (1+2p^2) - (1-p^2) \cdot (x-x_f)],$$

$r = r(x) = y(x); p = r'(x) = y'(x)$; x_f – координата центра давления тела исходной формы; $x_н$, $x_к$ – координаты начала и конца тела.

Для полусферы (1) после замены независимой переменной:

$$x = -\sin\theta; \quad -1 \le x \le 0; \quad 0 \le \theta \le \frac{\pi}{2};$$

имеют место следующие геометрические соотношения:

$$x_н = -1, \; x_к = 0; \quad \theta_н = \pi/2, \; \theta_к = 0;$$

$$y(x) = \sqrt{1-x^2} = \cos\theta; \qquad y'(x) = p = -x/\sqrt{1-x^2} = \tan\theta;$$

$$y''(x) = p' = -(1-x^2)^{3/2} = -1/\cos^3\theta.$$

2. Оценка δx_f для полусферы с использованием теории Ньютона

При использовании теории Ньютона в рамках метода ДГЛ величина коэффициента давления на поверхности тел при малых углах атаки и слабых вариациях поверхности определяется выражением:

$$\Phi(x,t) = \Phi(t) = \frac{2t^2}{1+t^2} = 2\sin^2\alpha_м; \quad (t = \tan\alpha_м).$$

Коэффициенты-функции представления $\Phi(t)$ полиномом Тейлора (2) и их производные для полусферы (1) определяются выражениями:

$$\Phi_0(x) = \frac{2y'(x)}{1+y'^2(x)} = 2x^2 = 2\sin^2\theta,$$

$$\Phi_t(x) = -4x \cdot (1-x^2)^{3/2} = 4\sin\theta \cdot \cos^3\theta,$$

$$\Phi_{tt}(x) = 4 \cdot (1-4x^2) \cdot (1-x^2)^2 = 4 \cdot (1-4\sin^2\theta) \cdot \cos^4\theta, \qquad (4)$$

$$\Phi_{tx}(x) = \frac{d}{dx}\Phi_t(x) = 4 \cdot (4x^2-1) \cdot (1-x^2)^{1/2} = 4 \cdot \cos\theta \cdot (4\sin^2\theta - 1),$$

$$\Phi_{ttx}(x) = \frac{d}{dx}\Phi_{tt}(x) = 48 \cdot x \cdot (1-x^2)(2x^2-1) = 48 \cdot \sin\theta\cos\theta \cdot (\cos^2\theta - \sin^2\theta).$$

Интегралы I_1, I_2 и x_f [1] с учетом равенств $R_м = L = 1$ равны:

$$I_1 = c_y^\alpha = \int_{-1}^{0} \Phi_t \cdot (1+p^2) \cdot r dx = 4 \int_0^{\pi/2} \cos^3\theta \sin\theta d\theta = 1,$$

$$I_2 = m_z^\alpha = \int_{-1}^{0} \Phi_t \cdot (1+p^2) \cdot r \cdot (x + r \cdot p) dx \equiv 0, \quad ((x + r \cdot p) \equiv 0). \qquad (5)$$

$$x_f = I_2 / I_1 = 0.$$

С учетом соотношений (4), (5) выражение (3) для полусферы (1) приводится к виду:

$$\delta x_f = 4 \int_0^{\pi/2} (1 - 3\sin^2\theta) \cdot \cos^2\theta \, \delta r(\theta) d\theta, \qquad (6)$$

где $\delta r(\theta) \equiv \delta y[x(\theta)]$ – радиальная вариация поверхности.

Обозначим через $\delta r_n(\theta)$ и $\delta r_x(\theta)$ соответственно нормальную и продольную вариации поверхности полусферы, величины которых связаны с $\delta r(\theta)$ соотношениями $\delta r_n(\theta) = \delta r(\theta) \cdot \cos\theta; \quad \delta r_x(\theta) = -\delta r(\theta) \cdot \operatorname{ctg}\theta$.

При $\delta r(\theta) = \varepsilon_{n_0} / \cos\theta \Leftrightarrow \delta r_n(\theta) = \varepsilon_{n_0} = const$ интеграл (6) равен нулю. Равенство $\delta x_f = 0$ в этом случае отражает то тривиальное обстоятельство, что изменение радиуса сферы как целого не приводит к изменению положения центра давления. При $\delta r(\theta) = -\varepsilon_{x_0} \cdot \tan\theta \Leftrightarrow \delta r_x(\theta) = \varepsilon_{x_0} = const$ интегрируя (6) получим $\delta x_f = \varepsilon_{x_0}$, что соответствует смещению полусферы как целого на такую же величину.

Следуя работе [1] на множестве Δ слабых вариаций поверхности $\delta r(\theta)$ с помощью произвольной ограничительно-нормирующей функции $\psi(\theta) \geq 0$ определим норму:

$$\left\| \delta r \right\|_\psi \overset{def}{=} \sup_{0 \leq \theta \leq \pi/2} \frac{|\delta r(\theta)|}{\psi(\theta)}.$$

Тогда множество вариаций Δ можно рассматривать как линейное нормированное пространство, а интеграл (6) как линейный оператор-функционал на этом пространстве с нормой:

$$\left\|\delta x_f\right\|_\psi \overset{def}{=} \sup_{\delta r\in\Delta}\frac{\left|\delta x_f\right|}{\left\|\delta r\right\|_\psi} = 4\int_0^{\pi/2}\left|(1-3\sin^2\theta)\cdot\cos^2\theta\right|\cdot\psi(\theta)d\theta\,. \qquad (7)$$

Получим оценки $\left\|\delta x_f\right\|_\psi$ для трех, удобных для практического использования, ограничительно-нормирующих функций $\psi(\theta)$:

$$\psi_1(\theta)=1;\quad \psi_2(\theta)=1/\cos\theta;\quad \psi_3(\theta)=\tan\theta\,;$$

первая равномерно ограничивает радиальные вариации поверхности, вторая – нормальные вариации, последняя – продольные. Величины $\left\|\delta x_f\right\|_\psi$ для указанных случаев равны:

$$\left\|\delta x_f\right\|_{\psi_1}\approx 2{,}187;\quad \left\|\delta x_f\right\|_{\psi_2}\approx 3{,}079;\quad \left\|\delta x_f\right\|_{\psi_3}\approx 1{,}667. \qquad (8)$$

Таким образом, при слабых нормальных вариациях поверхности полусферы в пределах $\pm 1\%$ ее радиуса возможно, согласно теории Ньютона, изменение положения ее центра давления в пределах $\approx \pm 3{,}08\%$ ($R_{сф}$).

Этот результат можно трактовать в том смысле, что при малых вариациях поверхности передней части сферы величина продольного смещения ее центра давления вне зависимости от формы нормальной вариации поверхности не может более чем в ≈ 3 раза превысить её максимальную величину.

С другой стороны, полученный результат позволяет ответить и на вопрос, каким образом при заданном ограничении на величину вариации поверхности можно получить близкую максимально возможной величину смещения центра давления. Для этого, исходя из вида подынтегрального выражения (6), следует на промежутках $\theta<\theta^*$ и $\theta>\theta^*$, где:

$$\theta^* = \arcsin(1/\sqrt{3}) \approx 35{,}264^\circ,$$

выбирать вариации поверхности максимально допустимые по абсолютной величине и противоположные по знаку. В окрестности $\theta=\theta^*$ при смене знака вариации в целях обеспечения ее слабости разрыв первого рода должен быть сглажен. При увеличении затупленности сферы ($\delta r(\theta)<0$ при $\theta>\theta^*$, и $\delta r(\theta)>0$ при $\theta<\theta^*$) реализуется положительное смещение фокуса $\delta x_f>0$; в противном случае $\delta x_f<0$.

Прямой численный расчет по теории Ньютона «полусферы» с уравнением образующей:

$$r(\theta)=\begin{cases}1{,}01; \quad \text{при} \quad 0\le\theta\le(\theta^*-5^\circ),\\ 1{,}0-0{,}01\cdot(\theta-\theta^*)/5; \quad \text{при} \quad (\theta^*-5^\circ)\le\theta\le(\theta^*+5^\circ),\\ 0{,}99; \quad \text{при} \quad (\theta^*+5^\circ)\le\theta\le 90^\circ;\end{cases} \qquad (9)$$

(θ – в градусах) дает величину смещения центра давления $\delta x_f = 0{,}0321$, близкую ожидаемой с учетом второй нормы в (8). При других величинах θ^* и вариациях поверхности других форм в тех же допусках величины смещений δx_f получаются меньшими. Таким образом, зависимость (6) в рамках теории Ньютона можно признать правильной. Все полученные оценки δx_f сохраняют силу и для модифицированной теории Ньютона.

3. Оценка величины δx_f на основе метода местных сфер (ММС)

Для оценки степени обоснованности полученных качественных и количественных оценок δx_f с использованием приближенной теории Ньютона ниже приведены результаты аналогичных оценок на основе композиции ДГЛ-метода и ММС.

В работе В.В. Лунева [3] приведена зависимость:

$$p = p_0' \cdot (1-1{,}17\cdot\sin^2\omega+0{,}225\cdot\sin^6\omega), \quad \left(\omega=\frac{\pi}{2}-\theta\right), \qquad (10)$$

аппроксимирующая распределение давления по поверхности полусферы при ее сверхзвуковом обтекании с большим числом Маха под нулевым углом атаки, где p_0' – давление в точке торможения. Зависимость (10) может быть использована и для расчета давления для притуплений близких по форме сферическим при малых углах атаки. Такой подход называют методом местных сфер.

Используя зависимость (10) при $M_\infty\to\infty$ для рассматриваемой задачи, и учитывая независимость оценок δx_f от p_0', представим зависимость коэффициента давления на поверхности полусферы при малых вариациях ее поверхности и малых углах атаки от местного угла атаки $\alpha_м$ в виде:

$$\Phi(t) = 2\cdot\left(1-1{,}17\frac{1}{1+t^2}+0{,}225\frac{1}{(1+t^2)^3}\right), \quad (t=\tan\alpha_м), \qquad (11)$$

Используя (11), замену $x = -\sin\theta$ и технологию ДГЛ-метода, получаем соотношение для вычисления δx_f в интегральном виде:

$$\delta x_f = \frac{1}{0{,}8325}\int_0^{\pi/2}[-9{,}36\cdot\cos^2\theta + 14{,}04\cos^4\theta + \\ +16{,}2\cdot\cos^6\theta - 18{,}9\cdot\cos^8\theta]\delta r(\theta)d\theta. \quad (12)$$

Линейный оператор-функционал (12) удовлетворяет двум тестовым случаям, отмеченным в п. 2, а его нормы для тех же ограничительно-нормирующих функций равны:

$$\left\|\delta x_f\right\|_{\psi_1} = 2{,}287; \quad \left\|\delta x_f\right\|_{\psi_2} = 3{,}425; \quad \left\|\delta x_f\right\|_{\psi_3} = 2{,}073. \quad (13)$$

На интервале $(0, \pi/2)$ подынтегральная функция в (12), как и в (6), имеет один корень $\theta^* \approx 42{,}6^\circ$ $(\cos\theta^* \approx 0{,}7363)$. Отличие полученных оценок норм (13) в рамках ММС от аналогичных оценок (8) для теории Ньютона составляют +4,6 %, +11,2 %, +24 % соответственно, для ψ_1, ψ_2, ψ_3 ; отличие корней θ^* составляет $\approx 7^\circ$.

Соответствие полученных результатов с учетом приближенности обоих методов можно оценить как удовлетворительное.

4. Результаты точных расчетов

Для проверки, подтверждения и уточнения полученных в пп. 2, 3 оценок проведена серия прямых численных расчетов сверхзвукового и гиперзвукового обтекания сферы и полусферы с малыми вариациями поверхности. Параметрические расчеты для полусферы проведены в рамках уравнений Эйлера для модели невязкого равновесно диссоциированного воздуха. Контрольные расчеты обтекания полусферы и полной сферы с малыми вариациями поверхности с учетом и без учета вклада донной области проведены путем решения осредненных уравнений Навье-Стокса по комплексу FloEFD [4].

Уточнение результатов преследовало следующие конкретные цели:

а) уточнение величины угла θ^* смены знака вариации поверхности для обеспечения «наибольшего» смещения центра давления;

б) уточнение численного значения нормы $\left\|\delta x_f\right\|_{\psi_2}$, как наиболее значимой;

в) оценка возможного влияния учета (не учета) вклада донной области (поверхности) на величину смещения центра давления за счет вариации поверхности передней части полусферы или полной сферы.

Для уточнения θ^* проведены параметрические расчеты обтекания «полусферы» с уравнением образующей поверхности для чисел Маха $M_\infty = 10 \ldots 20$ в окрестности $\theta^* \approx 40^\circ$. Максимальное смещение δx_f реализуется для $\theta^* \approx 40 \ldots 42^\circ$, что ближе оценке θ^* по методу местных сфер, при этом $\max\limits_{\theta^*}\{\delta x_f\} \approx 0{,}043$.

Проверка и уточнение полученных оценок путем расчета по комплексу FloEFD [4] проведена для указанной выше геометрии полусферы и сферы (9) с $\theta^* = 42^\circ$ при $M_\infty = 20$, $\mathrm{Re}_\infty = 0.5 \cdot 10^8$ для турбулентного пограничного слоя. Для «полусферы» без учета донной области смещение центра давления составляет величину $\delta x_f \approx 0{,}041 \ldots 0{,}043$, с учетом донной области – $\delta x_f \approx 0{,}039 \ldots 0{,}041$. Таким образом, для полусферы учет вклада распределения давления по донной поверхности практически не влияет на δx_f.

Для полной сферы, с геометрией передней части (9) и наличием задней полусферы, расчетное смещение центра давления составляет $\delta x_f \approx 0{,}035 \ldots 0{,}036$. Таким образом, учет влияния распределения давления на задней части сферы приводит к уменьшению смещения центра давления на $\approx 0{,}005$ относительно чистой полусферы. Полученные численные оценки δx_f практически постоянны до углов атаки $\alpha \approx 10°$.

Выводы

Получены приближенные аналитические интегральные зависимости для оценки изменения положения центра давления сферы (полусферы) за счет малых вариаций поверхности ее передней части, проведены проверочные параметрические расчеты величин смещения с использованием точных численных методов.

Все полученные оценки смещения центра давления сферы (полусферы), как аналитические приближенные на основе методики работы [1], так и «точные» численные в окрестности полученных аналитических решений, удовлетворительно согласуются друг с другом.

Таким образом, при сверхзвуковом и гиперзвуковом обтекании сферы (полусферы) с малыми вариациями ее передней части в пределах ±1 % ее радиуса, по нормали к поверхности, возможны изменения продольной координаты ее центра давления до ±(3…4) % радиуса.

Библиографический список

1. Мокин, Ю.А. Оценка вариаций положения центра давления за счет малого изменения формы затупленных тел вращения при их гиперзвуковом обтекании / Ю.А. Мокин, В.И. Киселев // Наука ЮУрГУ [Электронный ресурс]: материалы 66-й научной конференции. Секции технических наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – С. 1719–1727.

2. Мокин, Ю.А. О возможностях решения задач гиперзвуковой аэродинамики на основе дифференциальной формы представления обобщенной гипотезы локальности и ее композиции с точными численными методами / Ю.А. Мокин // Космонавтика и ракетостроение. – 2008. – Вып. 2(51). – С. 136–145.

3. Лунев, В.В. Гиперзвуковая аэродинамика / В.В. Лунев. – М.: Машиностроение, 1975. – С. 328.

4. Алямовский, А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.

К содержанию

УДК 539.4

ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОЧНОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИЯХ ИМПУЛЬСА ДАВЛЕНИЯ

А.Г. Мухачев, Л.Т. Хуснияров

Рассмотрено нагружение многослойной осесимметричной оболочечной конструкции боковым импульсом давления. Уровень импульсного нагружения оценивается механической энергией, приобретаемой конструкцией к моменту окончания воздействия, определяемой величиной импульса и его спектральной плотностью. Величина допустимого импульса давления определяется из условия равенства начальной механической энергии работе по деформированию несущих слоев оболочки до допустимого для их материалов уровня.

Ключевые слова: осесимметричная оболочка, импульс давления, спектральная плотность, напряженно-деформированное состояние, допустимая деформация, работа по деформированию материала.

В работе рассматриваются распределенные по поверхности осесимметричных тонкостенных оболочечных конструкций кратковременные воздействия давления с длительностью τ:

$$p(x, \varphi, t) \geq 0 \text{ при } 0 \leq t \leq \tau;$$

$$p(x, \varphi, t) = 0 \text{ при } t < 0 \text{ и } t > \tau.$$

Предполагается, что характерный размер области приложения и изменения нагрузки l_p достаточно велик по сравнению с толщиной оболочки ($l_p >> h$).

Дополнительно будем предполагать возможность разделения переменных в описании воздействий:

$$p(x, \varphi, t) = J(x, \varphi) \cdot f(t),$$

где $J(x, \varphi) = \int_0^{\tau} p(x, \varphi, t)\, dt$ – интегральный импульс давления на поверхности;

$f(t)$ – нормированная функция распределения импульса по времени.

В представляемой работе к импульсным отнесены такие кратковременные воздействия, максимальная реакция конструкции на которые наступает после окончания воздействий. Для линейных (линеаризованных) механических систем со многими степенями свободы это требование распространяется и на реакции всех отдельно взятых учитываемых тонов колеба-

ний. Идеальными импульсными воздействиями будем называть воздействия, являющиеся импульсными для любых механических систем, для всех тонов их колебаний, Функцией распределения идеальных импульсов по времени является дельта-функция Дирака: $f(t) = \delta(t)$.

Характеристики импульсных воздействий, интенсивность и условия эквивалентности различных импульсов будем определять по максимальной реакции на них линейных механических систем [1]. Уравнение движения линейной механической системы с одной степенью свободы при импульсном нагружении может быть записано в виде:

$$\ddot{u} + 2n\dot{u} + \omega^2 u = \frac{I \cdot f(t)}{m}, \qquad (1)$$

где m, u – масса и перемещение системы;

I –интегральный импульс силы;

f (t) – нормированная функция распределения импульса по времени;

n – коэффициент затухания колебаний;

ω – круговая частота свободных колебаний.

Реакция системы может быть представлена в виде интеграла Дюамеля, из которого для свободных слабо демпфированных ($n << \omega$) колебаний при $t \geq \tau$ следует:

$$u = \frac{\Phi(\omega)}{m\omega} e^{-nt} \sin(\omega t - \alpha), \qquad (2)$$

где $\Phi(\omega) = \sqrt{\Phi_s^2(\omega) + \Phi_c^2(\omega)}$ – модуль плотности спектра Фурье (далее спектральная плотность) импульса,

$\Phi_s(\omega) = \int_0^\tau I\ f(t)\ \sin\omega t\, dt$ – синус-преобразование Фурье импульса,

$\Phi_c(\omega) = \int_0^\tau I\, f(t) \cos\omega t\, dt$ – косинус-преобразование Фурье импульса,

$\alpha = \operatorname{arctg}\frac{\Phi_s(\omega)}{\Phi_c(\omega)}$ – фазовый угол.

Как следует из (2) для свободных колебаний после окончания импульса начальные амплитуда и полная энергия колебаний определяются спектральной плотностью Фурье импульса:

$$u_m = \frac{\Phi(\omega)}{m\omega}, \quad W_0 = \frac{\Phi^2(\omega)}{2m}. \qquad (3)$$

Из (3) следует, что мерой интенсивности импульсных воздействий является его спектральная плотность $\Phi(\omega)$ – монотонно убывающая функция частоты. Для идеальных импульсов спектральная плотность $\Phi(\omega) = I$. Для практического использования более удобны нормированные (отнесен-

ные к интегральному импульсу) величины спектральной плотности $\Phi_н(\omega) = \Phi(\omega)/I$, определенные непосредственно по функции распределения $f(t)$. Для идеальных импульсов нормированная спектральная плотность $\Phi_н(\omega) = 1$, а соответствующая ей полная энергия колебаний равна:

$$W_0 = \frac{I^2 \Phi_н^2(\omega)}{2m}. \quad (4)$$

В случаях импульсного нагружения конструкций воздействия внешних сил в расчетных моделях можно свести к заданию начальных условий. Если переходный процесс в механической системе обусловлен начальными условиями и представляет собой свободные затухающие колебания, то общий уровень нагружения естественно охарактеризовать величиной начальной энергии системы.

Для дискретных математических расчетных моделей со многими степенями свободы, обычно получаемых при конечно-элементном моделировании конструкций, начальные условия задаются векторами начальных узловых скоростей $\{\dot{u}_0\}$.

Полная начальная энергия системы W_0 при идеальных импульсных воздействиях определяется суммарной кинетической энергией:

$$W_0 = \frac{1}{2}\{\dot{u}_0\}^T [M] \{\dot{u}_0\}, \quad (5)$$

где $[M]$, – матрица инерционных характеристик конечно-элементной модели.

К заданию начальных скоростей сводится задача нагружения импульсами малой длительности (на порядок меньшей периодов колебаний в спектре реакции). Векторы узловых сил и начальных скоростей при таких идеальных импульсных воздействиях могут быть представлены в виде:

$$\{F(t)\} = \{I\}\delta(t), \quad (6)$$

$$\{\dot{u}_0\} = [M]^{-1}\{I\}, \quad (7)$$

где $\{F(t)\}$ и $\{I\}$ – векторы узловых сил и импульсов, соответственно;

Рассмотрим нагружение многослойной осесимметричной оболочечной конструкции импульсом давления. Распределение $p(\varphi, t)$, постоянного по длине, идеального бокового импульса давления задавалось в виде:

$$p(\varphi, t) = J_0 \delta(t) \cos\varphi \cdot H\left(\frac{\pi}{2} - |\varphi|\right), \quad (8)$$

где φ – угол между нормалью к поверхности оболочки и направлением интегрального воздействия;

J_0 – амплитуда импульса давления;

H(φ) – единичная функция Хевисайда.

Критерием сохранения прочности принимаем условие:

$$\varepsilon_{max} \le \varepsilon_{доп}, \quad (9)$$

где ε_{max} – максимальное значение интенсивности деформации оболочки;

$\varepsilon_{доп}$ – минимальное значение допустимой деформации материалов несущих слоев оболочки.

Величину допустимого осесимметричного импульса давления, соответствующего допустимой деформации определяем из условия равенства кинетической энергии многослойной оболочки работе по деформированию её несущих слоев до допустимого уровня:

$$W_0 = \frac{J_{доп}^2}{2M} = \sum_{k=1}^{k=m} h_k \int_0^{\varepsilon_{доп}} \sigma_{ij} d\varepsilon_{ij}, \quad (10)$$

где M – масса единицы поверхности многослойной оболочки.

$$M = \sum_{i=1}^{i=n} \rho_i h_i. \quad (11)$$

ρ_i, h_i – плотность, материала и толщина i - го слоя оболочки;

где n – полное число слоев оболочки;

m – число несущих слоев оболочки;

σ_{ij} – тензор напряжений;

ε_{ij} – тензор деформаций;

i, j= 1, 2, 3;

В запас прочности заменяем в интеграле (10) плоское нагружение материалов в оболочках одноосным, приводящим при заданной энергии к большей величине деформации и ее интенсивности.

Допустимая амплитуда косинусоидального импульса определяется как:

$$J_{0доп} = \psi J_{доп}, \quad (12)$$

где Ψ – коэффициент, учитывающий неоднородность деформированного состояния при косинусоидальном нагружении, зависящий от отношения допустимой деформации к деформации текучести (1≤Ψ≤1,41).

Запас прочности оболочки может быть оценен по величине амплитуды вычисленного допустимого импульса отношением:

$$\eta = \frac{J_{0доп}}{J_{0расч}}, \quad (13)$$

где $J_{0расч}$ – расчетная амплитуда импульса с учетом принимаемого коэффициента безопасности f на действующую нагрузку:

$$J_{0расч} = f J_0 . \quad (14)$$

В частности, для оболочки с одним несущим слоем толщиной h из упругого материала с модулем Юнга E и коэффициентом Пуассона ν допустимая амплитуда косинусоидального импульса, получаемая из уравнений (10) и (12) определяется выражением:

$$J_{0доп} = \varepsilon_{доп}\sqrt{2MEh/(1-\nu^2)} . \quad (15)$$

В линейной постановке уровень напряженно-деформированного состояния может быть оценен разложением по тонам собственных колебаний. Для тонкостенных цилиндрических оболочечных конструкций круговые частоты и соответствующие амплитуды кольцевых напряжений для основных тонов колебаний, возбуждаемых при воздействии бокового импульса давления, могут быть оценены выражениями [2]:

$$\omega_1 = \frac{c}{R}; \quad \omega_2 = \frac{\sqrt{2}c}{R}; \quad (16)$$

$$\sigma_1 = \frac{1}{\pi}\frac{J_0 c}{h}; \quad \sigma_2 = \frac{1}{2\sqrt{2}}\frac{J_0 c}{h}, \quad (17)$$

где R, c – радиус и скорость распространения волн сжатия в многослойной оболочке;

$$c = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=m}\frac{E_i h_i}{(1-\nu_i^2)}\Big/ M} ; \quad (18)$$

E_i, ν_i, h_i – модуль Юнга, коэффициент Пуассона материала и толщина i-го слоя оболочки;

m – число несущих слоев оболочки.

Расчетная оценка напряжений при учете двух членов ряда составляет:

$$\sigma \approx \sigma_1 + \sigma_2 \approx 0.67\left(\frac{J_0 c}{h}\right) \approx 0.94\sigma_{max} . \quad (19)$$

при относительной погрешности $\alpha \approx 0.06$.

Полная энергия колебаний отдельно взятого кольцевого элемента единичной ширины оболочки при идеальном косинусоидальном импульсном воздействии составляет:

$$W_\Sigma = 2\int_0^{\pi/2}\frac{J_0^2\cos^2\varphi}{2M}Rd\varphi = \frac{3\pi}{16}\left(\frac{J_0^2 R}{M}\right). \quad (21)$$

При этом вклад двух первых тонов в суммарную энергию составляет [3]:

$$W_{10} = \frac{1}{\pi}\left(\frac{J_0^2 R}{M}\right) = \frac{16}{3\pi^2} W_\Sigma;\ W_{20} = \frac{\pi}{16}\left(\frac{J_0^2 R}{M}\right) = \frac{1}{3} W_\Sigma. \quad (22)$$

$$W_0 = W_{10} + W_{20} \approx 0.87 W_\Sigma \approx (1-2\alpha) W_\Sigma. \quad (23)$$

Поскольку в линейных моделях энергия пропорциональна квадрату напряжений, то при заданной относительной погрешности расчета характеристик напряженно-деформированного состояния равной α, доля учитываемой энергии должна составлять не менее $(1-2\alpha)$.

Класс импульсных воздействий, уровень которых можно оценить интегралом энергии (3), не ограничивается идеальными импульсами. К этому классу можно отнести все рассматриваемые в работе кратковременные воздействия, максимальная реакция на которые достигается при свободных колебаниях после окончания воздействия. Длительность таких воздействий зависит от формы импульса и может быть оценена величиной $\tau_{max} \approx T/2$, где T – минимальный период учитываемых тонов колебаний.

Критерием импульсного характера нагружения оболочек с частотами собственных колебаний (16) является условие:

$$\tau \le \frac{T_2}{2} = \frac{\pi R}{\sqrt{2} c}. \quad (24)$$

При выполнении этого условия энергии отдельно взятых тонов колебаний в начале переходного процесса (при $t=\tau$) в соответствии с (4) определяются по спектральным плотностям Фурье импульса на частотах собственных колебаний:

$$W_{i0} = \frac{I_i^2 \Phi_н^2(\omega_i)}{2 m_i}, \quad (25)$$

где I_i и m_i – приведенные импульс и масса для i-го тона.

При этом вклад двух первых тонов в суммарную энергию вследствие монотонного убывания спектральной плотности с возрастанием частоты будет увеличиваться и составлять более $(1-2\alpha)$. Полученные величины суммарной энергии могут быть использованы в энергетическом соотношении (10) для расчетов и нелинейного деформирования.

Библиографический список

1. Мухачев, А.Г. Об эквивалентности импульсных воздействий для линейных механических систем / А.Г. Мухачев // Системы управления и информационные технологии. – 2008. – 3.1(33). – С. 184–187.

2. Humphreys J.F., Winter R. Dynamic response of a cylinder to a side pressure pulse // AIAA. J. Vol.3. – 1965. – № 1. – Pp. 27–32.

3. Перцев, А.К. Динамика оболочек и пластин / А.К. Перцев, Э.Г. Платонов. – Л.: Судостроение, 1987.

К содержанию

УДК 629.78

ТРЕХМЕРНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ ИЗДЕЛИЯ С ПЕРЕМЕННЫМИ МАССО-ЦЕНТРОВОЧНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

А.А. Суслов

В статье рассматривается трехмерная динамическая модель движения в атмосфере изделия с переменными массо-центровочными характеристиками. Управление угловым и поступательным движением осуществляется с помощью изменения положения центра масс изделия в поперечной плоскости. Итогом работы является программное средство, позволяющее моделировать движение изделия в атмосфере при различных стратегиях его поведения.

Ключевые слова: изменение положения центра масс изделия в поперечной плоскости.

При движении изделия в атмосфере одним из возможных способов создания управляющих усилий является способ, основанный на изменении положения центра масс изделия в плоскости, перпендикулярной его продольной оси. Такое измененное положение центра масс приводит к появлению аэродинамического момента, вызывающего переориентацию изделия в новое угловое положение. При таком способе управления существует ряд проблем, требующих углубленного изучения. В общем случае изменение положения центра масс может производиться по двум поперечным осям одновременно. Это приводит к сильным возмущениям по каналу крена и возможной потере устойчивости. Природа такого возмущения описана, например, в [1]. Движение изделия оказывается пространственным, поэтому возникают существенные перемещения и по дальности, и по боковой дальности. Для описания, такого взаимозависимого углового и пространственного движения была разработана трехмерная модель движения в атмосфере изделия с центром масс, имеющим возможность перемещения в поперечной плоскости. Основные положения этой модели описаны ниже.

Интегрирование движения центра масс ведется в инерциальной геоцентрической системе координат в предположении, что Земля имеет форму шара. Гравитационное поле предполагается центральным. Тогда уравнения движения центра масс имеют вид [3]:

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = -\mu\frac{\vec{r}}{r^3} + \frac{\vec{F}_A}{m}, \qquad (1)$$

где $\vec{r}$ – радиус-вектор центра масс ЛА, $\vec{F}_A$ – аэродинамическая сила, действующая н а ЛА, m – его масса, μ = 398600 м^3/с^2. Начальные условия формируются на любой долготе, широте и по любому пеленгу.

При формировании начальных условий на момент входа в атмосферу учитывается вращение Земли. В частности, учитывается переносная скорость вращения Земли на широте старта и связанные с этим изменения скоростного напора, углов атаки и скольжения.

Для перевода параметров движения из инерциальной системы координат в связанную систему координат и обратно вычисляются соответствующие матрица перехода.

Матрица перехода из инерциальной геоцентрической системы координат в инерциальную стартовую систему координат XX_{st}:

$$XX_{st} = E(1, -\pi - P) * E(2, -\phi) * (E(3, \lambda),$$

где ϕ, λ – углы широты и долготы точки старта, P – пеленг стрельбы, $'$ – знак транспонирования. Обозначение $E(n, x)$ обозначает матрицу поворота вокруг n-й оси на угол x.

Матрица перехода из инерциальной стартовой системы координат в связанную систему координат $X_{st}X_1$:

$$X_{st}X_1 = E(3, \vartheta) * E(2, \psi) * (E(1, \varphi),$$

где φ, ψ, ϑ – углы крена, рыскания и тангажа, или углы Эйлера-Крылова.

Матрица перехода из инерциальной геоцентрической системы координат в связанную систему координат XX_1:

$$XX_1 = X_{st}X_1 * XX_{st}.$$

Параметры атмосферы задаются в виде таблицы Международной стандартной атмосферы [4] $\rho = \rho(h)$ и используются для вычисления величин скоростного напора и связанных с ним аэродинамических сил и моментов.

Угловое движение описывается уравнениями вида [5]:

$$\begin{gathered} J_{xx}\dot{\omega_{x1}} + (J_{zz} - J_{yy})\omega_{y1}\omega_{z1} = M_{Ax} + M_{x\text{упр}}, \\ J_{yy}\dot{\omega_{y1}} + (J_{xx} - J_{zz})\omega_{z1}\omega_{x1} = M_{Ay}, \\ J_{zz}\dot{\omega_{z1}} + (J_{yy} - J_{xx})\omega_{x1}\omega_{y1} = M_{Az}, \end{gathered} \quad (2)$$

где J_{xx}, J_{yy}, J_{zz} – главные моменты инерции относительно центра масс ЛА, $\omega_{x1}, \omega_{y1}, \omega_{z1}$ – угловые скорости вращения вокруг осей *x, y, z*, соответственно, M_A – момент, создаваемый действием аэродинамической силы относительно центра масс ЛА:

$$\overrightarrow{M_A} = (\vec{r}_A - \vec{r}_c) \times \vec{F}_A,$$

где $F_{Ax} = C_x S\frac{\rho V^2}{2}$, $F_{Ay} = \alpha C_y^{\alpha} S\frac{\rho V^2}{2}$, $F_{Az} = \beta C_y^{\beta} S\frac{\rho V^2}{2}$ – компоненты аэродинамической силы, C_x, C_y^{α}, C_y^{β} – аэродинамические коэффициенты, α – угол атаки, т.е. угол между вектором скорости и плоскостью X_1OZ_1, β – угол скольжения, т.е. угол между вектором скорости и плоскостью X_1OY_1

связанной с ЛА системы координат, $\vec{r}_A$- радиус точки приложения аэродинамической силы, $\vec{r}_c$ – радиус центра масс ЛА, имеющий компоненты $x_c,\ y_c,\ z_c$. $M_{x\text{упр}}$ – момент, создаваемый управляющими двигателями.

Угловые координаты, задающие положение объекта в пространстве, могут быть вычислены двумя путями. Первый путь состоит в том, чтобы выразить производные этих углов через угловые скорости и их интегрировать. В этом случае производные углов Эйлера-Крылова могут быть выражены следующим образом [3]:

$$\begin{Bmatrix} \dot{\varphi} \\ \dot{\psi} \\ \dot{\vartheta} \end{Bmatrix} = X_1 X_{st} * \begin{Bmatrix} \omega_{x1} \\ \omega_{y1} \\ \omega_{z1} \end{Bmatrix}, \tag{3}$$

где $X_1 X_{st}$ – матрица перехода из связанной системы координат в стартовую систему координат. Второй путь состоит в том, чтобы интегрировать направляющие косинусы, содержащиеся в матрице $X_1 X_{st}$, а потом из элементов матрицы вычислять углы Эйлера-Крылова. В таком случае уравнения для интегрирования направляющих косинусов имеют вид:

$$\dot{\overrightarrow{e_k}} = \vec{\omega} \times \overrightarrow{e_k}, \tag{4}$$

где $\overrightarrow{e_k}$ (k = 1,2,3) – вектор столбец матрицы перехода $X_1 X_{st}$. В каждом случае есть свои достоинства и недостатки. Первый путь, заключающийся в интегрировании системы уравнений (4), оказывается предпочтительнее по двум обстоятельствам: можно интегрировать углы в широком диапазоне их изменения, в том числе и по модулю больше 180 градусов; не возникает сингулярностей, т.е. ситуаций, в которых приходится делить на бесконечно малое число. Интегрирование направляющих косинусов по формуле (5) имеет преимущество, связанное с тем, что перед вычислением углов элементы матрицы можно нормировать, повышая тем самым точность вычислений. Однако, разрывность значений углов при переходе через значение 180 градусов делает второй путь менее ценным.

Углы атаки α и скольжения β вычисляются по формулам:

$$\alpha = -\operatorname{atan}\left(\frac{V_{y1}}{V_{x1}}\right), \tag{5}$$

$$\beta = -\operatorname{atan}\left(\frac{V_{z1}}{V_{x1}}\right),$$

где V_{x1}, V_{y1}, V_{z1} – координаты вектора скорости в связанной системе координат. Данные формулы дают возможность вычислять углы атаки и скольжения в диапазоне ±90º, что вполне достаточно, т.к. вряд ли будет расчетным даже случай достижения этими углами хотя бы половины указанного диапазона.

Управление угловым движением, как известно, разделяется на две подзадачи:

– построение программного углового движения, т.е. задание программных значений углов крена $\varphi_{пр}$, рыскания $\psi_{пр}$, тангажа $\vartheta_{пр}$, а также программных угловых скоростей $\omega_{x1пр}$, $\omega_{y1пр}$, $\omega_{z1пр}$в зависимости от времени;

– стабилизация относительно выбранного программного движения, которая осуществляется в отклонениях относительно связанных осей: $\Delta\varphi_{св}$, $\Delta\psi_{св}$, $\Delta\vartheta_{св}$. Указанные отклонения вычисляются через соотношения:

$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= \varphi - \varphi_{пр}, \\ \Delta\psi &= \psi - \psi_{пр}, \\ \Delta\vartheta &= \vartheta - \vartheta_{пр}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для этого используется матрица перехода $X_{st}X_1$. Формула пересчета имеет вид:

$$\begin{Bmatrix} \Delta\varphi_{св} \\ \Delta\psi_{св} \\ \Delta\vartheta_{св} \end{Bmatrix} = X_{st}X_1 * \begin{Bmatrix} \Delta\varphi \\ \Delta\psi \\ \Delta\vartheta \end{Bmatrix}. \quad (7)$$

Отклонения относительно программных угловых скоростей имеют вид:

$$\begin{aligned} \Delta\omega_{x1} &= \omega_{x1} - \omega_{x1пр}, \\ \Delta\omega_{y1} &= \omega_{y1} - \omega_{y1пр}, \\ \Delta\omega_{z1} &= \omega_{z1} - \omega_{z1пр}. \end{aligned} \quad (8)$$

Массо-центровочные и моментные характеристики были взяты для гипотетического объекта конической формы высотой 1,3 м и диаметром основания 0,35 м. Масса объекта принята равной 200 кг. Моменты инерции вычислены, исходя из предположения, что масса объекта равномерно распределена по объему конуса. При таком условии момент инерции $J_{xx} = \frac{3}{10}m * R^2$, а поперечные моменты инерции $J_{уу} = J_{zz} = \frac{1}{10}m * H^2 + + \frac{3}{20}m * R^2 - \frac{1}{16}m * H^2$. В последней формуле учтено, что центр масс конуса расположен на расстоянии $\frac{1}{4}H$ от основания, и в связи с этим моменты инерции пересчитываются в соответствии с теоремой Гюйгенса [6].

Центр давления предполагался расположенным за центром масс объекта на расстоянии 0,01 Н от него. Для острого конуса считаем что $C_x = 0{,}06$, а $C_y^\alpha = C_y^\beta = 2$ в соответствии с [7].

С целью сравнения описанной выше математической модели с упрощенной плоской моделью движения изделия [2] проведены расчеты спуска изделия в атмосфере на балансировочных углах атаки при равных начальных условиях. Для этого в расширенной модели был проведен расчет с широтой и долготой старта, равными нулю и пеленгом стрельбы, равным 90º. Угловая скорость вращения Земли также была равна 0. Аэродинамиче-

ское качество К изменялось в диапазоне от 0 до 1. Для движения центра масс в упрощенных условиях расчетов такое совпадение получено.

Далее изучалась возможность осуществления управляющего воздействия с помощью изменения положения центра масс объекта. В общем случае, как известно, для создания управления по трем каналам стабилизации необходимо иметь три независимых параметра для создания управляющего воздействия. Значит, для канала крена нужно использовать другие управляющие возможности, например, реактивные двигатели малой тяги. Такое управление может быть организовано с помощью четырех двигателей малой тяги, векторы тяг которых расположены в плоскости, перпендикулярной продольной оси объекта. Управляющий момент по крену создается перетягом по закону:

$$P_+ = P_0(1+\delta),$$
$$P_- = P_0(1-\delta), \qquad (10)$$

где P_+ – тяга двигателей, создающих положительный момент по крену, а P_- – тяга двигателей, создающих отрицательный момент по крену. Параметр перетяга δ для обеспечения управляющего воздействия будем вычислять по формуле:

$$\delta = \mathrm{C}_1 * \Delta\varphi_{\text{св}} + \mathrm{C}_2 * \Delta\omega_{x1}. \qquad (11)$$

Управление перемещением по поперечным каналам будем осуществлять в соответствии с формулами:

$$z_c = \mathrm{C}_{1\psi} * \Delta\psi_{\text{св}} + * \Delta\omega_{y1}, \qquad (12)$$
$$y_c = \mathrm{C}_{1\vartheta} * \Delta\vartheta_{\text{св}} + \mathrm{C}_{2\vartheta} * \Delta\omega_{z1},$$

где $\mathrm{C}_{1\psi}, \mathrm{C}_{2\psi}, \mathrm{C}_{1\vartheta}, \mathrm{C}_{2\vartheta}$ – некоторые коэффициенты, предназначенные для организации обратной связи между отклонениями параметров углового движения и перемещением центра масс в соответствующих каналах управления. Отклонения углов $\Delta\varphi_{\text{св}}$,$\Delta\psi_{\text{св}}$,$\Delta\vartheta_{\text{св}}$ и угловых скоростей $\Delta\omega_{x1}, \Delta\omega_{y1}, \Delta\omega_{z1}$ вычисляются относительно их программных значений, которые задаются исходя из поставленной перед объектом задачи. Для гипотетического осесимметричного объекта программные значения задают достаточно простую стратегию полета, позволяющую показать принципиальную возможность осуществления выбранного способа стабилизации.

Для объекта со смещением центра масс сразу в двух направлениях была реализована стабилизация одновременно по каналам крена по закону (11), а тангажа и рыскания по закону (12). Предполагалось, что смещение центра масс не может превышать 0.1м (при диаметре Миделя 0,35 м).

Стабилизация по всем трем каналам отражена на рисунках 1–6. Программные значения по углам крена и рыскания были равны нулю, по тангажу поддерживалось программное значение $\vartheta_{\text{пр}}$= -110град. При этом,

в связи с тем, что вектор линейной скорости из-за торможения опускается круче вниз, появляется стабильное значение угла атаки, примерно равное 5 градусов.

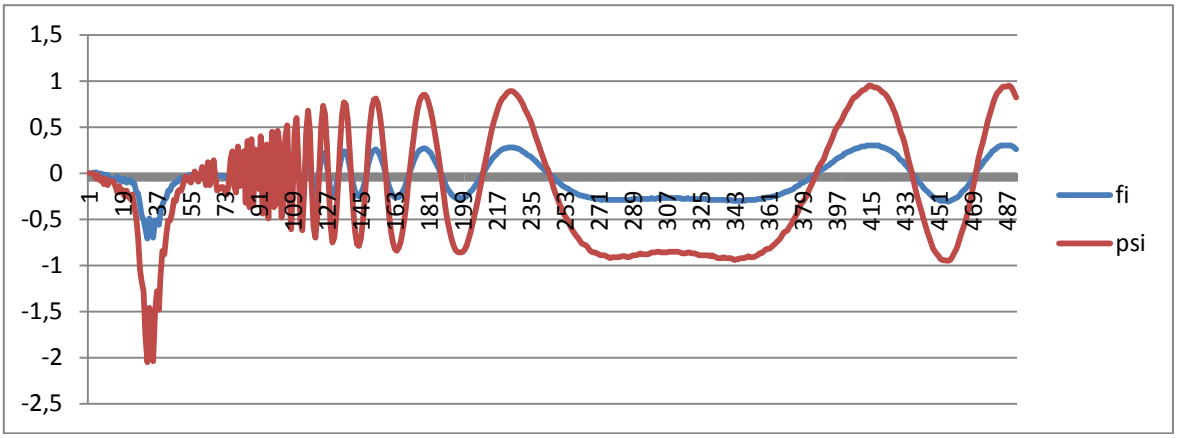


Рис. 1. Изменение углов крена и рыскания

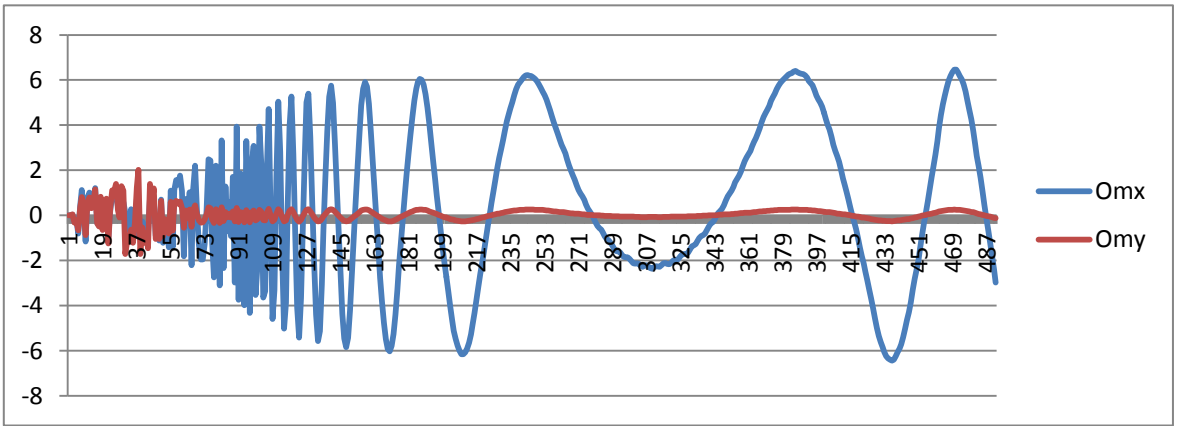


Рис. 2. Изменение угловых скоростей в каналах крена и рыскания

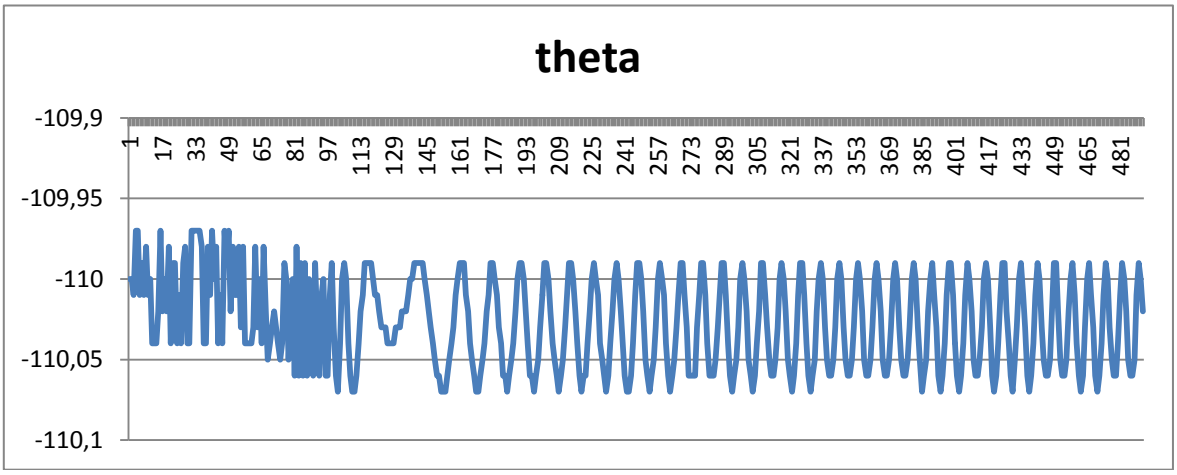


Рис. 3. Изменение угла тангажа

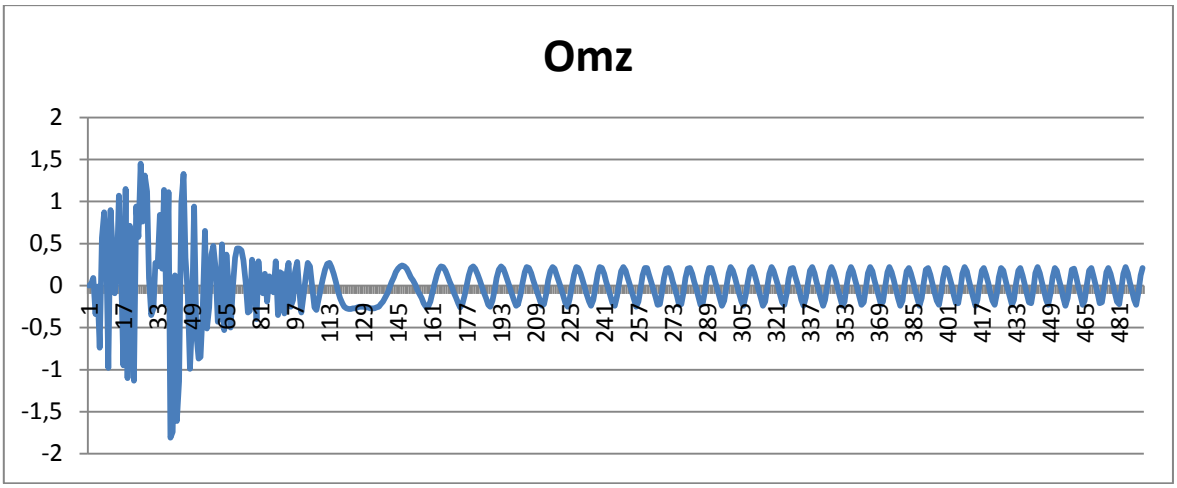


Рис. 4. Изменение угловой скорости в канале тангажа

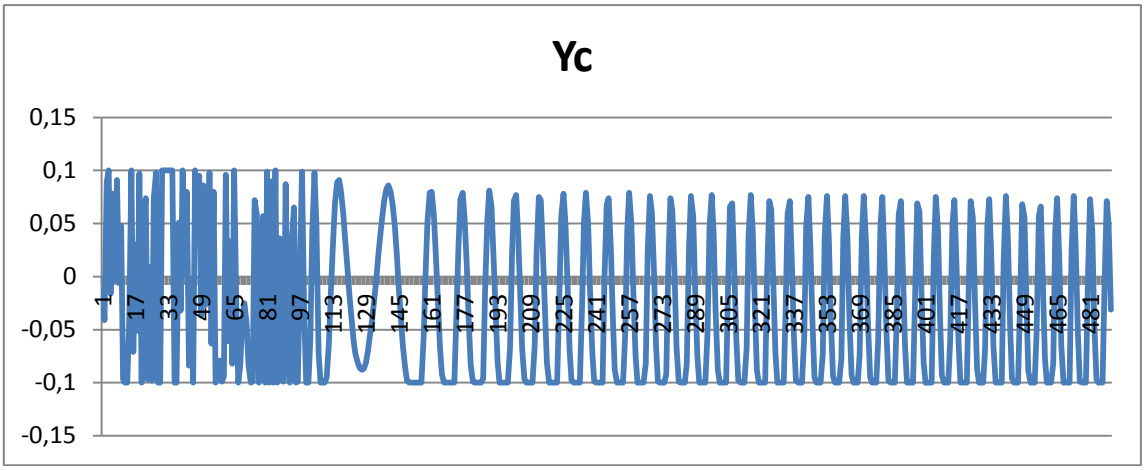


Рис. 5. Изменение поперечного смещения центра масс Yc

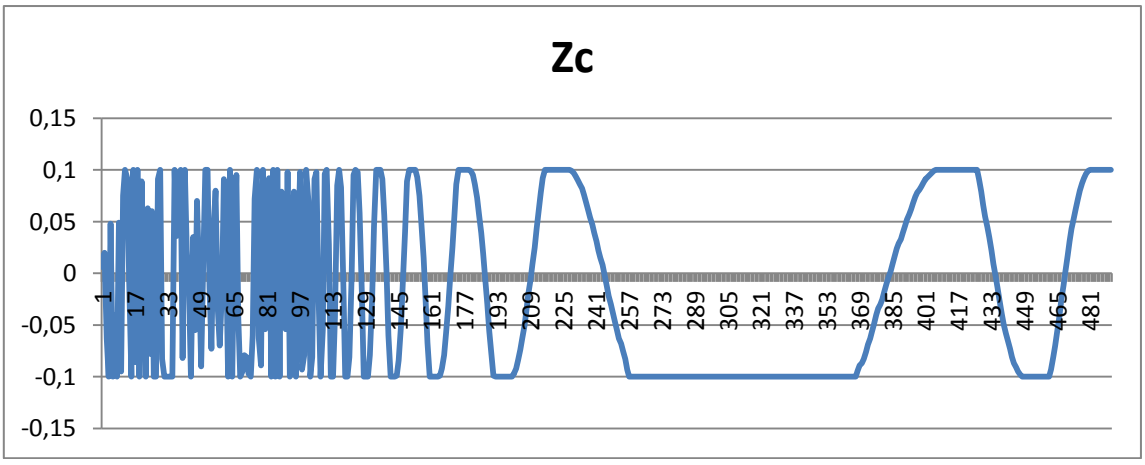


Рис. 6. Изменение поперечного смещения центра масс Zc

Таким образом, показано, что разработанная математическая модель движения объекта позволяет численно моделировать его движение при наличии управляющего воздействия на угловое движение посредством попе-

речного смещения центра масс. Можно ожидать, что изменение моментов инерции не будет значительно влиять на динамику объекта управления. В дальнейшем такое изменение моментов инерции несложно учесть в формулах (3), используя теорему Гюйгенса [6] о сложении моментов инерции относительно параллельных осей, либо еще более подробную модель с вычислением перекрестных моментов инерции.

В настоящей работе показана лишь принципиальная возможность стабилизации углового движения объекта стабилизации с помощью поперечного смещения центра масс. Однако, получаемое качество переходных процессов при осуществлении стабилизации – это предмет отдельного изучения. Множество параметров оказывают на него влияние, начиная от процента аэродинамической устойчивости, который был принят постоянным и равным 1 %, величины скоростного напора, и кончая надлежащим выбором коэффициентов в законах управления (11) и (12).

Программные значения углов предполагались постоянными. Однако, даже по результатам такого моделирования можно сделать вывод, что объект вполне способен выполнять задачу компенсации перелета или недолета до цели.

Программное приложение, осуществляющее компьютерное моделирование приведенных математических моделей движения объекта (1-3), выполнено в виде 32-битовых консольных приложений в Microsoft Visual Studio Professional 2012, .NET Framework, v. 4.5 на языке программирования C++.

Библиографический список

1. Афанасьев, В.А. Аналитическое исследование динамики полета ЛА в атмосфере при управлении реактивными двигателями / В.А. Афанасьев // Изв. вузов. Авиационная техника. – 2008. – № 3. – С 19–23.

2. Афанасьев, В.А. Аналитическое конструирование траекторий полета возвращаемых космических аппаратов / В.А. Афанасьев, А.С. Мещанов, В.Р. Хайруллин // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – 2010. – № 4. – С. 161–170.

3. Дмитриевский, А.А. Внешняя баллистика / А.А. Дмитриевский. – М.: Машиностроение, 1972.

4. ГОСТ 4401-81, Атмосфера стандартная. Параметры. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1981.

5. Лурье, А.И. Аналитическая механика / А.И. Лурье. – М.: ГИФМЛ, 1961.

6. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики. Учеб. для втузов / С.М. Тарг. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986.

7. Сидельников, Р.В. Аэродинамика ракет / Р.В. Сидельников, А.Б. Тропин. – Челябинск: ЮУрГУ, 1997.

К содержанию

УДК 004.896

ГЕНЕРАТОР X3D-МОДЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.И. Телегин, Д.Н. Тимофеев

Предложена методика табличного описания структурных, кинематических и геометрических параметров произвольных механических систем (МС), которая оптимально соответствует семантике X3D-разметки МС. Приведён и описан JS-код автоматического создания (генерации) X3D-модели МС. Рассмотрены примеры табличного описания и X3D-моделей манипуляторов.

Ключевые слова: механическая система, 3D-модель, X3D-код, таблица параметров.

Для создания новых и совершенствования существующих МС используются различные методы их моделирования, расчёта и конструирования. Под моделированием здесь понимается, во-первых, создание трёхмерной компьютерной 3D-модели МС и её анимации. Во-вторых, генерация (автоматическое выписывание) и использование в расчётах математической модели МС в виде уравнений механики (кинематики, статики и динамики).

Здесь рассматривается первый этап моделирования, т.е. создания 3D-модели МС на основе её табличного описания, которое является входной информацией первого этапа моделирования. Эта информация используется также для осуществления второго этапа, т.е. генерации математической модели МС. Генерация – это процесс автоматического выписывания уравнений кинематики, статики и динамики МС в желаемом виде, например, в аналитическом виде с явно выраженными геометрическими и инерционными параметрами, или в виде исполняемого программного кода для решения задач механики и управления.

Для построения 3D-модели МС необходимо описать структурные, кинематические и геометрические параметры этой МС, а также описать модели её тел. Рассмотрим подробнее процесс табличного описания МС и составления входной информации, на основе которой автоматически генерируются запускаемые X3D-коды 3D-модели МС [1].

В первую очередь необходимо определить типы кинематических пар (КП), которые используются в создаваемой 3D-модели МС. При описании КП используются следующие понятия: базовое тело КП, смежное тело КП, полюс КП, ось КП, базовая плоскость КП. Если коротко, то КП – это два тела, одно из которых называют базовым, а другое смежным. Смежное тело может двигаться относительно базового и наоборот. Полюс КП – точка, жёстко связанная с смежным телом. Ось КП – ось, вдоль которой поступательно перемещается или вокруг которой вращается смежное тело. Базовая плоскость КП – плоскость, жёстко связанная с базовым телом КП. Здесь

перечислим коды (цифровые обозначения) основных типов КП, через тире их названия (в скобках аббревиатуры) и через запятую опишем какие движения смежного тела относительно базового допускает эта КП. Различают следующие типы КП:

0 – поступательная КП (ПКП) или КП0, допускающая поступательное перемещение смежного тела вдоль оси КП.

1 – вращательная КП (ВКП) или КП1, допускающая вращение смежного тела вокруг оси КП.

2 – цилиндрическая КП (ЦКП) или КП2, допускающая поступательное перемещение смежного тела вдоль и вращение вокруг оси КП.

3 – шаровая КП (ШКП) или КП3, допускающая вращение смежного тела вокруг полюса КП.

4 – плоско-параллельная КП (ППКП) или КП4, допускающая поступательное перемещение полюса КП в базовой плоскости и вращение смежного тела вокруг оси перпендикулярной базовой плоскости и проходящей через полюс КП.

5 – поступательно-вращательная КП (ПВКП) или КП5, допускающая поступательное перемещение полюса КП в базовой плоскости и вращение смежного тела вокруг двух осей, где первая ось перпендикулярна базовой плоскости и проходит через полюс КП, а вторая ось жестко связана с смежным телом, перпендикулярна первой оси и проходит через полюс КП.

6 – свободная КП (СКП) или КП6, допускающая поступательное перемещение полюса КП и вращение смежного тела вокруг этого полюса.

В описании можно использовать две аббревиатуры КП. Во второй после букв КП указывается количество степеней свободы (за исключением КП0) смежного тела в движении относительно своего базового тела. Очевидно, что в КП0 смежное тело имеет одну (поступательную) степень свободы относительно своей базы.

КП4, КП5 и КП6, как правило, используют при моделировании КП, которую образует абсолютная система координат (АСК) и корпус транспортного средства. Тип этой КП, т.е. КП4, КП5 или КП6, зависит от опорной поверхности и вида транспортного средства. Для колёсного и гусеничного транспортного средства на плоской опорной поверхности (без кочек, подъёмов и спусков) достаточно связь корпуса с АСК моделировать через КП4, где вертикальная координата полюса КП (точка корпуса) постоянна, так как корпус может совершать только плоскопараллельное движение относительно АСК. Если опорная поверхность имеет наклонные (к горизонту) участки, т.е. подъёмы и спуски, то связь АСК с корпусом необходимо описывать через КП5. В общем случае для транспортных средств на произвольной опорной поверхности и для шагающих аппаратов АСК и корпус образуют СКП (КП6), в которой корпус относительно АСК имеет шесть степеней свободы. КП6 образует АСК и корпус летательного аппарата.

При заполнении таблицы параметров МС (ТПМС) необходимо представить МС в исходном (до начала движения тел) положении и считать, что с каждым телом жёстко связана система координат, оси которой ориентированы в пространстве, как и оси АСК, т.е. ось абсцисс направлена по горизонтали вправо, ось ординат – вертикально вверх, ось аппликат – перпендикулярна экрану монитора и направлена в сторону наблюдателя. Началом связанной системы координат i-го тела является полюс i-й КП. ТПМС имеет шесть столбцов. Номер КП определяется номером её смежного тела. Полюс i-й КП и полюс i-го тела (точка O_i) совпадают.

Опишем заголовок ТПМС. В описании будем использовать следующие аббревиатуры: ССКБ(i) – связанная система координат базы i-го тела, ССК(i) – связанная система координат i-го тела с началом в точке O_i. Каждый столбец описывается в отдельном абзаце, где после номера столбца через тире приведено название столбца и после точки приведено описание назначения столбца.

1 – название тела. В первой строке ТПМС записывается имя тела отсчёта, например, аббревиатура АСК.

2 – i. Столбец номеров тел. Начинается с номера тела отсчёта (нулевого номера), очередная строка нумеруется очередным натуральным числом.

3 – базы. Столбец номеров базовых тел.

4 – КП. Код КП. Если i-е тело со своей базой образует КПj, то записывается число j.

5 – перенос. Здесь заносятся координаты t_{xi}, t_{yi}, t_{zi} (в метрах) положения полюса i-го тела в ССКБ(i). Если в исходном относительном положении i-го тела начало ССК(i) совпадает с началом ССКБ(i), то заносим значения 0, 0, 0.

6 – поворот. Здесь заносятся числа p_{xi}, p_{yi}, p_{zi}, q_i, где p_{xi}, p_{yi}, p_{zi} – направляющие косинусы в ССКБ(i) оси i-й КП, q_i – угол поворота ССК(i) вокруг оси КП (измеряется в градусах).

В пятом и шестом столбце ТПМС заносится несколько вещественных чисел. Для стабильной работы первой версии ПО эти числа должны быть отделены друг от друга запятой и одним пробелом.

При визуализации модели МС к её разметке подключаются N+1 внешних x3d-файлов, которые имеют имена «тело_0», «тело_1», «тело_2», ..., «тело_N», где N – количество подвижных тел МС. Эти файлы содержат X3D-разметки моделей тел. В рассмотренных примерах на рисунках 3, 4 звенья манипуляторов изображаются в виде тонких стержней (боксов), направляющие ПКП в виде прямоугольных параллелепипедов, шарниры ВКП и ЦКП в виде цилиндров, шаровой шарнир в виде шара.

Для использования ПО необходимо открыть в любом текстовом редакторе html-файл «модельМС.html» и разметить ТПМС. В качестве примера в листинге 1 приведён код разметки МС, кинематическая схема которой изображена на рис. 1. В этом коде опущены первые два столбца, т.е. столбец имён и номеров тел. Он имеет типовую структуру. Поэтому процесс составления ТПМС является типовым. Мы рекомендуем при добавлении новых строк ТПМС копировать разметку предшествующей строки и изменять значения параметров на необходимые.

После редактирования файла «модельМС.html» его необходимо открыть в браузере (для визуализации 3D-модели необходим браузер Mozilla Firefox 35 и новее). На экране появится ТПМС и кнопка «Создать модель». По нажатию кнопки запускается JS-код генератора X3D-модели МС, который записан в файле «генерацияМС.js». JS-код формирования входных параметров JS-объекта «X3DмодельМС» приведён в листинге 2. Опишем его.

В первой строке кода объявляются три массива для хранения параметров МС. Во 2-й строке в переменную N записывается количество тел МС. Для этого применяется метод getElementsByTagName() объекта document. Он возвращает коллекцию тегов, размечающих строки таблицы. Свойство length содержит количество этих строк, из которого отнимается число 3, так как первые строки отведены для заголовков и параметров положения АСК. После полной загрузки страницы в браузере формируются массивы строковых значений, взятых из ТПМС. Для этого три раза вызывается функция «взять()», извлекающая из ячеек таблицы значения строкового типа и помещающая их в соответствующие массивы. При этом значения углов поворота в градусах переводятся в радианы. В конце код содержит регистрацию функции-слушателя события нажатия кнопки для запуска функции «создатьМодель()». Эта функция создаёт объект при помощи конструктора "X3DмодельМС", передавая ему пять сформированных ранее параметров. Затем применяется метод «получитьМодель()» созданного объекта, который возвращает сгенерированную X3D-разметку и помещает её в контейнер на html-странице. Для визуализации 3D-модели на web-странице необходимо подключить JS-библиотеку x3dom.js (которую можно получить на сайте разработчиков http://www.x3dom.org/). Для этого при помощи метода createElement() создаётся тег <script>. В атрибут «src» записывается ссылка на внешний файл библиотеки, расположенный в папке «scripts». Метод appendChild() добавляет созданный тег в тело документа.

В листинге 3 представлен код конструктора «X3DмодельМС», который принимает четыре параметра. Эти параметры присваиваются одноимённым свойствам объекта. Функция «генераторМодели()» реализует метод «получитьМодель()». Опишем код этого метода. Функция «генераторМодели()» формирует массив номеров смежных тел на основе входного массива номеров базовых тел. X3D-код МС формируется в строковой пере-

менной «разметка». Этот код состоит из постоянной части, отвечающей за формирование преамбулы xml-документа, корневого тега X3D-разметки и тегов, устанавливающих параметры сцены, такие как цвет фона и положение камеры. Здесь же формируется разметка внешнего трансформатора, который переносит АСК относительно центра сцены. Переменная «отступ» необходима для создания отступов при оформлении разметки. Для формирования части разметки, зависящей от входных параметров, вызывается рекурсивная функция «ветка()». После неё в переменную «разметка» добавляются закрывающие теги ранее открытых элементов.

Всё ПО состоит из запускаемого файла «модельМС.html» и папки «scripts», а также N+1 файлов с расширением .x3d, содержащих разметку тел МС. Файл «модельМС.html» содержит html-разметку страницы для работы с программой. Папка «scripts» содержит три файла. Первый из них «x3dom.js» – JavaScript-библиотека, необходимая для визуализации «3D-модели». Данный файл подключается к html-странице во время работы программы. Файл «стили.css» описывает стили элементов web-страницы, в частности стиль ТПМС. Код генератора 3D-модели находится в файле «генерацияМС.js».

На рисунках 1, 2 представлены кинематические схемы манипуляторов с четырьмя и шестью степенями свободы. Их ТПМС представлены в таблицах 1, 2. Соответствующие этим таблицам X3D-модели МС изображены на рисунках 3, 4.

Листинг 1. html-разметка ТПМС для манипулятора на рис. 1

```
<!DOCTYPE html><html><head><meta charset="UTF-8">
<script src="scripts/генерацияМС.js"></script>
<link rel="stylesheet" href="scripts/стили.css"></head><body>
<input type="button" id="создатьМодельМС" value="Создать модель">
<div id="ТПМС">
<table> <tr><td colspan="4">Таблица параметров МС на рис. 1</td></tr>
 <tr><th>базы</th><th>КП</th><th>Перенос</th><th>Поворот</th> </tr>
 <tr><td name="база">—</td> <td name="КП">6</td>
 <td name="перенос">0.0, 1.2, 0.0</td>
 <td name="поворот">0.0, 0.0, 0.0, 0.0</td> </tr>
 <tr><td name="база">0</td> <td name="КП">1</td>
 <td name="перенос">0.0, 0.0, 0.0</td>
 <td name="поворот">0.0, 1.0, 0.0, -45.0</td> </tr>
 <tr><td name="база">1</td> <td name="КП">0</td>
 <td name="перенос">0.9, 0.0, 0.0</td>
 <td name="поворот">1.0, 0.0, 0.0, 0.0</td> </tr>
 <tr><td name="база">2</td> <td name="КП">2</td>
 <td name="перенос">0.0, 0.5, 0.0</td>
 <td name="поворот">0.0, -1.0, 0.0, 0.0</td> </tr>
</table></div><div id="модель"></div></body></html>
```

Листинг 2. Код формирования входных параметров объекта X3DмодельMC

```
onload = function(){ var базы=[], t=[], q=[],
  N = document.getElementsByTagName('tr').length-3;
  базы = взять('база'); t = взять('перенос'); q = взять('поворот');
  document.getElementById('создатьМодельMC').
                                        addEventListener('click', создатьМодель);
  function взять(параметр){ var массивЗначений=[], i=0, qq=[],
    массивПараметров = document.getElementsByName(параметр);
    for(i; i<N+1; i++) { if (параметр == "поворот") {
     qq = массивПараметров[i].innerHTML.split(/,\s*/); qq[3] *= Math.PI/180;
     массивЗначений.push(qq.join(", ")); } else {
     массивЗначений.push(массивПараметров[i].innerHTML);  }  }
    return массивЗначений;  }
  function создатьМодель() { var модель = new X3DмодельMC(N,базы,t,q);
   document.getElementById('модель').innerHTML=модель.получитьМодель();
    var x3domm = document.createElement('script');
    x3domm.setAttribute('src',"scripts/x3dom.js");
    document.body.appendChild(x3domm);  } }
```

Листинг 3. JS-объект генератора X3D-модели MC

```
function X3DмодельMC(N,базы,t,q){ this.N=N; this.базы=базы; this.t=t;
  this.q = q; this.получитьМодель = генераторМодели;  }
function генераторМодели(){ var N = this.N, базы = this.базы, t =this.t,
  q = this.q, отступ="\n ", смежные = [];
  // формирование массива номеров смежных тел
  for(var j=0; j < N+1; j++) {  смежные.push([0]);
    for(var i=0; i<N; i++){ if(базы[i+1] == j) {смежные[j].push(i+1);} }
    смежные[j][0]=смежные[j].length-1; }
  // формирование начала разметки
  var разметка = '<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>\n
    <X3D version="3.2" height="570px" width="900px">\n <Scene>
    \n <Background skyColor="1 1 1"></Background>
     <Viewpoint position="0 0 8"></Viewpoint> \n <Transform id="тело_0"
      translation="'+t[0]+'">\n <Inline url="тело_0.x3d"></Inline>';
  // формирование разметки MC
  (function ветка(i) { for (var j=1; j<=смежные[i][0]; j++) {
    отступ=отступ.replace(' ','   ');
    var k = смежные[i][j];
    разметка += отступ+'<Transform id="тело_'+k+
                                        '" translation="'+t[k]+'"'+' rotation="'+ q[k] +'">';
      разметка += отступ+'  <Inline url="тело_'+k+'.x3d"></Inline>';
      ветка(смежные[i][j]);
      разметка += отступ+' </Transform>'; отступ=отступ.replace('  ','');
  } })(0);
  // формирование конца разметки
  разметка += '\n  </Transform>\n </Scene>\n</X3D>';
```

```
return разметка;
}
```

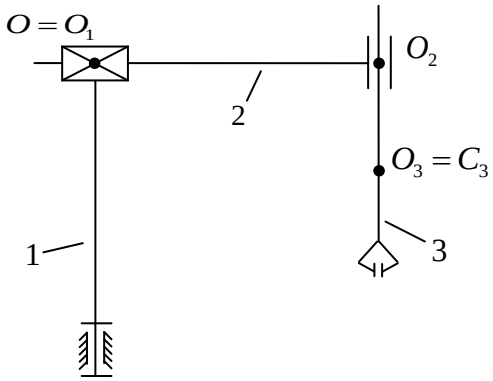


Рис. 1. Манипулятор

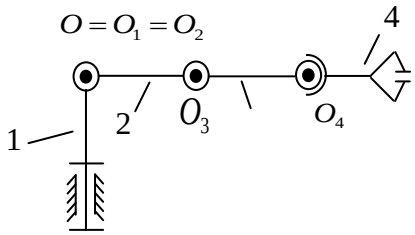


Рис. 2. Манипулятор

Таблица 1

ТПМС манипулятора по рис. 1

Таблица параметров МС на рис. 1			
базы	**КП**	**Перенос**	**Поворот**
—	6	0.0, 1.2, 0.0	0.0, 0.0, 0.0, 0.0
0	1	0.0, 0.0, 0.0	0.0, 1.0, 0.0, -45.0
1	0	0.9, 0.0, 0.0	1.0, 0.0, 0.0, 0.0
2	2	0.0, 0.5, 0.0	0.0, -1.0, 0.0, 0.0

Таблица 2

ТПМС манипулятора по рис. 2

Таблица параметров МС на рис. 2			
базы	**КП**	**Перенос**	**Поворот**
—	6	0.0, 1.0, 0.0	0.0, 0.0, 0.0, 0.0
0	1	0.0, 0.0, 0.0	0.0, 1.0, 0.0, 0.0
1	1	0.0, 0.0, 0.0	0.0, 0.0, 1.0, 0.0
2	1	1.5, 0.0, 0.0	0.0, 0.0, 1.0, 0.0
3	3	1.2, 0.0, 0.0	1.0, 0.0, 0.0, 0.0

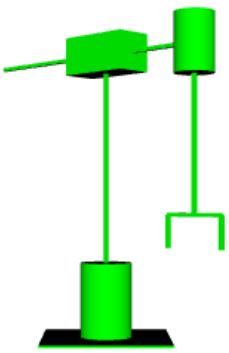


Рис. 3. X3D-модель по таблице 1

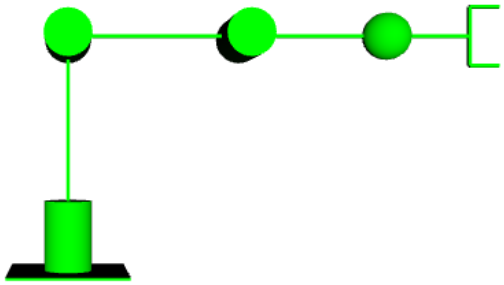


Рис. 4. X3D-модель по таблице 2

Библиографический список

1. Телегин, А.И. x3d-моделирование механических систем: Опыт использования X3D в моделировании механических систем [Электронный ресурс]: монография / А.И. Телегин, Д.Н. Тимофеев, Д.И. Читалов; Юж.-Урал. гос. ун-т, ЭТФ. – Челябинск: ЭТФ, 2014. – 66 с. – URL: http://elibrary.ru/item.asp?=22585700.

К содержанию

УДК 004.896

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХСТЕПЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА

А.И. Телегин, Д.И. Читалов

Выведены уравнения динамики (УД) и формулы вычисления динамических реакций в шарнирах рассматриваемой системы твёрдых тел (СТТ).

Ключевые слова: системы твердых тел, манипулятор, уравнения динамики.

Исследуемая СТТ состоит из двух тел. Первое названо направляющей, второе – штангой. Самостоятельно эта СТТ реализуется, например, в манипуляторах со сферической системой координат (СК) и осуществляет переносное движение рабочего органа (краскораспылителя, горелки сварочного аппарата, инструмента) или захвата. Для реализации ориентирующих движений захвата на свободном конце штанги (в точке O_r) достаточно смонтировать управляемые механизмы ориентации захвата. Вторая часть названия статьи отражает общепринятую классификацию координат точки в пространстве. В нашем случае координаты конца штанги являются сферическими в СК, жестко связанной со станиной СТТ (с землей). Эти координаты приняты в качестве обобщенных координатах СТТ.

Для вывода расчётных формул используется утверждение 8 статьи [1] сформулированное для системы N твердых тел со структурой одной открытой ветви. Согласно этому утверждению сила $\overline{F}_i$ и момент силы $\overline{M}_i$ (относительно полюса O_i i-го тела), действующие на i-е тело со стороны предшествующего тела, вычисляются по формулам:

$$\overline{F}_i = m_i\left(\ddot{\overline{OO}}_i - \overline{g}\right) + \ddot{\overline{m}}_i, \qquad (1)$$

$$\overline{M}_i = \overline{m}_i \times \left(\ddot{\overline{OO}}_i - \overline{g}\right) + \sum_{j=i}^{N}\left[J_{ji}\cdot\overline{\omega}_j + \left(m_{j+1}\overline{O_iO}_{j+1} + \overline{m}_{j+1}\right)\times\overline{V}_{rj+1}\right]'_t, \qquad (2)$$

где $\overline{g}$ – ускорение свободного падения; $\overline{\omega}_j$ – абсолютная угловая скорость j-го тела; $\overline{V}_{rj+1}$ – скорость поступательного движения (j+1)-го тела относительно j-го (предшествующего) тела; O – начало СК $O\overline{x}\overline{y}\overline{z}$, жестко связанной с землей; $m_i = \sum_{j=i}^{N} m_{0j}$; m_{0j} – масса j-го тела; J_{ji} – матрица инерции j-й подсистемы относительно точки O_i, вычисляемая по формуле:

$$J_{ji} = J_{0j} + m_{0j}\overline{O_iO_j} * \overline{O_jC_j} + \left(m_{j+1}\overline{O_iO}_{j+1} + \overline{m}_{j+1}\right) * \overline{O_jO}_{j+1}. \qquad (3)$$

В формуле (3) используется операция ”$*$” над векторами, в результате которой получается матрица. Если a_x, a_y, a_z – координаты вектора $\bar{a}$ в заданной СК, b_x, b_y, b_z – координаты вектора $\bar{b}$ в этой же СК, то в этой СК:

$$\bar{a} * \bar{b} = \begin{pmatrix} a_y b_y + a_z b_z & -a_y b_x & -a_z b_x \\ -a_x b_y & a_x b_x + a_z b_z & -a_z b_y \\ -a_x b_z & -a_y b_z & a_x b_x + a_y b_y \end{pmatrix}. \quad (4)$$

В формулах (1)–(3) используется тензор инерции j-го тела J_{0j} относительно точки O_j и статический момент $\bar{m}_i$ i-й подсистемы относительно точки O_i, который согласно утверждению 2 статьи [3] можно вычислять по следующей обратной рекуррентной формуле:

$$\bar{m}_i = m_{0i}\overline{O_i C_i} + m_{i+1}\overline{O_i O_{i+1}} + \bar{m}_{i+1}, \quad (5)$$

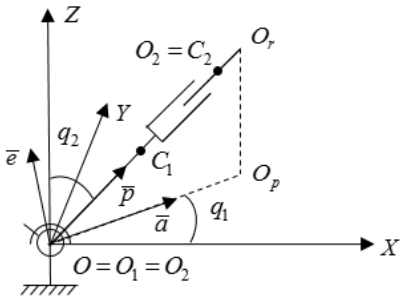
где C_i – центр масс i-го тела.

Формулы (1)–(5) являются частным случаем формул (12), (24)–(27) статьи [1], которые доказаны в этой статье. Здесь эти формулы использованы для вывода математических моделей СТТ со структурой одной открытой ветви. В этом, в частности, состоит методическая ценность настоящей статьи.

Кинематическая схема исследуемой СТТ изображена на рис., где приняты следующие обозначения: OXYZ – СК, жестко связанная с землей, с ортами $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ осей OX, OY, OZ соответственно, где ось OZ вертикальна, т.е. $\bar{g} = -g\,\bar{z}$; O_1 – полюс 1-го тела (направляющей), лежащий в центре шарового с пальцем шарнира, связывающего землю (станину) с направляющей, т.е. $O=O_1$; O_2 – полюс 2-го тела (штанги) совпадающий с его центром масс C_2; q_1 – угол поворота направляющей вокруг оси OZ, откладываемый (в положительную сторону) от оси OX до проекции $\overline{OO_p}$ вектора $\overline{OO_r}$ на координатную плоскость OXY; q_2 – угол наклона (отклонения от вертикали) штанги, т.е. угол поворота штанги вокруг оси $O\bar{e}$, где орт $\bar{e}$ перпендикулярен проекции $\overline{OO_p}$ и лежит в горизонтальной плоскости OXY. Угол q_2 откладывается (в положительном направлении, т.е. против хода стрелки часов, если смотреть навстречу орту $\bar{e}$) от оси OZ до орта оси штанги $\bar{p}$, где $\bar{p} = \overline{OO_r}/\left|\overline{OO_r}\right|$; $q_3 = OC_2$ – расстояние от точки отсчета O до центра масс штанги C_2 (здесь считается, что C_2 лежит на прямой OO_r); O_{02} – положение точки O_2 при $q_3 = 0$, т.е. $O_{02} = O_1$; $\bar{a} = \overline{OO_p}/\left|\overline{OO_p}\right|$ – орт проекции штанги на координатную плоскость OXY; $\bar{q}$ – орт перпендикулярный ортам $\bar{e}$ и $\bar{p}$ и направленный так, что $O\bar{q}\bar{e}\bar{p}$ – правый репер.

Направляющая и штанга образуют поступательную кинематическую пару. Очевидно, что q_1, q_2, q_3 – обобщённые координаты рассматриваемой СТТ. Репер $O\bar{q}\bar{e}\bar{p}$ жестко связан с направляющей и при q_1=0, q_2=0 реперы $O\bar{x}\bar{y}\bar{z}$ и $O\bar{q}\bar{e}\bar{p}$ совпадают.

Введём следующие обозначения: $m_{02} = m_2$ – масса штанги; $m_1 = m_{01} + m_{02}$ – масса СТТ; a_1=OC_1; C_1 – центр масс направляющей; $s_i = \sin q_i$; $c_i = \cos q_i$; J_{01}^e – момент инерции направляющей относительно оси $O_1\bar{e}$; J_{01}^p – момент инерции направляющей относительно оси $O_1\bar{p}$; J_{02}^e – момент инерции штанги относительно оси $O_2\bar{e}$; J_{02}^p – момент инерции штанги относительно оси $O_2\bar{p}$; $\overline{F}_1$ – сила динамической реакции действующей на направляющую в точке O_1 со стороны Земли; $\overline{M}_1$ – момент силы относительно точки O_1, действующей на направляющую со стороны Земли; $\overline{F}_2$ – сила, действующая на штангу со стороны направляющей; $\overline{M}_2$ – момент силы относительно точки O_2, действующий на штангу со стороны направляющей.



Кинематическая и расчетная схемы СТТ

Очевидно, что $F = \overline{p} \cdot \overline{F}_2$ – движущая сила штанги, развиваемая приводом штанги относительно направляющей; $M_z = \overline{z} \cdot \overline{M}_1$ – движущий момент силы относительно оси OZ, развиваемый приводом поворота направляющей вокруг вертикальной оси; $M_e = \overline{e} \cdot \overline{M}_1$ – движущий момент силы относительно оси $O_1\bar{e}$, развиваемый приводом поворота направляющей в вертикальной плоскости. Если направляющая не имеет привода, то $M_z = 0$, $M_e = 0$.

В следующем утверждении приведён векторный вид искомых расчётных формул.

Утверждение 1. Справедливы следующие расчетные формулы:

$$\bar{F}_1 = m_1 g\bar{z} + d^2(b_1 + m_2 q_3)\bar{p}/dt^2, \quad (6)$$

$$\bar{F}_2 = m_2 g\bar{z} + m_2 d^2(q_3\bar{p})/dt^2, \quad (7)$$

$$\bar{M}_1 = G\bar{e} + (-J_q s_2 \dot{q}_1 \bar{q} + J_q \dot{q}_2 \bar{e} + J_p c_2 \dot{q}_1 \bar{p})_t', \quad (8)$$

$$\bar{M}_2 = \left(-J_{02}^e s_2 \dot{q}_1 \bar{q} + J_{02}^e \dot{q}_2 \bar{e} + J_{02}^p c_2 \dot{q}_1 \bar{p}\right)_t', \quad (9)$$

где $b_1 = m_{01} a_1$, J_e=$J_{01}^e + J_{02}^e$, J_p =$J_{01}^p + J_{02}^p$, G=$-g(b_1 + m_2 q_3)s_2$,

$J_q = J_e + m_2 q_3^2$.

Доказательство. Учитывая, что O=O_1 по формуле (1) для i=1 получим $\bar{F}_1 = -m_1\bar{g} + \ddot{\bar{m}}_1$. Учитывая, что второе тело концевое и $O_2 = C_2$ по формуле (5) для i=2 получим $\bar{m}_2 = m_{02}\overline{O_2C_2} = 0$. Следовательно из (5) для i=1 с учётом равенств $\overline{O_1C_1}$=$a_1\bar{p}$, $\overline{O_1C_2}$=$q_3\bar{p}$ получим:

$$\bar{m}_1 = m_{01}\overline{O_1C_1} + m_2\overline{O_1C_2} = (m_{01}a_1 + m_2q_3)\bar{p}. \quad (10)$$

Отсюда с учетом равенства $\bar{g} = -g\bar{z}$ и обозначения $b_1 = m_{01}a_1$ следует искомая формула (6). Формула (1) для i=2 принимает искомый вид (7) если учесть, что $\bar{m}_2$=0, $\overline{OO_2} = q_3\bar{p}$ и $\bar{g} = -g\bar{z}$.

Учитывая, что $\bar{m}_2$=0 и N=2 по формуле (2) для i=2 получим $\bar{M}_2 = (J_{22}\cdot\bar{\omega}_2)'_t$. Очевидно, что $\bar{\omega}_2 = \bar{\omega}_1 = \bar{\omega}$ – абсолютная угловая скорость вращения направляющей и штанги.

Из описания рассматриваемой СТТ и рис. следует $\bar{\omega} = \dot{q}_1\bar{z} + \dot{q}_2\bar{e}$,

$\bar{z} = -s_2\bar{q} + c_2\bar{p}$, т.е. в репер $O_2\bar{q}\bar{e}\bar{p}$,

$$\bar{\omega} = -s_2\dot{q}_1\bar{q} + \dot{q}_2\bar{e} + c_2\dot{q}_1\bar{p} = (-s_2\dot{q}_1, \dot{q}_2, c_2\dot{q}_1)_{O_2\bar{q}\bar{e}\bar{p}}. \quad (11)$$

Учитывая, что второе тело концевое и $O_2 = C_2$ по формуле (3) получим $J_{22} = J_{02}$ – центральный тензор инерции штанги. Если в репере $O_2\bar{q}\bar{e}\bar{p}$ жестко связанным со штангой масса штанги распределена так, что:

$$J_{02} = \begin{pmatrix} J^e_{02} & 0 & 0 \\ 0 & J^e_{02} & 0 \\ 0 & 0 & J^p_{02} \end{pmatrix}, \quad (12)$$

то с учетом формулы (11), получим $J_{02}\cdot\bar{\omega} = -J^e_{02}s_2\dot{q}_1\bar{q} + J^e_{02}\dot{q}_2\bar{e} + J^p_{02}c_2\dot{q}_1\bar{p}$. Отсюда следует искомая формула (9).

Учитывая, что O=O_1 и $\bar{m}_2$=0 по формуле (2) для i=1 получим:

$$\bar{M}_1 = -\bar{m}_1\times\bar{g} + \left(J_{11}\cdot\bar{\omega}_1 + m_2\overline{O_1O_2}\times\bar{V}_{r2} + J_{21}\cdot\bar{\omega}_2\right)'_t.$$

По определению $\bar{V}_{r2}$=$\dot{q}_3\bar{p}$. Тогда с учетом равенства $\overline{O_1O_2}$= $q_3\bar{p}$ получим:

$$\overline{O_1O_2}\times\bar{V}_{r2} = q_3\dot{q}_3\bar{p}\times\bar{p} = 0.$$

Следовательно с учетом равенств $\bar{\omega} = \bar{\omega}_1 = \bar{\omega}_2$ получим:

$$\bar{M}_1 = -\bar{m}_1\times\bar{g} + [(J_{11} + J_{21})\cdot\bar{\omega}]'_t. \quad (13)$$

Учитывая, что $O_2 = C_2$ по формуле (3) для j=2, i=1 получим $J_{21} = J_{02}$. С учетом равенств $\overline{O_1O_1} = 0$, $\bar{m}_2 = 0$, $\overline{O_1O_2}$= $q_3\bar{p}$ по формуле (3) для j=i=1 получим:

$$J_{11} = J_{01} + m_2\overline{O_1O_2} * \overline{O_1O_2} = J_{01} + m_2q_3^2\bar{p} * \bar{p}, \quad (14)$$

где J_{01} – тензор инерции направляющей относительно точки O_1. Пусть в репере $O_1\bar{q}\bar{e}\bar{p}$ масса направляющий распределена так, что:

$$J_{01} = \begin{pmatrix} J^e_{01} & 0 & 0 \\ 0 & J^e_{01} & 0 \\ 0 & 0 & J^p_{01} \end{pmatrix}.$$

В репере $O_1\bar{q}\bar{e}\bar{p}$ имеем $\bar{p}$=(0,0,1). Тогда по формуле (4) с учетом (12), (14) и обозначений $J_e = J_{01}^e + J_{02}^e$, $J_p = J_{01}^p + J_{02}^p$ в репере $O_1\bar{q}\bar{e}\bar{p}$ получим:

$$J_{11} + J_{21} = J_{01} + m_2 q_3^2 \bar{p} * \bar{p} + J_{02} = \begin{pmatrix} J_e + m_2 q_3^2 & 0 & 0 \\ 0 & J_e + m_2 q_3^2 & 0 \\ 0 & 0 & J_p \end{pmatrix}.$$

Отсюда в репере $O_1\bar{q}\bar{e}\bar{p}$ получим:

$$(J_{11} + J_{21}) \cdot \bar{\omega} = (J_{11} + J_{21}) \cdot (-s_2\dot{q}_1, \dot{q}_2, c_2\dot{q}_1)^T = \\ = -(J_e + m_2 q_3^2)s_2\dot{q}_1\bar{q} + (J_e + m_2 q_3^2)\dot{q}_2\bar{e} + J_p c_2 \dot{q}_1 \bar{p}. \quad (15)$$

Учитывая (10) и формулы $\bar{g} = -g\bar{z}$, $\bar{p} \times \bar{z} = -\bar{z} \times \bar{p} = -\bar{e}\sin q_2 = -\bar{e}s_2$, получим $-\bar{m}_1 \times \bar{g} = (m_{01}a_1 + m_2 q_3)g\bar{p} \times \bar{z} = -g(m_{01}a_1 + m_2 q_3)s_2\bar{e}$.

Отсюда по формуле (13) с учетом (15) и введённых обозначений b_1, G получим искомую формулу (8). *Утверждение доказано.*

Из (6)–(9) можно получить формулы для вычисления следующих величин: F_1^x, F_1^y, F_1^z – проекции вектора $\bar{F}_1$ на оси OX, OY, OZ, соответственно; M_1^x, M_1^y, M_1^z – проекции вектора $\bar{M}_1$ на оси OX, OY, OZ соответственно; F_2^q, F_2^e – проекции вектора $\bar{F}_2$ на оси $O_2\bar{q}$, $O_2\bar{e}$, соответственно; F – проекция вектора $\bar{F}_2$ на ось $O_2\bar{p}$, т.е. движущая сила штанги; M_2^q, M_2^e, M_2^p – проекции вектора $\bar{M}_2$ на оси $O_2\bar{q}$, $O_2\bar{e}$, $O_2\bar{p}$, соответственно.

Заметим, что $M_1^z = \bar{z} \cdot \overline{M}_1 = M_z$ – вращающий момент силы направляющей относительно оси OZ, $M_e = \bar{e} \cdot \overline{M}_1$ – проекция вектора $\bar{M}_1$ на ось $O_1\bar{e}$, т.е. вращающий момент силы направляющей вокруг оси $O_1\bar{e}$. Следовательно, формулы вычисления M_z, M_e и F составляют систему трех УД рассматриваемой СТТ. Остальные расчетные формулы можно использовать для вычисления сил и моментов сил динамических реакций, которые действуют на направляющую со стороны стойки и на штангу со стороны направляющей. Эти реакции необходимы, например, для расчёта шарнирных узлов (правильного выбора подшипников, подшипниковых опор и их баз), и других элементов конструкции, имеющей расчетную схему на рис.

Скалярный вид искомых расчетных формул представлен в утверждениях 2, 3.

Утверждение 2. УД манипулятора со сферической СК представимы в следующем виде:

$$(J_q s_2^2 \dot{q}_1 + J_p c_2^2 \dot{q}_1)'_t = M_z, \quad (16)$$

$$s_1(J_q s_1 \dot{q}_2 - J_r c_1 c_2 s_2 \dot{q}_1)'_t + c_1(J_q c_1 \dot{q}_2 + J_r s_1 c_2 s_2 \dot{q}_1)'_t + G = M_e, \quad (17)$$

$$m_2\left[c_1 s_2 \frac{d^2(c_1 s_2 q_3)}{dt^2} + s_1 s_2 \frac{d^2(s_1 s_2 q_3)}{dt^2} + c_2 \frac{d^2(c_2 q_3)}{dt^2}\right] + m_2 g c_2 = F, \quad (18)$$

где $J_r = J_p - J_q = J_p - J_e - m_2 q_3^2$.

Доказательство. Из рис. видно, что:

$$\bar{a} = c_1\bar{x} + s_1\bar{y}, \quad \bar{q} = -s_2\bar{z} + c_2\bar{a} = c_1c_2\bar{x} + s_1c_2\bar{y} - s_2\bar{z}, \quad \bar{e} = -s_1\bar{x} + c_1\bar{y},$$

$$\bar{p} = s_2\bar{a} + c_2\bar{z} = c_1s_2\bar{x} + s_1s_2\bar{y} + c_2\bar{z}. \quad (19)$$

Подставим разложения (19) в (8). Тогда получим:

$$\bar{M}_1 = G\bar{e} + [-J_q s_2\dot{q}_1(c_1c_2\bar{x} + s_1c_2\bar{y} - s_2\bar{z}) + J_q\dot{q}_2(c_1\bar{y} - s_1\bar{x}) + \\ + J_p c_2\dot{q}_1(c_1s_2\bar{x} + s_1s_2\bar{y} + c_2\bar{z})\,]'_t =$$

$$= G\bar{e} + \left(-J_q c_1c_2s_2\dot{q}_1 - J_q s_1\dot{q}_2 + J_p c_1c_2s_2\dot{q}_1\right)'_t\bar{x} + \\ + \left(-J_q s_1c_2s_2\dot{q}_1 + J_q c_1\dot{q}_2 + J_p s_1c_2s_2\dot{q}_1\right)'_t\bar{y} + \left(J_q s_2^2\dot{q}_1 + J_p c_2^2\dot{q}_1\right)'_t\bar{z}.$$

Отсюда с учётом обозначения $J_r = J_p - J_q$ получим:

$$\bar{M}_1 = G\bar{e} - (J_q s_1\dot{q}_2 - J_r c_1c_2s_2\dot{q}_1)'_t\bar{x} + (J_q c_1\dot{q}_2 + J_r s_1c_2s_2\dot{q}_1)'_t\bar{y} + \\ + \left(J_q s_2^2\dot{q}_1 + J_p c_2^2\dot{q}_1\right)'_t\bar{z}. \quad (20)$$

Из (20) получим искомые уравнения (16), (17) так как:

$$M_z = \bar{z}\cdot\bar{M}_1,\ M_e = \bar{e}\cdot\overline{M_1} = (-s_1\bar{x} + c_1\bar{y})\cdot\overline{M_1}.$$

С учетом разложения $\bar{p} = c_1s_2\bar{x} + s_1s_2\bar{y} + c_2\bar{z}$ из (7) получим:

$$F = \bar{p}\cdot\bar{F}_2 = m_2g\bar{p}\cdot\bar{z} + m_2\bar{p}\cdot\frac{d^2(q_3\bar{p})}{dt^2} = m_2gc_2 + m_2\bar{p}\cdot\frac{d^2[q_3(c_1s_2\bar{x}+s_1s_2\bar{y}+c_2\bar{z})]}{dt^2}.$$

Отсюда с учетом равенств $\bar{p}\cdot\bar{x} = c_1s_2,\ \bar{p}\cdot\bar{y} = s_1s_2,\ \bar{p}\cdot\bar{z} = c_2$ получим искомое уравнение (18). *Утверждение доказано.*

Замечание 1. Из УД (16) следует первый интеграл:

$$\left[J_p c_2^2 + (J_e + m_2q_3^2)s_2^2\right]\dot{q}_1 = \int_{t_0}^{t} M_z(\tau)d\tau. \quad (21)$$

Утверждение 3. Динамические реакции в сочленениях манипулятора со сферической СК вычисляются по формулам:

$$F_1^x = \frac{d^2[c_1s_2(b_1+m_2q_3)]}{dt^2},\ F_1^y = \frac{d^2[s_1s_2(b_1+m_2q_3)]}{dt^2},\ F_1^z = m_1g + \frac{d^2[c_2(b_1+m_2q_3)]}{dt^2}, \quad (22)$$

$$M_1^x = (J_r c_1c_2s_2\dot{q}_1 - J_q s_1\dot{q}_2)'_t - Gs_1,\ M_1^y = \left(J_q c_1\dot{q}_2 + J_r s_1c_2s_2\dot{q}_1\right)'_t + Gc_1, \quad (23)$$

$$F_2^q = m_2\left[c_1c_2\frac{d^2(c_1s_2q_3)}{dt^2} + s_1c_2\frac{d^2(s_1s_2q_3)}{dt^2} - s_2\frac{d^2(c_2q_3)}{dt^2} - gs_2\right], \quad (24)$$

$$F_2^e = m_2\left[c_1\frac{d^2(s_1s_2q_3)}{dt^2} - s_1\frac{d^2(c_1s_2q_3)}{dt^2}\right], \quad (25)$$

$$M_2^q = c_1c_2(J_0c_1c_2s_2\dot{q}_1 - J_{02}^e s_1\dot{q}_2)'_t + \\ + s_1c_2(J_{02}^e c_1\dot{q}_2 + J_0s_1c_2s_2\dot{q}_1)'_t - s_2\left(J_{02}^e s_2^2\dot{q}_1 + J_{02}^p c_2^2\dot{q}_1\right)'_t, \quad (26)$$

$$M_2^e = s_1(J_0c_1c_2s_2\dot{q}_1 - J_{02}^e s_1\dot{q}_2)'_t + c_1(J_{02}^e c_1\dot{q}_2 + J_0s_1c_2s_2\dot{q}_1)'_t, \quad (27)$$

$$M_2^p = c_1s_2(J_0c_1c_2s_2\dot{q}_1 - J_{02}^e s_1\dot{q}_2)'_t + \\ + s_1s_2(J_{02}^e c_1\dot{q}_2 + J_0s_1c_2s_2\dot{q}_1)'_t + c_2\left(J_{02}^e s_2^2\dot{q}_1 + J_{02}^p c_2^2\dot{q}_1\right)'_t, \quad (28)$$

где $J_0 = J_{02}^p - J_{02}^e$.

Доказательство. По определению:

$$F_1^x = \bar{x}\cdot\bar{F}_1,\quad F_1^y = \bar{y}\cdot\bar{F}_1,\quad F_1^z = \bar{z}\cdot\bar{F}_1.$$

Следовательно учитывая равенства $\bar{p}\cdot\bar{x}=c_1s_2, \bar{p}\cdot\bar{y}=s_1s_2, \bar{p}\cdot\bar{z}=c_2$ из (6) получим искомые формулы (22).

Учитывая формулы:

$M_1^x=\bar{x}\cdot\bar{M}_1,\ M_1^y=\bar{y}\cdot\bar{M}_1,\ \bar{e}\cdot\bar{x}=\cos(90°+q_1)=-s_1, \bar{e}\cdot\bar{y}=\cos q_1=c_1,$

из выражения (20) получим искомые формулы (23).

По формуле (7) с учетом (19) и $\bar{z}\cdot\bar{q}=\cos(90°+q_2)=-s_2$, получим:

$$F_2^q=\bar{q}\cdot\bar{F}_2=m_2g\bar{q}\cdot\bar{z}+m_2\bar{q}\cdot\frac{d^2(q_3\bar{p})}{dt^2}=$$
$$=-m_2gs_2+m_2(c_1c_2\bar{x}+s_1c_2\bar{y}-s_2\bar{z})\cdot\frac{d^2[q_3(c_1s_2\bar{x}+s_1s_2\bar{y}+c_2\bar{z})]}{dt^2}.$$

Отсюда следует искомая формула (24). Аналогично:

$$F_2^e=\bar{e}\cdot\bar{F}_2=m_2g\bar{e}\cdot\bar{z}+m_2\bar{e}\cdot\frac{d^2(q_3\bar{p})}{dt^2}=m_2(c_1\bar{y}-s_1\bar{x})\cdot\frac{d^2[q_3(c_1s_2\bar{x}+s_1s_2\bar{y}+c_2\bar{z})]}{dt^2}.$$

Отсюда следует искомая формула (25).

По формуле (9) с учетом (19) получим:

$$\bar{M}_2=[-J_{02}^e s_2\dot{q}_1(c_1c_2\bar{x}+s_1c_2\bar{y}-s_2\bar{z})+J_{02}^e\dot{q}_2(c_1\bar{y}-s_1\bar{x})+$$
$$+J_{02}^p c_2\dot{q}_1(c_1s_2\bar{x}+s_1s_2\bar{y}+c_2\bar{z})]_t'=$$
$$=\left(-J_{02}^e c_1c_2s_2\dot{q}_1-J_{02}^e s_1\dot{q}_2+J_{02}^p c_1c_2s_2\dot{q}_1\right)_t'\bar{x}+$$
$$+\left(-J_{02}^e s_1c_2s_2\dot{q}_1+J_{02}^e c_1\dot{q}_2+J_{02}^p s_1c_2s_2\dot{q}_1\right)_t'\bar{y}+\left(J_{02}^e s_2^2\dot{q}_1+J_{02}^p c_2^2\dot{q}_1\right)_t'\bar{z}.$$

Отсюда с учётом обозначений $J_a=J_{02}^p-J_{02}^e$, $J_b=J_{02}^p+J_{02}^e$ получим:

$$\bar{M}_2=(-J_{02}^e s_1\dot{q}_2+J_a c_1c_2s_2\dot{q}_1)_t'\bar{x}+$$
$$+(J_{02}^e c_1\dot{q}_2+J_b s_1c_2s_2\dot{q}_1)_t'\bar{y}+\left(J_{02}^p c_2^2\dot{q}_1+J_{02}^e s_2^2\dot{q}_1\right)_t'\bar{z}. \qquad (29)$$

Из (29) и равенства $M_2^q=\bar{q}\cdot\overline{M_2}=(c_1c_2\bar{x}+s_1c_2\bar{y}-s_2\bar{z})\cdot\overline{M_2}$ следует искомая формула (26). Из равенства $M_2^e=\bar{e}\cdot\overline{M_2}=(c_1\bar{y}-s_1\bar{x})\cdot\overline{M_2}$ следует искомая формула (27). Из равенства $M_2^p=\bar{p}\cdot\overline{M_2}=(c_1s_2\bar{x}+s_1s_2\bar{y}+c_2\bar{z})\cdot\overline{M_2}$ следует формула (28). *Утверждение доказано*.

Вычислив производные по t в левых частях УД (16), (17), (18), получим формулы вычисления обобщенных движущих сил M_z, M_e, F для заданных программных законов изменения обобщённых координат $q_i=q_{pi}(t)$. Эти формулы составляют УД рассматриваемой СТТ и позволяют решать различные задачи динамики и управления.

Утверждение 4. УД манипулятора со сферической СК представимы в следующем виде:

$$\begin{cases}\left(J_q s_2^2+J_p c_2^2\right)\ddot{q}_1+2s_2(m_2q_3s_2\dot{q}_3-J_r c_2\dot{q}_2)\dot{q}_1=M_z\\ J_q\ddot{q}_2+J_r s_2c_2\dot{q}_1^2+2m_2q_3\dot{q}_2\dot{q}_3+G=M_e\\ m_2(\ddot{q}_3-q_3s_2^2\dot{q}_1^2-q_3\dot{q}_2^2+gc_2)=F.\end{cases} \qquad (30)$$

Доказательство. Из (16) после вычисления производной по t получим:

$$M_z = \left(J_q s_2^2 + J_p c_2^2\right)\ddot{q}_1 - 2J_p c_2 s_2 \dot{q}_1 \dot{q}_2 + 2J_q s_2 c_2 \dot{q}_1 \dot{q}_2 + 2m_2 q_3 \dot{q}_3 s_2^2 \dot{q}_1.$$

Отсюда с учетом обозначения $J_r = J_p - J_q$следует первое уравнение системы (30). Из (17) получим:

$$\begin{gathered} M_e = s_1(J_q s_1 \ddot{q}_2 - J_r c_1 c_2 s_2 \ddot{q}_1) + c_1(J_q c_1 \ddot{q}_2 + J_r s_1 c_2 s_2 \ddot{q}_1) + \\ + s_1[J_q c_1 \dot{q}_1 \dot{q}_2 - J_r \dot{q}_1 (c_2 c_1 c_2 \dot{q}_2 - s_1 c_2 s_2 \dot{q}_2 - c_1 s_2 s_2 \dot{q}_2)] + \\ + c_1[-J_q s_1 \dot{q}_1 \dot{q}_2 + J_r \dot{q}_1 (c_1 c_2 s_2 \dot{q}_1 - s_1 s_2 s_2 \dot{q}_2 + s_1 c_2 c_2 \dot{q}_2)] + \\ + s_1(\dot{J}_q s_1 \dot{q}_2 - \dot{J}_r c_1 c_2 s_2 \dot{q}_1) + c_1(\dot{J}_q c_1 \dot{q}_2 + \dot{J}_r s_1 c_2 s_2 \dot{q}_1) + G. \end{gathered}$$

Отсюда после элементарных преобразований и учета равенств $s_i^2 + c_i^2 = 1$, $\dot{J}_r = -\dot{J}_q = -2m_2 q_3 \dot{q}_3$ получим второе уравнение системы (30). Вычислим производные по t трёх выражений в левой части уравнений (18). Для первого выражения получим:

$$(c_1 s_2 q_3)''_{t^2} = (-s_1 s_2 q_3 \dot{q}_1 + c_1 c_2 q_3 \dot{q}_2 + c_1 s_2 \dot{q}_3)'_t = F_x + f_x,$$

где $F_x = -s_1 s_2 q_3 \ddot{q}_1 + c_1 c_2 q_3 \ddot{q}_2 + c_1 s_2 \ddot{q}_3$,

$f_x = \dot{q}_1(-s_1 s_2 \dot{q}_3 - c_1 s_2 q_3 \dot{q}_1 - s_1 c_2 q_3 \dot{q}_2) +$

$+ \dot{q}_2(c_1 c_2 \dot{q}_3 - s_1 c_2 q_3 \dot{q}_1 - c_1 s_2 q_3 \dot{q}_2) + \dot{q}_3(-s_1 s_2 \dot{q}_2 + c_1 c_2 \dot{q}_2) =$

$= -c_1 s_2 q_3(\dot{q}_1^2 + \dot{q}_2^2) - 2s_1 c_2 q_3 \dot{q}_1 \dot{q}_2 - 2s_1 s_2 \dot{q}_1 \dot{q}_3 + 2c_1 c_2 \dot{q}_2 \dot{q}_3.$

Аналогично для второго выражения получим:

$$(s_1 s_2 q_3)''_{t^2} = (c_1 s_2 q_3 \dot{q}_1 + s_1 c_2 q_3 \dot{q}_2 + s_1 s_2 \dot{q}_3)'_t = F_y + f_y,$$

где $F_y = c_1 s_2 q_3 \ddot{q}_1 + s_1 c_2 q_3 \ddot{q}_2 + s_1 s_2 \ddot{q}_3$,

$f_y = \dot{q}_1(c_1 s_2 \dot{q}_3 - s_1 s_2 q_3 \dot{q}_1 + c_1 c_2 q_3 \dot{q}_2) +$

$+ \dot{q}_2(s_1 c_2 \dot{q}_3 + c_1 c_2 q_3 \dot{q}_1 - s_1 s_2 q_3 \dot{q}_2) + \dot{q}_2(c_1 s_2 \dot{q}_1 + s_1 c_2 \dot{q}_2) =$

$= -s_1 s_2 q_3(\dot{q}_1^2 + \dot{q}_2^2) + 2c_1 c_2 q_3 \dot{q}_1 \dot{q}_2 + 2c_1 s_2 \dot{q}_1 \dot{q}_3 + 2s_1 c_2 \dot{q}_2 \dot{q}_3.$

Для третьего выражения получим:

$$(c_2 q_3)''_{t^2} = (c_2 \dot{q}_3 - s_2 q_3 \dot{q}_2)'_t = F_z + f_z,$$

где $F_z = c_2 \ddot{q}_3 - q_3 \ddot{q}_2$, $f_z = -c_2 q_3 \dot{q}_2^2 - 2s_2 \dot{q}_2 \dot{q}_3$.

По формуле (18) с учетом найденных выражений получим:

$$\begin{gathered} F/m_2 - g c_2 = c_1 s_2(F_x + f_x) + s_1 s_2\left(F_y + f_y\right) + c_2(F_z + f_z) = (-s_1 c_1 s_2^2 + \\ + s_1 c_1 s_2^2) q_3 \ddot{q}_1 + (c_1^2 s_2 c_2 + s_1^2 s_2 c_2 - s_2 c_2) q_3 \ddot{q}_2 + (c_1^2 s_2^2 + s_1^2 s_2^2 + c_2^2)\ddot{q}_3 + \\ + s_1 s_2[-s_1 s_2 q_3(\dot{q}_1^2 + \dot{q}_2^2) + 2c_1 c_2 q_3 \dot{q}_1 \dot{q}_2 + 2c_1 s_2 \dot{q}_1 \dot{q}_3 + 2s_1 c_2 \dot{q}_2 \dot{q}_3] - \\ - c_1 s_2[c_1 s_2 q_3(\dot{q}_1^2 + \dot{q}_1^2) + 2s_1 c_2 q_3 \dot{q}_1 \dot{q}_2 + 2s_1 s_2 \dot{q}_1 \dot{q}_3 - 2c_1 c_2 \dot{q}_2 \dot{q}_3] - \\ - c_2(c_2 q_3 \dot{q}_2^2 + 2s_2 \dot{q}_2 \dot{q}_3) = \ddot{q}_3 - s_2^2 q_3(q_1^2 + q_2^2) - c_2^2 q_3 \dot{q}_2^2. \end{gathered}$$

Отсюда следует третье уравнение системы (30). *Утверждение доказано*.

Библиографический список

1. Телегин А.И. Новый векторный вид уравнений динамики систем тел / А.И. Телегин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2014. – V. 14. – № 1. – С. 33–40.

К содержанию

ФИЛИАЛ В г. УСТЬ-КАТАВ

УДК 621.3.076

РАСЧЕТ МАССИВНОГО РОТОРА СИНХРОННОЙ РЕАКТИВНОЙ МАШИНЫ НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

К.М. Виноградов, В.Д. Константинов

Рассмотрен способ расчета массивного ротора синхронной реактивной машины независимого возбуждения. Показано, что явнополюсный ротор синхронной машины независимого возбуждения, не имеет обмотки возбуждения. Вследствие чего отсутствуют магнитные потоки рассеяния, которые в классической машине учитываются при расчете магнитодвижущей силы.

Ключевые слова: синхронная реактивная машина, пассивный ротор.

В синхронной реактивной машине независимого возбуждения ротор, как правило, выполняется не шихтованным, т.е. монолитным. Кроме того, он принципиально должен быть явнополюсным. Оптимальный выбор длины воздушного зазора главным образом определяет основные удельные показатели генераторной энергоустановки в целом и электрической машины в частности. Магнитное сопротивление и магнитное напряжение воздушного зазора, составляющее основную часть МДС магнитной цепи всей машины, тем меньше, чем меньше его длина. Из-за этого даже незначительное уменьшение зазора приводит к соответствующему увеличению индукции в зазоре и наоборот – увеличение величины воздушного зазора приводит к значительному уменьшению магнитной индукции. Однако чрезмерное уменьшение воздушного зазора δ приводит к возрастанию амплитуды пульсаций магнитной индукции в области полюса, что, в свою очередь, вызывает увеличение пульсационных и поверхностных потерь. В синхронной реактивной машине независимого возбуждения средней мощности длину воздушного зазора δ целесообразно выбирать по методике, аналогичной асинхронным двигателям переменного тока крановометаллургической серии [5].

Расчет синхронной реактивной машины независимого возбуждения на разных этапах включает в себя методы проектирования, которые используются при проектировании серийных машин постоянного тока, синхронных и асинхронных машин. Но в случае расчета синхронной реактивной машины независимого возбуждения приходится учитывать ее функциональные и конструктивные особенности.

При расчете основных электромагнитных нагрузок и выборе главных геометрических размеров необходимо учитывать то, что скорость враще-

ния реактивной машины ограничена лишь механической прочностью ротора. Этот факт позволяет существенно уменьшить габарит машины при сохранении мощности [5]. Известно, что один и тот же коэффициент использования электрической машины можно получить при относительно умеренных значениях линейной нагрузки A и относительно больших значениях магнитной индукции Bδ. Можно поступить и по другому – заложить относительно повышенные значения A и относительно низкие Bδ. В первом случае машины называют условно «стальными», имеющими относительно увеличенную массу магнитопровода, а во втором – условно «медными», т.к. в этом случае в машинах относительно велики объемы электрических обмоток. Как правило, бесконтактные электрические генераторы автономных энергоустановок и бесконтактные двигатели относятся ко второму типу машин, имеющих относительно пониженный объем и массу магнитопровода и поэтому меньшие значения удельной массы.

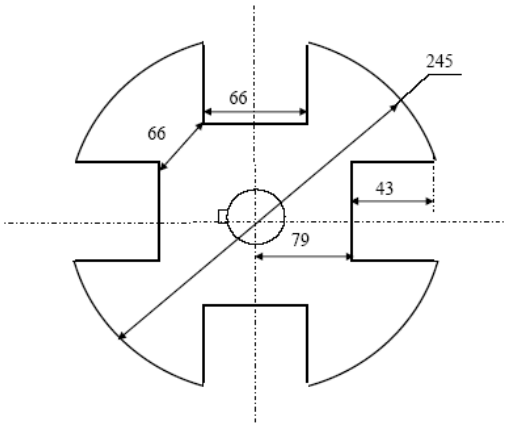
Проблема выбора оптимальной величины отношения диаметра и длины машины λ является сложной и многокритериальной задачей, которую нужно рассматривать и решать комплексно и совместно с конкретными технологическими требованиями. Учитывая относительно высокую механическую жёсткость и прочность массивного ротора, можно рекомендовать специальную удлиненную форму ротора. Это целесообразно там, где имеются ограничения свободному пространству и объему, здесь ротор можно выполнить относительно длиннее стандартного серийной машины, сохранив эквивалентную механическую мощность на валу или электромагнитный момент. В таких специальных случаях отношение λ можно выбирать в десятки раз больше обычных значений [1].

В генераторном режиме у синхронной реактивной машины независимого возбуждения число фаз якоря будет влиять на форму выпрямленного напряжения. Увеличение расчетного числа фаз m обмотки якоря снижает пульсации мгновенного значения выпрямленного напряжения генератора. Это позволяет сделать выходное напряжение более гладким. Кроме того, число фаз можно выбирать кратным трем, потому что в этом случае будут использоваться серийные (стандартные) полупроводниковые преобразователи и схемы выпрямления. Для обмотки возбуждения увеличение числа фаз приводит к значительному увеличению числа управляемых ключей (транзисторов). Если использовать индивидуальные источники питания на каждую фазу, то это число равно $4 \cdot m$, а при питании той же электрической машины от серийных мостовых инверторов число ключей будет всего $2 \cdot m$. Используя два типовых мостовых инвертора (выпрямителя), мы остановились на шестифазном варианте машины [1, 5].

Следует отметить, что расчет магнитодвижущей силы полюса синхронной реактивной машине независимого возбуждения отличается от расчета размеров магнитного полюса серийного синхронного явнополюсно-

го двигателя с активным ротором тем, что в нашем случае будут отсутствовать магнитные потоки рассеяния обмотки ротора [4].

На рис. показан поперечный разрез ротора для машины мощностью 150 кВт, на частоту вращения 10000 об/мин.



Пример четырех полюсного ротора

Физическая нейтраль смещается относительно геометрической нейтрали на некоторый угол. В синхронной реактивной машине независимого возбуждения намагничивающая составляющая поля реакции якоря действует в области полюса, а размагничивающая – в области межполюсного промежутка.

После расчета ротора приступают к следующей задаче – оптимизации линейной плотности поверхностного тока, учитывая совместную работу синхронной реактивной машины независимого возбуждения с вентильным преобразователем. Здесь необходимо учитывать и то, что данная машина принципиально работает не на синусоидальном токе. Форма тока статора имеет прямоугольный вид.

Библиографический список

1. Кононенко, Е.В. Синхронные реактивные машины / Е.В. Кононенко. – М.: Энергия, 1970. – 208 с.

2. Вольдек, А.И. Электрические машины: Учебник для вузов / А.И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.

3. Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; Под ред. И.П. Копылова. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2002. – 757 с.

4. Электропривод с синхронным реактивным двигателем независимого возбуждения / Ю.С. Усынин, Н.Д. Монюшко, М.А. Григорьев, Г.В. Караваев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2001. – № 4 (04). – Вып. 1. – С. 70–76.

5. Усынин, Ю.С. Электроприводы и генераторы с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, К.М. Виноградов // Электричество. – 2007. – № 3. – С. 21–26.

К содержанию

УДК 621.3.076 + 62-83:620.9

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

К.М. Виноградов

Рассмотрен пример модернизации электроприводов переменного тока. Показано, что переход от нерегулируемого электропривода к регулируемому, позволяет получить значительную экономию электроэнергии и потребляемых ресурсов при производстве тепловой энергии

Ключевые слова: энергосбережение, асинхронный электропривод, экономия, энергоресурсы.

Более 65 % производимой в стране электроэнергии потребляется электроприводом. Поэтому вполне логичным является то внимание технической общественности, которое обращается энергосбережению в электроприводе [1].

В последнее десятилетие из-за резкого удешевления полупроводниковых преобразователей частоты увеличивается и доля частотно-регулируемых асинхронных электроприводов в промышленности, объектах жилищно-коммунального хозяйства и других отраслях. Собственно, силовая часть схемы такого электропривода состоит из неуправляемого выпрямителя (как правило, на диодах), силового фильтра (конденсатора) и автономного инвертора напряжения (на IGBT-транзисторах). Выходное напряжение инвертора формируется с помощью широтно-импульсной модуляции, которая позволяет преобразовать неизменное по амплитуде постоянное напряжение на выходе полупроводникового выпрямителя в регулируемое по частоте и амплитуде напряжение первой синусоидальной гармоники, которое подается на статор двигателя. Система автоматического управления электроприводом, как правило, выполняется на программируемом контроллере. Встроенный контроллер позволяет осуществить управление преобразователем частоты и электроприводом в целом по разным законам (скалярное и/или векторное управление). Эти два варианта формирования электромагнитного момента двигателя опционально выбираются при настройке электропривода. При скалярном управлении поддерживают постоянство магнитного потока в воздушном зазоре двигателя (закон регулирования $U_c / f_c = \text{const}$). Это наиболее простой и поэтому самый распространенный способ управления асинхронным двигателем, который применяется в агрегатах и механизмах с мало изменяющимся моментом сопротивления нагрузки. При векторном управлении в регулируемом электроприводе постоянным поддерживают скольжение, что, в свою очередь, гарантирует минимальные потери в электроприводе, изменении

момента статической нагрузки на валу рабочего механизма в достаточно большом диапазоне. Такой эффект здесь достигается за счет уменьшения магнитного потока в воздушном зазоре асинхронного двигателя при малых моментах нагрузки, что приводит к уменьшению потерь в стали и снижению потерь от тока намагничивания. Большая номенклатура преобразователей частоты, предлагаемых на рынке, позволяет реализовать любые задуманные законы регулирования частоты вращения в асинхронных электроприводах [1, 4].

Необходимость исследования возможностей и путей повышения энергетической эффективности работы технологического оборудования на предприятии диктуется желанием максимально точно определить характер и очередность мероприятий по снижению потребления электроэнергии в ходе технологического процесса. Сегодня считается уже общепризнанным, что наибольший эффект энергосбережения достигается переходом на регулируемый электропривод. Между тем, затраты на регулируемый электропривод могут быть весьма внушительны. Поэтому в условиях действующего производства очень важно также установить целесообразную очередность перевода технологических механизмов на регулируемый электропривод, чтобы иметь наибольший экономический эффект [2].

Наиболее интересными в этом плане являются существующие электроприводы насосов, вентиляторов, дымососов и других тяго-дутьевых агрегатов котельных установок. На электроприводы этих механизмов приходится не менее 30–40 % всей энергии, потребляемой всеми наиболее массовыми электроприводами. Кроме того, переход к регулируемому асинхронному электроприводу часто не требует замены существующих электродвигателей переменного тока и тяго-дутьевых агрегатов, а модернизация сводится лишь к установке серийного полупроводникового преобразователя частоты.

Регулируемый асинхронный электропривод позволяет:

– отказаться от регулирования производительности тяго-дутьевых агрегатов с помощью дросселирования (задвижек) и перейти к регулированию угловой скорости вращения этого тяго-дутьевого агрегата. В зависимости от диапазона регулирования КПД установки в целом может быть увеличен на 10–40 %;

– увеличить срок службы и самого двигателя из-за уменьшения пусковых токов и исключения режимов прямого пуска двигателя;

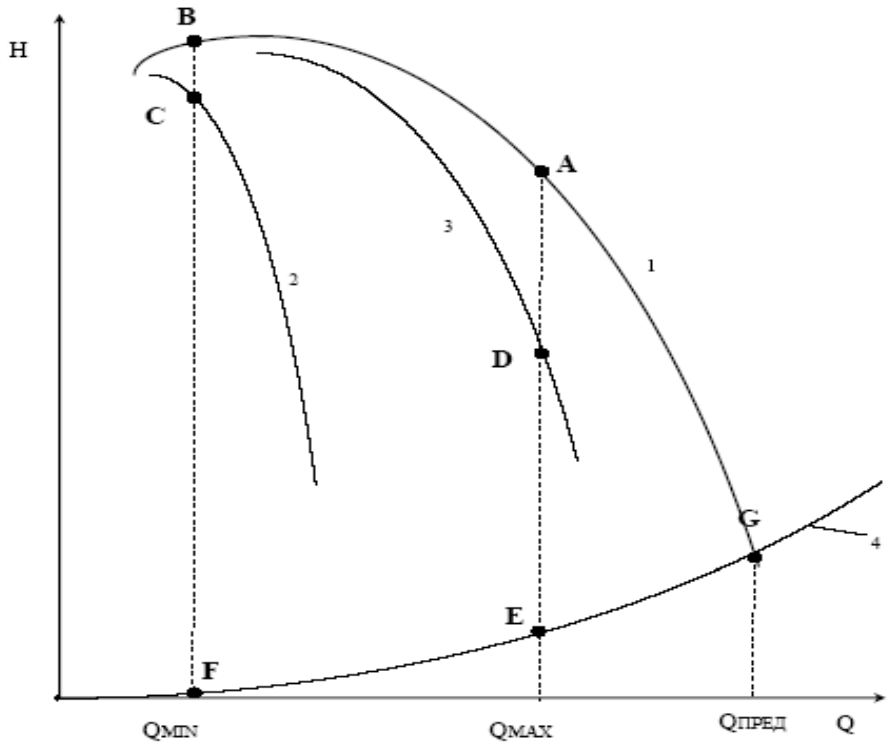
– облегчить режимы работы питающей сети из-за отсутствия больших пусковых токов;

– устранить гидравлические (аэродинамические) удары в трубопроводах (газовоздушных трактах), наблюдающиеся при прямых пусках двигателей;

– устранить избыточные параметры давления, увеличив срок службы оборудования и уменьшив тем самым непроизводительные потери ресурсов;

Например, при использовании регулируемых асинхронных электроприводов насосов в системах водоснабжения можно сэкономить до 10–30 процентов воды и до 20–50 процентов от потребляемой изначально электроэнергии.

На рис. показаны аэродинамические характеристики тяго-дутьевых механизмов при различных способах регулирования их параметров.



Сравнение мощности на валу тяго-дутьевого механизма
при разных способов регулирования

Здесь характеристика 1 представляет собой исходную аэродинамическую характеристику агрегата, характеристики 2 и 3 получаются изменением угла поворота направляющих лопаток, характеристика 4 – это аэродинамическая характеристика газо-воздушного тракта.

Возможная экономия электроэнергии в асинхронных электроприводах тяго-дутьевых агрегатов котельных установок проводилась для трех основных способов регулирования производительности этих механизмов:

– дроссельном (задвижка);

– изменением угла направляющего аппарата;

– изменением угловой скорости вращения вала.

Практически на всех существующих тяго-дутьевых агрегатов (дымососах и вентиляторах) котельных установок регулирование расхода воздуха ведется шиберами (дроссельная заслонка) или направляющими аппаратами (за счет изменения угла поворота лопаток). Скорость вращения электродвигателя остается неизменной, т.к. он подключен к промышленной сети. Поэтому эти тяго-дутьевые аппараты (особенно дымососы) имеют относительно большой запас по давлению (разрежению). Поэтому, когда эти агрегаты подключаются при полностью открытых направляющих аппаратах к газо-воздушному тракту, имеющему относительно малые значения аэродинамического сопротивления, то их КПД может значительно уменьшиться (в два–три раза и более). Тем не менее, как показывают расчеты и литературные источники [1], а также результаты экспериментов [4], экономия потребляемой электроэнергии оказывается относительно большой из-за снижения мощности воздушного потока. Следует заметить, что переход на частотное регулирование в идеальном случае должен сопровождаться применением низконапорных тяго-дутьевых агрегатов.

Кроме экономии электроэнергии, следует указать и на другие полезные эксплуатационные особенности регулируемых электроприводов, которые признаются всеми специалистами, но трудно поддаются предварительному количественному учету [3]. Это возможность резкого снижения пусковых токов в цепях статора двигателя и подводящих кабелях, снижение динамических нагрузок в механических деталях электроприводов, уменьшение износа оборудования из-за снижения средних значений перепадов давлений на входе и выходе вентиляторов и (или) и меньших угловых скоростей вращения вала двигателя, удлинение межремонтных сроков, удобство и упрощение операций управления режимами пуска и останова привода.

Библиографический список

1. Лезнов, Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках / Б.С. Лезнов. – М.: ИК «Ягорба» – «Биоинформсервис», 1998. – 144 с.

2. Ильинский, Н.Ф. Основы электропривода: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 224 с.

3. Ильинский, Н.Ф. Энергосберегающий электропривод / Н.Ф. Ильинский // Энергия. – 1999. – № 2. – С. 24–29.

4. Усынин, Ю.С. Энергосбережение в электроприводах тягодутьевых механизмов многосвязных объектов / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, А.Н. Шишков, А.Е. Бычков, Д.И. Кашаев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2011. – № 15 (232). – С. 40–45.

К содержанию

УДК 667.24: 675.1/2 + 675.261

ОКРАШИВАНИЕ КОЖАНЫХ ИЗДЕЛИЙ

А.В. Иршин, Н.С. Голубева

В статье ставится задача рассмотреть методы окраски кожевенного сырья, дается обобщенная характеристика шкур животных, которые применяют для выделки кожи. Описываются характерные особенности различных способов окраски кожи. На основании анализа существующих способов окрашивания кожевенного сырья, устанавливается, что кожевенное производство является наиболее консервативной отраслью лёгкой промышленности.

Ключевые слова: кожевенное сырье; крашение; покрытие; кожа.

Россия имеет богатый исторический опыт переработки шкур животных в кожевенные товары и традиционно является крупным производителем натуральных кож и изделий из них. Кожевенные ресурсы во всем мире считаются стратегическим сырьем и перерабатываются с высокой выгодой. У нас около 80 % кожевенного сырья ежегодно вывозится за рубеж. В настоящее время в России действует 50 кожевенных предприятий.

В последнее время намечается рост темпов структурных изменений, происходящих в российской кожевенной промышленности. Закрываются неэффективные и слабые предприятия. Намечается рост западных инвестиций в российскую кожевенную промышленность. Создаются новые кожевенные заводы с участием иностранного капитала. Активно ведутся работы по модернизации кожевенного оборудования, совершенствованию методов выделки и окрашивания кож, сокращению ручного труда, повышение производительности, упрощение технологии отделки и улучшение качества кож.

Кожевенное сырье – это шкуры животных, рыб, рептилий, используемые для выделки кожи. Пригодность шкуры для выделки определенного типа кожи определяется равномерностью распределения толщины, размером, плотностью, химическим составом и наличием дефектов. На свойства влияют происхождение животного, способ убоя (шкуры палых животных ниже по качеству), способ снятия шкуры, условия хранения сырья. При убое должно обеспечиваться обескровливание животного. Кровь, оставшаяся в сосудах шкуры, значительно понижает ее качество.

Различают сырье крупное, мелкое и свиное. К мелкому кожевенному сырью относят шкуры телят, коз, овец, нерп и другие виды мелких шкур. Крупное кожевенное сырье – это шкуры лошадей, крупного рогатого скота, лошадей, моржей, лосей. Свиное сырье – шкуры свиней. Кроме этих видов сырья, также используют шкуры рыб и рептилий.

Кожи для кожгалантерейных товаров производят почти из всех видов сырья, в основном комбинированным, хромовым или алюминиевым дублением. Барабанное крашение обеспечивает высокую устойчивость окраски к трению. Высокую влагостойкость коже придает использование лакового покрытия и анилиновой отделки. Кожи хромового дубления идут на изготовление сумок. Для изготовления дорожных сумок используют свиную кожу, для которой характерны большая толщина и плотность. Для улучшения вида ее подвергают нанесению искусственной лицевой поверхности. Для изготовления чемоданов, ремней применяют шорно-седельные кожи, полученные из шкур свиней, крупного рогатого скота комбинированным дублением. Для поясов применяют экзотические кожи – кожу птиц, крокодилов и змей. Кожи рептилий и змей чаще всего имитируют, поскольку изготовление изделий из этого вида кожи под силу только высококвалифицированным мастерам. Для этого применяют более дешевые кожи, подверженные тщательной выделке, а на последней стадии обработки ее прессуют, нанося характерный для редкого животного рисунок. Высокие требования предъявляются к коже, идущей на изготовление перчаток. Кожу для них получают алюминиевым, хромовым и алюмохромовым дублением.

Покрывное крашение – нанесение на поверхность кожи покрытия для защиты от влаги, химических и механических воздействий. Из определения видно, что покрывное крашение является важнейшей операцией кожевенного производства. При этом выравнивается лицевая поверхность кожи, улучшаются эксплуатационные свойства кожи: кожа с покрытием меньше загрязняется, грязь легко очищается. Покрывное крашение кож – наиболее распространенный способ их отделки. Так как лицевая поверхность кожи может иметь дефекты и пороки, покрывное крашение способствует их устранению, а также приводит к образованию прозрачной или непрозрачной пленки, улучшающей внешний вид и защитные функции кожи.

В технологии покрывного крашения кож довольно широко применяют различные химические материалы, которые могут быть классифицированы по группам: полимерные пленкообразователи (водные дисперсии – латексы, казеин, водо- и органоразбавляемые лаки и эмали), которые являются основой покрывной пленки; пигментные концентраты (пигментные пасты), придающие пленке цвет; смолы, восковые эмульсии, разбавители и пластификаторы, органические растворители, поверхностно-активные вещества (ПАВ), гидрофобизаторы, загустители, отвердители и другие добавки. Материалы для покрывного крашения можно подразделить на пигментные концентраты, нитроэмали, нитролаки, водоразбавляемые полимерные пленкообразователи, лаки. Большинство групп, которые относятся к водоразбавляемым пленкообразователям, составляют синтетические латексы. В отдельную группу могут быть объединены пленкообразователи

на основе модифицированного казеина, главным образом продукты прививки к казеину различных мономеров, придающих ему эластичность.

Классическим способом покрывного крашения можно получить несколько видов покрытий, на которые составлены и зафиксированы в соответствующих документах толщина, нормы расхода отделочных материалов, устойчивость к мокрому трению и многократному изгибу.

Казеиновое покрытие – покрытие казеиновыми красками, которое закрепляют нитроэмульсионными лаками, шеллачно-казеиновым закрепителем или формалином. Эмульсионно-казеиновое покрытие – верхний слой покрытия на основе казеиновых красок, а нижний – на основе эмульсионных пленкообразователей. Эмульсионное покрытие – покрытие на основе эмульсионных пленкообразователей, закрепляемых нитролаками, растворами полиуретановых смол или нитроэмульсионными лаками.

Нитроэмульсионное покрытие – верхний слой покрытия на основе нитрокрасок, а верхний – на основе эмульсионных пленкообразователей.

Кожи, не имеющие дефектов, можно окрашивать в различные цвета, применяя исключительно анилиновые красители; кожа с пятнами окрашивается только в черный цвет с применением растительных красок или анилиновых красителей. Для окрашивания в черный цвет применяются анилиновые красители и растительные краски; для цветных кож почти исключительно анилиновые красители.

Недостатки перечисленных покрывных красок: низкая термо- и морозостойкость, неустойчивость к действию органических растворителей и к физическому воздействию, недостаточная эластичность и паропроницаемость, краситель наносится только на лицевую сторону. Поверхностным окрашиванием нельзя добиться такого стойкого цвета, как после глубокой окраски.

При глубоком крашении кожу погружают в раствор того или иного красителя и выдерживают в нем. После такого крашения кожа прокрашивается с обеих сторон. Глубокое крашение кож предъявляет менее жёсткие требования для красителей, возможно использовать натуральные или анилиновые красители. Так же к достоинствам глубокой окраски кожи можно отнести гибкость, морозостойкость, паропроницаемость, стойкость цвета и экологичность. Основной недостаток – меньшая прочность поверхностного слоя.

Классификация кожи по способу окраски:

1. Окраска в чане с вращающимися лопастями. При этом способе происходит окрашивание обеих сторон кожи.

2. Окраска погружением. Складывают две кожи внутренней стороною и опускаются в красильную ванну. Этот способ используют при окраске кож небольшого размера.

3. Нанесение краски при помощи щеток производится на большие шкуры.

4. Окраска в промывном барабане, закрытом сосуде с полыми осями для добавления красящего раствора.

5. Красящие вещества. Для окраски кож, дубленых растительными веществами, применяют основные и кислые красящие вещества.

6. Для окраски хромовой кожи употребляют кислые красящие вещества.

Проведя анализ существующих способов и оборудования для окрашивания кожевенного сырья можно сделать вывод, что кожевенное производство является наиболее консервативной отраслью лёгкой промышленности. Основным недостатком современного оборудования и методов окрашивания кож является невозможность совмещения достоинств глубокого и покрывного окрашивания.

Библиографический список

1. Дубиновский, М.З. Покрывное крашение кож: учеб. пос. для сред. спец. учеб. завед. легкой промышленности / М.З. Дубиновский. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 120 с.

2. Куциди, Д.А. Предупреждение и устранение дефектов кож / Д.А. Куциди. – М.: Легпромбытиздат, 1990.

3. Отделка кож: справочник / Под ред. И.П. Страхова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.

К содержанию

УДК 004.94

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ SCADA-СИСТЕМ

Ю.В. Константинов, В.Г. Некрутов, В.Д. Константинов

В статье рассмотрены наиболее важные компоненты SCADA-систем, уровни систем автоматизации с применением SCADA, примеры отечественных и зарубежных SCADA-систем, различные критерии выбора SCADA-систем.

Ключевые слова: SCADA, критерии выбора, возможности SCADA.

Общие сведения о SCADA

SCADA-система (Supervisory control and data acquisition – Диспетчеризация и сбор данных) – это инструментальная программа, обеспечивающая создание программного обеспечения для автоматизации контроля и управ-

ления технологическим процессом в режиме реального времени. Основная цель создаваемой с помощью SCADA программы – дать оператору, управляющему технологическим процессом, полную информацию об этом процессе и необходимые средства для воздействия на него.

Основные задачи SCADA-системы: сбор данных от датчиков и представление их оператору в удобном для него виде, включая графики изменения параметров во времени; дистанционное управление исполнительными механизмами; ввод заданий алгоритмам автоматического управления; реализация алгоритмов автоматического контроля и управления (чаще эти задачи возлагаются на контроллеры, но SCADA-системы тоже способны их решать); распознавание аварийных ситуаций и информирование оператора о состоянии процесса; формирование отчетности о ходе процесса и выработке продукции.

От надежности, быстродействия и эргономичности SCADA-системы зависит не только эффективность управления технологическим процессом, но и его безопасность.

Наиболее важные компоненты SCADA

Специалисты отделов АСУТП металлургических предприятий утверждают, что в основном, используют такие компоненты, как мониторинг и управление, архивирование технологических параметров, сообщений, подсистему формирования отчетов.

Мониторинг и управление, собственно, то, для чего и устанавливается система управления. Архивы параметров, сообщений и отчеты необходимы для оценки и анализа ведения технологического процесса, действий оператора и т.д. Также для них важен один из базовых инструментов SCADA – разграничение прав доступа к управлению по уровням (оператор, технолог, инженер АСУТП).

В связи с тенденцией к интеграции систем управления технологическими процессами и систем управления предприятием все чаще возникает необходимость использования SCADA в качестве источника данных для вышестоящих систем. Некоторые SCADA могут выступать и как сервер консолидации всех технологических данных, и как сервер генерации отчетов на базе этих данных.

Если система управления, построена на базе ПЛК одного производителя, то обмен данными между контроллерами и SCADA происходит с помощью встроенных драйверов протоколов связи. Некоторые независимые от производителей оборудования SCADA предлагают набор драйверов ко многим (но не всем) имеющимся на рынке контроллерам и интеллектуальными приборам. Наиболее универсальный способ взаимодействия – это использование драйверов, разработанных в соответствии со стандартом OPC (OLE for process control). Такие OPC-серверы могут быть разработаны производителями контроллеров или независимыми разработчиками, а ис-

пользоваться вместе с любой SCADA-системой. Для эффективной работы с OPC-серверами SCADA должна использовать их напрямую, по технологии «OPC в ядре системы», а не через промежуточные интерфейсы. Некоторые SCADA являются вертикально-интегрированными: в их состав входят системы программирования для свободно-программируемых контроллеров. В них также используются внутренние драйверы для связи с контроллером. Такие SCADA позволяют создать программно-технические комплексы с использованием оборудования разных производителей.

Уровни систем автоматизации с применением SCADA

Системы технологической автоматизации обычно разделены на три уровня: нижний, средний и верхний. Выше них находится уровень управления производством в целом.

Нижний уровень – это сами датчики и исполнительные механизмы. Средний уровень – контроллеры. На среднем уровне происходит: прием входных данных; первичная обработка данных; автоматическое формирование и выдача управляющих воздействий на исполнительные механизмы; обмен информацией с верхним уровнем. Верхний уровень – это и есть уровень SCADA. На этом уровне происходит: сбор, обработка и хранение информации, полученной на среднем уровне; визуализация текущей и архивной информации в удобном оператору виде (мнемосхемы, графики, тренды, журналы сообщений); ввод команд оператора; формирование отчетности о результатах технологического процесса; обмен информацией с верхним уровнем.

Примеры SCADA-систем

Наиболее популярные в России следующие зарубежные SCADA: InTouch (Wonderware, США); RSView32 (Rockwell Automation, США); Genesis64 (Iconics, США); WinCC (Siemens, Германия); Vijeo Citect (Schneider Electric, Франция).

Наиболее популярные отечественные модели SCADA: MasterSCADA (ИнСАТ, Москва); TRACE MODE (AdAstra, Москва); Круг2000 (Круг, Пенза).

В отличие от большинства западных SCADA все российские содержат встроенные средства программирования контроллеров с использованием языков стандарта МЭК61131-3, в том числе языка функциональных блоков. Причем, если сама SCADA рассчитана на работу в среде Windows на PC-совместимых компьютерах, то исполнительная система для контроллеров может работать и на других Logix-платформах.

Стандарт OPC поддерживают все перечисленные системы, однако в системе Trace Mode упор делается на использование собственных драйверов, а MasterSCADA, хоть и поддерживает использование драйверов, но основывается на технологии «OPC в ядре системы» и предлагает отдельный инструментальный пакет для разработки OPC-серверов.

Выбор SCADA-системы

Выбор SCADA-системы является сложной многоаспектной задачей. Ее решением является компромисс между стоимостью, полнотой программного обеспечения, комфортностью, надежностью, техническим уровнем, и т.д.

Во многих SCADA-системах имеются характерные базовые свойства, но возможности их реализации сильно различаются. Это объясняется необходимостью разработке дополнительного программного обеспечения (новые драйверы ввода-вывода, встроенные библиотеки, графические объекты и др.). Для сокращения этой процедуры важны три фактора: степень соответствия выбранной SCADA-системы задачам пользователя, понимание нюансов при реализации конкретной прикладной системы поставщиками SCADA-продукта, а также качеством осуществляемой ими технической поддержки.

На выбор SCADA-системы большое влияние оказывают следующие свойства: вид, мощность и динамичность объекта автоматизации; класс систем автоматизации и контроля; учет дальнейшего распространения SCADA-системы на другие объекты автоматизации; имеющаяся платформа; типы и число контроллеров; расположение и число пультов операторов; число измеряемых величин на каждый пульт; применяемая сетевая архитектура; необходимость обработки измерительной информации; надежность.

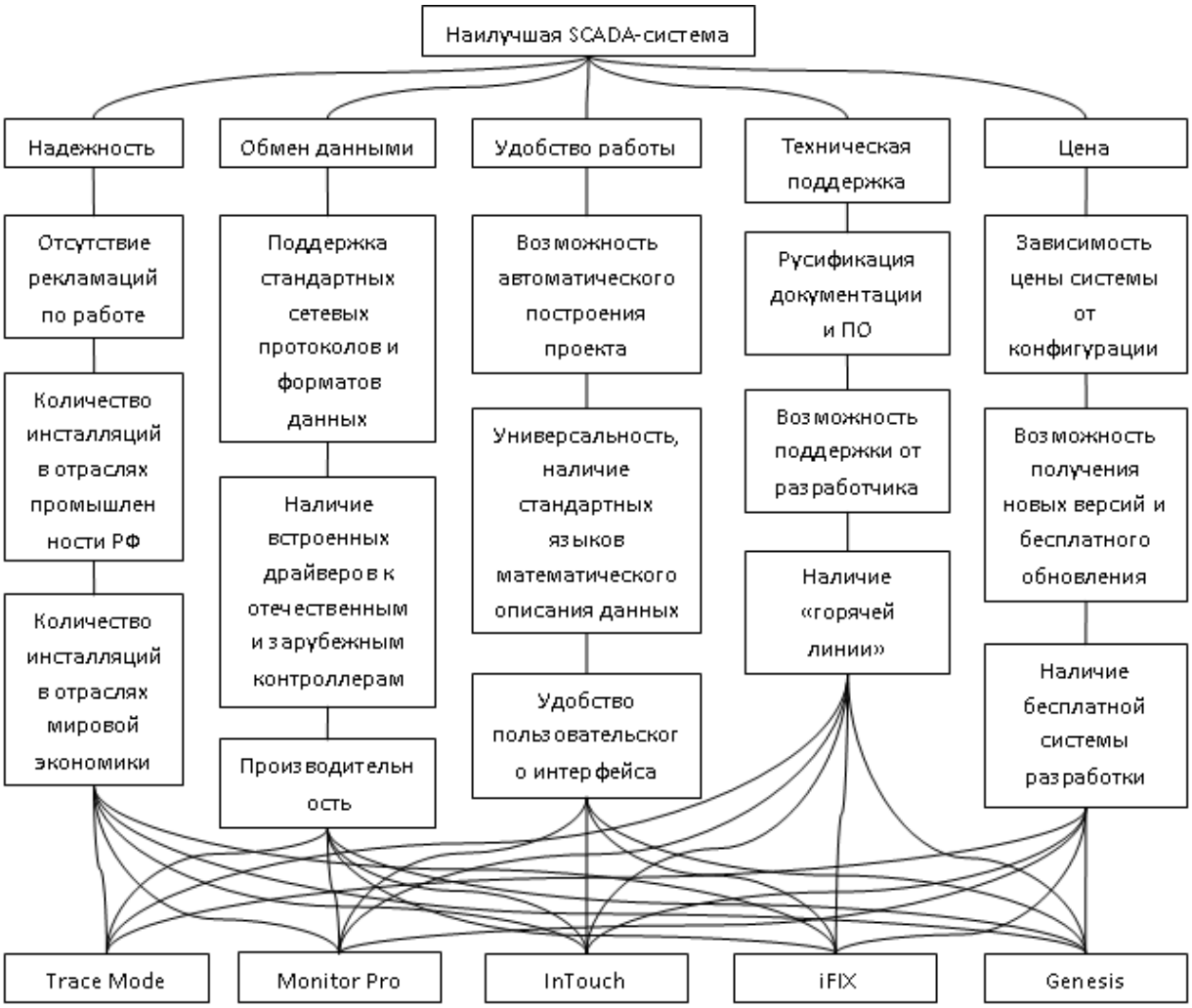
SCADA-системы различают по таким параметрам как мощность векторной графики; возможность работы с мультимедиа; формат экспорта и импорта изображений; особенность построения графиков, трендов; проектирование первичной переработки данных; тиражирование изображений; написание пользователем программ и т.д.

Большинство SCADA-систем работают под Windows NT и поэтому используют одинаковую платформу, обладают одинаковыми функциональными и графическими возможностями, а приоритетными выступают такие критерии, как обмен данными, надежность работы, техническая поддержка, удобство работы и цена. На рис. приведена иерархия критериев, в соответствие с которыми оцениваются SCADA-системы.

При выборе SCADA-системы необходимо отталкиваться от конкретной задачи, так как она определяет дальнейшее решение.

SCADA-системы могут анализироваться в разных срезах и один из них: кто выбирает SCADA – конечный пользователь, например, технолог или системный интегратор, имеющий опыт в создания проектов.

Процесс выбора включает в себя следующие стадии: составление технических требований к SCADA-системе; оценка выделенных SCADA-систем по отзывам пользователей; выделение двух–трех SCADA-систем, наиболее подходящих к объекту автоматизации; личное ознакомление со SCADA-системами, их тестирование; определение наилучшей SCADA-системы и принятие решения.



Критерии выбора SCADA-систем

Методов определения надежности SCADA-систем нет, хотя важность этого критерия составляет, по оценкам специалистов, 70 %. Косвенным показателем надежности является количество инсталляций, если их число превышает 1000, то роль этого показателя незначительна.

На второй позиции, по мнению специалистов, расположен такой критерий, как обмен данными. Важными условиями являются поддержка стандартных сетевых протоколов и форматов данных, включая Web-технологии, наличие встроенных драйверов к отечественным и зарубежным контроллерам, а также производительность системы.

Важную роль играют протоколы для организации взаимодействия между компонентами, которые могут быть расположены на одном или на разных узлах.

Важнейшим критерием для российских пользователей является цена. Обычно, критерий выбора – это соотношение функциональность / стоимость. Пользователи в основном обращают внимание на связь цены систе-

мы от конфигурации, возможность получения новых версий и бесплатного обновления программ, а также наличие бесплатной системы разработки.

Значительна роль технической поддержки в условиях высоких требований к оптимальному использованию конкретного высокотехнологичного продукта при ужесточении требований к ее квалификации и компетентности менеджеров систем. Зарубежные программы уступают по русификации документации, а также программного обеспечения, по качеству технической поддержки, наличию «горячей линии», а главное, по возможности поддержки от производителя.

Критерий «удобство работы» в оценках специалистов имеет незначительное значение, хотя и вызывает наибольший интерес, например, возможность автоматического построения проекта, наличие стандартных языков математического описания данных и процессов, удобство работы с редакторами, универсальность, качество графики и стандартных изображений, эмуляция работы.

В силу того, что производители SCADA-систем выпускают свои продукты для Windows NT, а общие технические возможности систем достаточно близки, главный упор делается на качество технической поддержки, на качество обучения пользователей, на концентрацию и качество дополнительных комплексных услуг по освоению и внедрению конечной системы управления, другими словами, на сокращение издержек разработчиков, на инжиниринг и менеджмент своих проектов, на уменьшение стоимости сопровождения конечной системы. Рассмотренные показатели влияют на рейтинг и рыночный успех SCADA-системы. Эти показатели более важны, чем абсолютные стоимостные характеристики SCADA-систем.

Тестирование SCADA-систем затрагивает вопросы языков программирования, коммуникационных протоколов, новых технологий. Это требует полного изучения и анализа, который должен стать основой для разработки методики тестирования с целью определения максимальной производительности, функциональных возможностей или недостатков конкретной SCADA-системы.

От того, кто проводит тестирование – журнал или организация для своих проектов зависит выбор методов тестирования и критериев. В первом случае упор делается на общие принципы построения продуктов, на поддерживаемые протоколы, на производительность и т.д., во втором случае учитываются особые, ориентированные на определенные проекты условия, следовательно, возможны специализированные методы тестирования.

Использование методики сравнительного анализа, основанной на косвенных заключениях экспертов, является предпочтительной и повышает достоверность получаемой информации.

Выводы

Функциональные возможности всех SCADA-систем в целом идентичны. Методика программирования близка к интуитивному восприятию автоматизируемого процесса. Применяемое в большинстве SCADA-систем объектно-ориентированное программирование делает их легкими в освоении и доступными для большого круга пользователей.

Все SCADA-системы можно считать относительно открытыми, поддерживающими возможность дополнения функциями собственной разработки, имеющими открытый OPC-протокол для разработки драйверов, доступность к стандартным базам данных, развитую сетевую поддержку и возможность включения объектов ActiveX. Важной особенностью систем является число поддерживаемых разнообразных контроллеров.

Построение АСУТП на основе любой из SCADA-систем не требует от пользователя больших знаний классического программирования, позволяя концентрировать усилия по освоению знаний в прикладной области.

Библиографический список

1. Андреев, Е.Б. SCADA-системы: взгляд изнутри / Е.Б. Андреев, Н.А. Куцевич, О.В. Синенко. – М.: Издательство «РТСофт», 2004. – 176 с.

2. Конюх, В.Л. Компьютерная автоматизация в промышленности / В.Л. Конюх. – М.: Издательство «Бестселлер», 2006. – 237 с.

К содержанию

УДК 621.735.34

НЕ БОРОТЬСЯ С ГОФРАМИ, А УПРАВЛЯТЬ!

Ю.Б. Колесов, В.Г. Некрутов

В статье описывается разработанная технология вытяжки полых деталей из листовой заготовки с предварительным образованием гофров ограниченной высоты и последующим непрерывным их выпрямлением.

Ключевые слова: процесс вытяжки, гофры.

Основным недостатком большинства известных способов вытяжки полых деталей из листовой заготовки является необходимость обеспечения переменного давления на фланец заготовки по ходу процесса с целью предотвращения образования гофров. Регулирование давления требует значительного усложнения конструкции штамповой оснастки и оборудования [1–2].

В разработанной технологии вытяжка осуществляется с предварительным образованием на фланце гофров ограниченной высоты, а стенка готового изделия формируется за счёт их непрерывного распрямления [3].

Для образования гофров заготовку помещают в сужающуюся полость, которую образует матрица и прижатый к ней гофроограничитель. Профиль гофров соответствует углу сужающейся полости α, который найден из условия, обеспечивающего образование устойчивых гофров без возможности преобразования гофров в складки. Этот угол определяют расчётом в каждом конкретном случае в зависимости от размеров заготовки и изделия, а также показателя упрочнения материала заготовки [3–4].

Формирование гофров в начале процесса вытяжки происходит путём изгиба при отсутствии тангенциальной пластической деформации сжатия, поэтому утончение заготовки на пуансоне отсутствует в начале вытяжки. Это имеет наиболее важное значение при использовании особо тонкого металла (0,1–0,3) мм.

При выпрямление гофров непрерывно меняется их высота, что обеспечивает условие саморегулирования усилия прижатия фланца. Прижатие фланца заготовки к матрице осуществляется за счёт деформирования самого фланца, а не за счёт подведения энергии со стороны штампа. Следовательно, устройств для регулирования давления прижима нет, но функции прижима выполняются.

Опробование технологии на деталях цилиндрической формы с плоским дном показало, что утончение уменьшается на 15–20 %, что позволяет сократить число вытяжных операций. При этом исключался расход энергии на регулирование давление прижима.

Новую технологию можно применять в различных отраслях, например, в производстве автомобилей, приборов, консервной тары, в нефтяном и химическом машиностроении.

Таким образом, управляя, не препятствуя естественному стремлению листовой заготовки к гофрооброзованию в процессе вытяжки, можно увеличить производительность и повысить качество изделий, исключив необходимость регулирование давление прижима.

Библиографический список

1. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.

2. Бирюков, Н.М. Устойчивость листовой заготовки при вытяжке цилиндрических и конических деталей жестким штампом / Н.М. Бирюков // Изв. вузов. Машиностроение. – 1973. – № 2. – С. 123–127.

3. А.с. 1245383 СССР, МКИ В 21 D 22/20. Способ вытяжки полых изделий из листовой заготовки / Ю.Б. Колесов.

4. Колесов, Ю.Б. Технология вытяжки полых изделий с предварительным конусообразованием фланца заготовки / Ю.Б. Колесов, П.С. Мальцев // Автоматизация и информатизация в машиностроении: тематический сборник научных трудов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – Вып. 5. – 124 с.

К содержанию

УДК 621.929.7

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ

В.Г. Некрутов, А.В. Иршин

В статье производится аналих существующих типов вибровозбудителей, рассматриваются различные конструкции рабочего органа смесителя, предназначенного для перемешивания жидких гетерогенных сред.

Ключевые слова: вибровозбудитель, жидкая гетерогенная среда, колебания.

В зависимости от способа возбуждения механические колебания делят на свободные, вынужденные и самовозбуждающиеся (автоколебания) колебания [1].

Вибрационные машины применяются практически во всех отраслях промышленности, в строительстве, сельском хозяйстве, быту. Для возбуждения вибраций, которую сообщают рабочему органу, используются устройства называемые вибровозбудителями [1, 2].

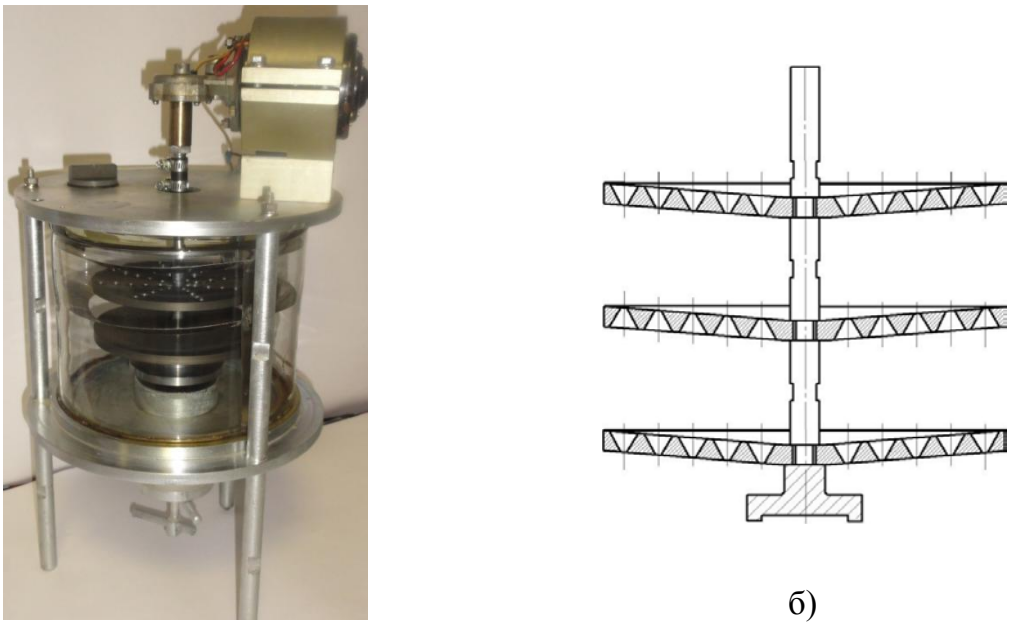
Существуют различные типы вибровозбудителей: центробежные, эксцентриковые, электромагнитные, электродинамические, гидравлические, пневматические, роторные [1, 2].

Проведено сравнение эксплуатационных характеристик различных видов вибровозбудителей, которое показало, что добиться идеальных условий возбуждения колебаний в настоящее время не удается. А учитывая, что в условиях рыночной экономики наиболее важными показателями являются: относительно низкие затраты на приобретение вибромашины, обусловленные несложной конструкцией, и ее высокая производительность, зависящая от уровня регулируемости параметров и диапазонов воспроизводимых частот и амплитуд вынуждающих сил, ни одна из существующих моделей вибровозбудителей не обладает даже удовлетворительными потребными характеристиками. Так, у гидравлических вибровозбудителей самый высокий уровень регулируемости параметров, но при этом они являются и самыми дорогими. Поэтому при выборе конструкции вибрацион-

ной машины учитывают приемлемые только для определенного технологического процесса параметры колебаний рабочего органа, а также их характер, под которым имеется в виду наличие или отсутствие пиковых значений ускорений при работе машины (ударно-вибрационный или безударный вибрационный режим). Также важное значение имеет форма колебаний рабочего органа (круговые, эллиптические, прямолинейные, винтовые, различные комбинированные колебания и т.д.), спектральный состав периодических колебаний рабочего органа (простые гармонические, бигармонические, полигармонические колебания). К параметрам относят период колебаний и размах перемещения рабочего органа машины.

Из всего многообразия типов вибровозбудителей, наиболее распространены центробежные, так как у них не высокая стоимость и простая конструкция, им свойственны большие значения отношения вынуждающей силы к массе вибровозбудителя, широкие диапазоны, в которых можно назначать частоту колебаний, возможность безступенчатого или ступенчатого регулирования частоты и амплитуды вынуждающей силы, работы при больших диссипативных сопротивлениях, низкая чувствительность к изменениям внешних воздействий [1, 2].

Целью работы являлось исследование нового способа возбуждения колебаний [3], посредством роторного инерционного вибровозбудителя, реализованного в конструкции смесителя для перемешивания жидких гетерогенных сред, представленного на рисунке 1.



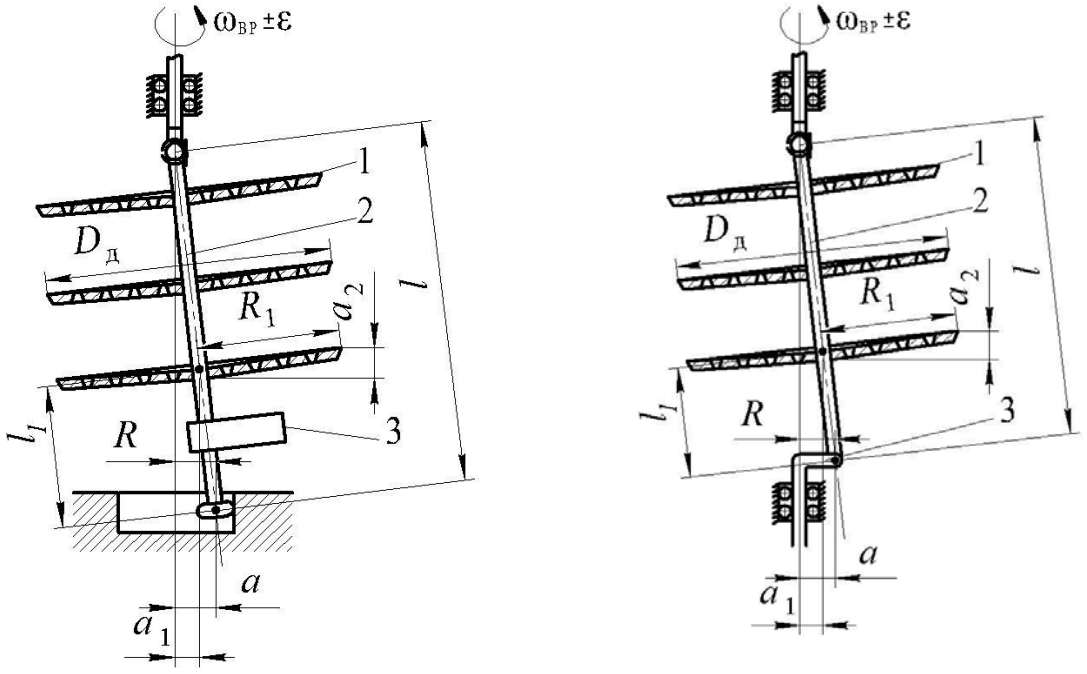
а) б)

Рис. 1. Экспериментальная установка смесителя:
а) общий вид смесителя; б) рабочий орган смесителя

Для достижения максимальной интенсивности процесса смешивания жидких гетерогенных сред за счет углубления турбулизации путем увеличения циркуляции потоков и исключения застойных зон было предложено сообщение вращения и радиально-осевых колебаний рабочему органу (ротору с перфорированными дисками) смесителя [4] (см. рис. 1).

Были рассмотрены примеры конструкций устройств смесителя – приводов вращательного и колебательного движений, т.к. известно, что сообщать колебания вращающемуся ротору с дисками можно посредством многих известных устройств, например, установив на один из его концов дебаланс (рис. 2а), либо кривошипно-шатунный механизм (рис. 2б), либо какой-то другой вибропривод [1, 5].

К преимуществам конструкций данного типа относится: простота, невысокая стоимость; широкий диапазон частоты генерируемой вибрации; возможность достижения высокого отношения амплитуды вынуждающей силы к массе вибровозбудителя; удобство регулирования частоты вибрации, амплитуды вынуждающей силы; малая чувствительность к изменениям внешних воздействий.



а) б)

Рис. 2. Рабочий орган смесителя: а) устройство с дебалансом (1 – диск; 2 – ротор; 3 – дебаланс; $\omega_{вр} \pm \varepsilon$ – частота вращения ротора с дисками с пульсациями скорости; $D_д$ – диаметр диска ротора; R_1 – радиус диска; R – радиус окружности, описываемой приводом колебаний; l – вылет вращаемого тела; l_1 – расстояние между диском и приводом его колебаний; a_1 – амплитуда радиальных колебаний (в зоне диска); a_2 – амплитуда осевых колебаний (в зоне диска); б) устройство с кривошипно-шатунным механизмом (3 – кривошип)

К недостаткам относится: зависимость регулирования частоты и амплитуды вынуждающей силы; сравнительно небольшой ресурс, который в значительной степени зависит от качества применяемых материалов и изделий, точности изготовления и сборки деталей, правильности эксплуатации и ухода; длительный переходный процесс при выбеге ротора, который можно сократить только если ввести торможение вращения инерционного элемента [2, 5].

Реализации нового способа возбуждения колебаний [3], посредством роторного инерционного вибровозбудителя, заключается в том, что вращаемое тело с дисками, перфорированными встречными коническими отверстиями торцевой поверхностью сопрягают с контртелом тарированной силой прижима и обкатывают по замкнутой траектории, имеющей поворотную симметрию вокруг оси симметрии траектории. При этом создают циркуляцию встречных затопленных закрученных потоков рабочей среды путем сообщения ей совместного вращения с пульсациями скорости, радиально-осевых колебаний и увеличивают длину их пути перемешивания. Это позволяет повысить интенсивность процесса и улучшить качественные характеристики готового продукта [6]. Устройство рабочего органа с роторным инерционным вибровозбудителем представлено на рисунке 3.

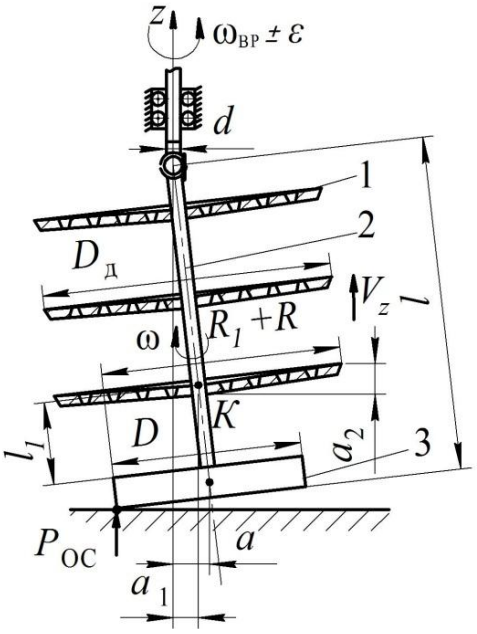


Рис. 3. Устройство с роторным инерционным вибровозбудителем:
(1 – диск; 2 – тарелка ротора; $\omega_{вр} \pm \varepsilon$ – частота вращения ротора с дисками с пульсациями скорости; $D_д$ – диаметр диска ротора; R_1 – радиус диска; R – радиус тарелки ротора; l – вылет вращаемого тела; l_1 – расстояние между диском и тарелкой ротора; a_1 – амплитуда радиальных колебаний (в зоне диска); a_2 – амплитуда осевых колебаний (в зоне диска)

Предлагаемый способ возбуждения колебаний еще не достаточно исследован. Но уже сейчас можно предполагать, что роторные вибровозбудители, основанные на этом способе, имеют большое будущее.

Например, наличие контртела дает возможность изменить процесс возбуждения колебаний путем увеличения степеней свободы контртела, его принудительного вращения или замены контртела на другой ротор.

Сходство с центробежными вибровозбудителями (в плане вращения неуравновешенной массы) дает возможность использовать роторные вибровозбудители в синхронных колебательных системах. Это позволит регулировать и форму колебаний, а также повысит коэффициент усиления вынуждающей силы.

Все это, а также нахождение путей устранения единственного существенного недостатка (небольшой ресурс, вследствие значительных нагрузок на опоры качения), требует проведения глубокого исследования колебательных систем с предлагаемыми роторными вибровозбудителями.

Библиографический список

1. Азбель, Г.Г. Вибрации в технике: справочник в 6 т. Т.4: Вибрационные процессы и машины / Г.Г. Азбель, И.И. Блехман, И.И. Быховский и др.; под ред. Э.Э. Лавендела. – М.: Машиностроение, 1981. – 509 с.

2. Блехман, И.И. Вибрационая механика / И.И. Блехман. – М.: Наука. Изд. Фирма «Физ.-мат. лит.», 1994. – 394 с.

3. А.с. №1664412. Способ возбуждения круговых колебаний и устройство для его осуществления / С.Г. Лакирев, Я.М. Хилькевич, С.В. Сергеев. – Опубл. В Б. И., 1991, Бюл. № 27.

4. Пат. 2543204 Российская Федерация, МПК B 01F 11/00. Способ перемешивания жидкости / С.В. Сергеев, В.Г. Некрутов и др. – № 2013121302/05; заявл. 07.05.2013; опубл. 27.02.15, Бюл. № 6.

5. Кожевников, С.Н. Механизмы: справочник / С.Н. Кожевников. – М.: Машиностроение, 1976.

6. Некрутов, В.Г. Совершенствование аппарата с вибромешалкой для получения пищевых эмульсий: автореф. дис. … канд. тех. наук / В.Г. Некрутов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 20 с.

К содержанию

УДК 621.9.015

МОДЕЛИ ТОЧНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ ДВУХЛЕЗВИЙНЫМИ КОЛЬЦЕВЫМИ СВЁРЛАМИ

С.П. Пестов

Предложены модели точности формообразования отверстий двухлезвийными кольцевыми свёрлами в виде уравнений, учитывающих формирование отверстия режущими лезвиями, которые срезают переменные площади, определяемые параметрами заточки инструмента, предшествующими положениями лезвий, осевыми биениями шпинделя и жесткостью элементов технологической системы.

Ключевые слова: модели; точность; формообразование; отверстия; двухлезвийные кольцевые свёрла.

Обработка отверстий больших диаметров в деталях машиностроительного производства выполняется обычно за два и более переходов (сверление, рассверливание и др.). Однако, для обработки отверстий Ø40…80 мм и более, длиной до 50 мм за один переход эффективно применять кольцевые (трепанирующие) свёрла. Проблемы, связанные с обеспечением эффективности обработки отверстий такими свёрлами во многом объясняются отсутствием достаточно надёжных и достоверных моделей точности формообразования, позволяющим проводить оценку достигаемых параметров точности с учётом конкретных конструкторско-технологических факторов при обработке.

Разработка моделей точности формообразования отверстий кольцевыми свёрлами рассмотрена на примере двухлезвийного кольцевого сверла. При этом учитывается формирование отверстия режущими лезвиями, которые срезают переменные площади, определяемые параметрами заточки инструмента, переменным припуском, предшествующих положений лезвий, осевых биений шпинделя и жесткостью элементов технологической системы. Модели формообразования разработаны в виде уравнений, в том числе с запаздывающим аргументом. Поскольку площади срезаемых слоёв зависят от соотношения подачи на зуб (лезвие) инструмента S / z и осевого сдвига (биений) τ режущих лезвий, то модели разделены на модели 1) с относительно большими подачами ($S / 2 \geq \tau$) и 2) с относительно малыми подачами ($S / 2 < \tau$). Рассматриваемый подход к формообразованию отверстий многолезвийными концевыми мерными инструментами был реализован в работе [1].

На рис. 1 приведена расчётная схема модели формообразования отверстий двухлезвийными кольцевыми свёрлами с относительно большими подачами (модель 1).

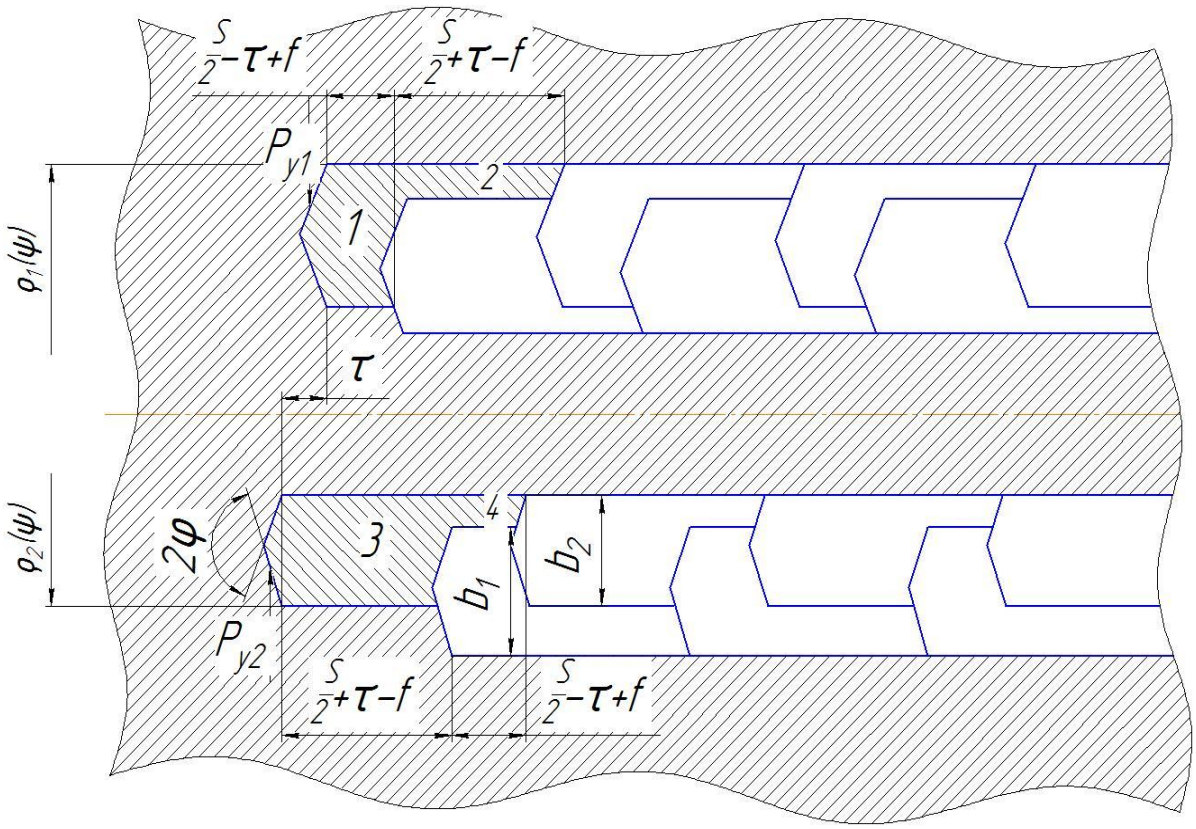


Рис. 1. Расчётная схема формообразования отверстия
с относительно большими подачами (модель 1)

Из расчётной схемы формообразования (см. рис. 1) следует:

$$\begin{cases} S_1(\psi) = S/2 + (O_S/2)\cos(n\psi), \\ S_2(\psi) = S/2 + (O_S/2)\cos(n(\psi+\pi)), \\ \Delta_1 = \Delta_{01} + \Delta_{02} = b_1(S_1 - \tau + f) + (\rho_1(\psi) - \rho_2(\psi-\pi)) \cdot (S_1(\psi) + \tau - f), \\ \Delta_2 = \Delta_{03} + \Delta_{04} = b_2(S_2 + \tau - f) + (\rho_1(\psi-\pi) - \rho_2(\psi) + b_2 - b_1) \cdot (S_2(\psi) - \tau + f), \\ f = \dfrac{(\rho_1(\psi) - (\rho_2(\psi-\pi))}{(D_{ин}/2\tau)}, \\ J_1\delta(\psi) = K_2\Delta_3 - K_1(\Delta_1 + \Delta_2), \\ \rho_1(\psi) = (D_{ин}/2) + \delta(\psi), \\ \rho_2(\psi) = (D_{ин}/2) - \delta(\psi), \end{cases}$$

где S – осевая подача, мм/об; $S_1(\psi)$ и $S_2(\psi)$ - толщины срезаемых слоёв лезвиями с учётом осевых O_S биений инструмента и числа n его осевых биений за один оборот; Δ_1 - площади срезаемого слоя первого лезвия, в мм^2; Δ_2 - площади срезаемого слоя второго лезвия, в мм^2; $\rho_1(\psi), \rho_2(\psi)$ - радиус-векторы вершин соответственно первого и второго лезвия, в мм; $D_{ин}$ – диаметр инструмента, в мм; τ – осевое биение режущей кромки, в мм; ψ – те-

кущий угол поворота инструмента, в град.; b_1, b_2 - длина режущей кромки соответственно первого и второго лезвия, в мм; J_1 – жесткость элементов технологической системы; K_1 и K_2 - коэффициенты резания; $\delta(\psi)$ - смещение оси инструмента при формообразовании.

На рис. 2 приведена расчётная схема модели формообразования отверстий двухлезвийными кольцевыми свёрлами с относительно малыми подачами (модель 2).

Из расчётной схемы формообразования (см. рис. 2) следует:

$$\begin{cases} S_1(\psi) = S/2 + (O_S/2)\cos(n\psi), \\ S_2(\psi) = S/2 + (O_S/2)\cos(n(\psi+\pi)), \\ \Delta_1 = \left(\rho_1(\psi) - (\rho_2(\psi-\pi)\right)\cdot 2S_1(\psi), \\ \Delta_2 = b_2 \cdot 2S_2(\psi), \\ J_1\delta(\psi) = K_2\Delta_3 - K_1(\Delta_1+\Delta_2), \\ \rho_1(\psi) = (D_{ин}/2) + \delta(\psi), \\ \rho_2(\psi) = (D_{ин}/2) - \delta(\psi). \end{cases}$$

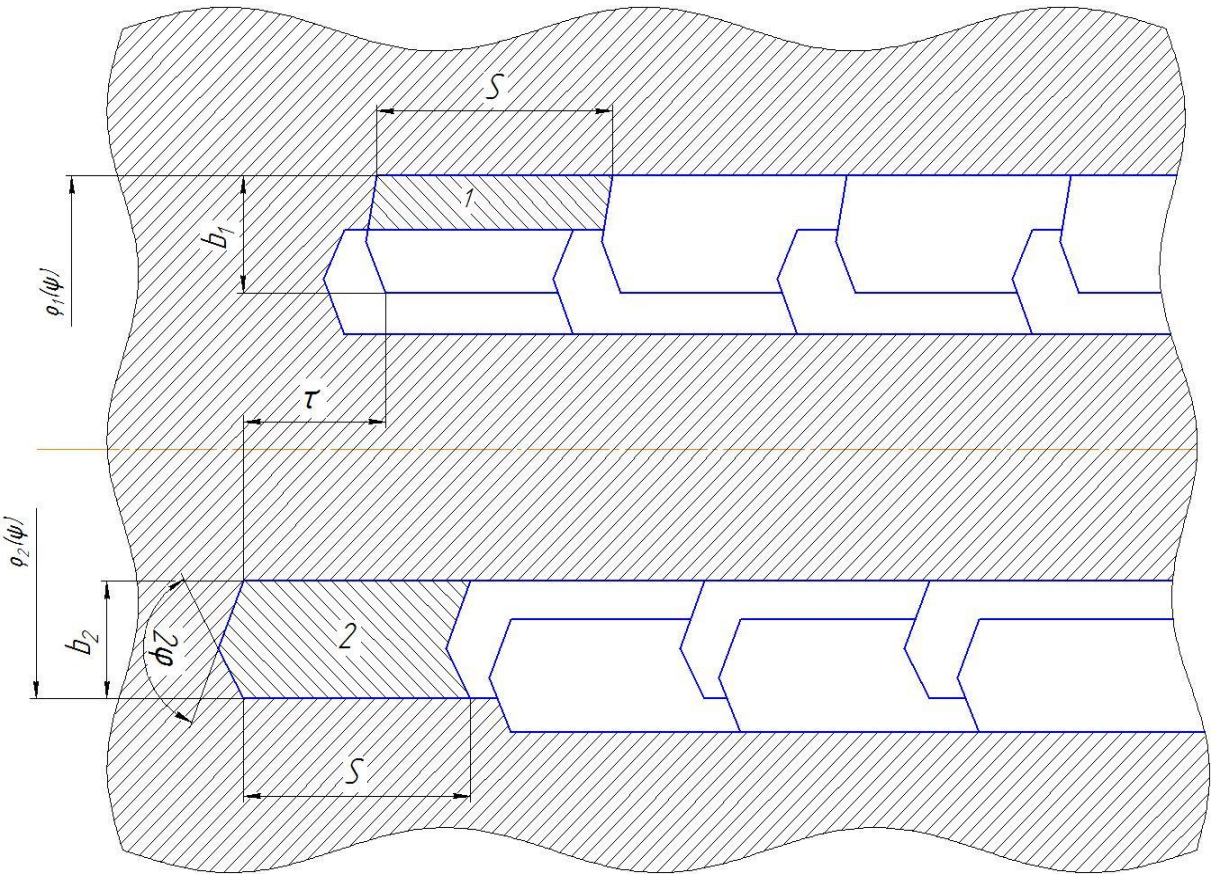


Рис. 2. Расчётная схема формообразования отверстия
с относительно малыми подачами (модель 2)

При компьютерном решении разработанных уравнений моделей формообразования отверстий двухлезвийными кольцевыми свёрлами необходимо определить радиус-векторы вершин лезвий путём последовательной подстановки значений предыдущего и текущего положений радиус-вектора, которые рассчитываются через равные углы $\Delta\psi$ поворота инструмента.

Параметры точности находятся из числового массива координат точек профиля отверстия, формируемые радиус-векторами ρ_i вершин лезвий инструмента в любом продольном и поперечном сечениях [2]. Например, для расчёта отклонений от круглости Δ_o предварительно формируется массив радиус-векторов $\rho_0(\psi)$ отверстия для каждого оборота инструмента при разбивании его с шагом $\Delta\psi = 1°$. Далее из этого массива определяются наибольшие D_{max} и наименьшие D_{min} диаметральные размеры отверстия:

$$\begin{cases} D_{max} = \max\{\rho_0(\psi) + \rho_0(\psi + 180°)\} \\ D_{min} = \min\{\rho_0(\psi) + \rho_0(\psi + 180°)\} \\ \psi = \overline{0°, 180°}. \end{cases}.$$

Для каждого оборота формируют массив отклонений от круглости Δ_o:

$$\{\Delta_{oi}\} = \left\{\frac{D_{max} - D_{min}}{2}\right\}.$$

В этом массиве находят наибольшее отклонение, которое и определяет отклонение от круглости, т.е.

$$\Delta_o = \max\{\Delta_{oi}\}.$$

Библиографический список

1. Пестов, С.П. Система математических моделей формообразования отверстий концевыми мерными инструментами на станках с ЧПУ / С.П. Пестов, О.О. Беляев, П.Г. Мазеин // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. - 2003. - № 4 (21). - С. 83–87.

2. Пестов, С.П. Оценка нормируемых параметров точности отверстий при компьютерном моделировании на этапе формообразования / С.П. Пестов // Автоматизация и информатизация в машиностроении: тематический сб. науч. тр. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – С. 66-70.

К содержанию

УДК 621.311.6 + 656.4:620.9

ВОПРОСЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ГОРОДСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Н.Л. Дружкова, В.Д. Константинов

Рассмотрены вопросы экономии электроэнергии при эксплуатации городского электротранспорта. Разделены расходы электроэнергии на собственные нужды и на тяговый электропривод. Приведён пример утилизации избытка рекуперативной энергии.

Ключевые слова: энергосбережение, модели; трамвайный вагон, электротранспорт.

Для того чтобы экономить электроэнергию нужно четко представлять реальные расходы электроэнергии при эксплуатации городского электротранспорта, а именно трамваев и троллейбусов.

Только комплексный подход к решению проблемы может дать реальный результат экономии электроэнергии.

Следует разделять расходы электроэнергии на собственные нужды и на движение.

Под собственными нуждами подразумеваются расходы на освещение, отопление, вентиляцию и кондиционирование воздуха, информационные системы, системы безопасности, работу электроприводов дверей и других вспомогательных механизмов. Здесь все просто. Чем меньше потребляемая мощность устройств, тем лучше.

На новых трамвайных вагонах и троллейбусах устанавливаются светодиодные линии освещения и светильники вместо ламп накаливания, используются светодиодные информационные системы и системы безопасности с цифровым управлением. Для электропривода дверных механизмов используются вентильные двигатели постоянного тока с системой управления.

С отоплением и вентиляцией ситуация несколько сложнее, так как расход электроэнергии определяется внешними климатическими условиями.

В современных трамваях и троллейбусах уже существуют системы отопления с автоматическим поддержанием заданного значения температуры воздуха в салоне и в кабине, на некоторых моделях салоны и кабины оснащены автономными кондиционерами воздуха и системами вентиляции. Но это отдельные системы, не связанны между собой, которые включаются водителем по мере необходимости.

На современном этапе отопление, вентиляцию и кондиционирование воздуха следует рассматривать как единую систему создания комфортных условий проезда пассажиров в салоне транспортного средства и работы водителя – в кабине. Эта система должна контролировать и поддерживать

заданное значение температуры воздуха в летнее и зимнее время, то есть от −40 °С до +40 °С, контролировать состав воздуха, обеспечивать равномерную раздачу воздушных потоков в салоне и в кабине. При этом работать она должна в автоматическом режиме. Обязанности водителя при этом будут заключаться во включении системы и выборе режима в начале работы, визуальном контроле исправности системы на мониторе пульта водителя и отключении в конце рабочей смены. Первый опыт проектирования и изготовления таких систем уже есть у ООО НПФ «ЭТНА». Но как любой первый опыт он требует эксплуатационных проверок и серьезных доработок. Какова будет при этом экономия электроэнергии, покажет опыт эксплуатации. Но то, что это будет более эффективное использование энергетических ресурсов, несомненно.

Основные расходы электроэнергии при эксплуатации городского электротранспорта приходятся на осуществление движения транспортного средства, то есть на тяговый электропривод. Экономить здесь можно только на оптимизации режимов движения.

Во-первых, это применение современных электронных систем управления тяговыми электродвигателями. Замена релейно-контакторной системы управления на вагонах модели КТМ 71-605 на электронную систему управления дает экономию потребляемой электроэнергии до 40 % при прочих равных условиях эксплуатации.

Во-вторых и в-третьих, это современные системы мониторинга дорожной ситуации на маршрутах, и грамотная диспетчеризация движения. Практически все выпускаемые трамваи и троллейбусы оснащены электронными системами управления и приборами учета электроэнергии. Во многих городах внедрены современные системы мониторинга и диспетчеризации. И это дает безусловный эффект в экономии электроэнергии.

Но при этом, практически, ни в одном городе не решена проблема утилизации рекуперативной энергии.

Всем известно, что при торможении тяговые электродвигатели трамваев и троллейбусов вырабатывают электроэнергию и отдают её в контактную сеть. Использование этой энергии на создание силы тяги других вагонов, сама по себе, идея отличная. Но в современных условиях, когда на одном участке контактной сети могут находиться несколько транспортных средств в разных режимах движения и торможения, часто случается так, что рекуперативная энергия в режиме торможения одних гораздо больше, чем требуется на создание силы тяги для других. Если на маршруте эксплуатируются только вагоны современные вагоны с низким энергопотреблением, тогда напряжение контактной сети на отдельном участке поднимается значительно выше допустимого. Разработчики современных систем управления вынуждены ограничивать напряжение рекуперации и гасить часть рекуперативной энергии на тормозных реостатах, но даже при этом

часто напряжение в контактной сети поднимается настолько высоко, что система управления отключается защитой от перенапряжения. Это приводит к преждевременному старению электрооборудования, сбою движения и созданию нештатных ситуаций. Вот эту проблему уже нельзя откладывать на потом. И решать её нужно комплексно: разработчикам систем управления, эксплуатирующим организациям и энергетикам.

Основной вопрос – как утилизировать избыток рекуперативной энергии. Для этого нужно точно знать: где и когда образовался этот избыток и что с ним делать (рис.).

Контактная сеть

Если $(I'_{B1} + I'_{B2}) > (I''_{B1} + I''_{B2})$ – Перегрузка по току на тяговой эл. подстанции (ТЭП).

Если $(I'_{B1} + I'_{B2}) < (I''_{B1} + I''_{B2})$ – перегрузка по току на вагоне 3 (В3).

Создание гибридных троллейбусов – это хороший способ утилизации электроэнергии. Положительный опыт эксплуатации есть в нескольких городах России. Аккумуляторные батареи заряжаются рекуперативной энергией при работе троллейбуса от контактной сети и разряжаются при работе на маршрутах без контактной сети.

Режим автономного хода в трамваях рассчитан не участок пути более одного километра. Такой режим предназначен для движения вагона в случае потери напряжения контактной сети и является «аварийным». Для того, чтобы такой режим стал «рабочим» нужны маршруты без контактных сетей, но с трамвайными путями. При этом вес аккумуляторных батарей для работы четырех тяговых двигателей, по предварительным расчетам, будет около 1 тонны. По нашему мнению – очень сомнительный проект.

Гораздо эффективней может быть применение системы накопителей электроэнергии, как на трамвайном вагоне, так и на участке контактной сети, и на тяговой подстанции. При этом сложность состоит в размещении накопителей на вагонах и на участках контактной сети, например на опорах, в разработке системы контроля заряда – разряда накопителей и в способе передачи, перераспределения и утилизации избытка электроэнергии на тяговой подстанции. Такой проект может дать значительную экономию электроэнергии. Но пока такие проекты находятся в стадии проработки.

Хорошо хотя бы то, что пришло осознание необходимости согласованных действий в этом направлении.

К содержанию

УДК 621.9.04-529

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

С.Н. Юдин, С.П. Пестов

В данной статье рассматривается 3D-моделирование оправки кондукторной, предназначенной для увеличения жесткости системы СПИД, повышения точности обработки отверстий концевым мерным инструментом на станках с ЧПУ.

Ключевые слова: 3D-моделирование в SolidWorks, оправка кондукторная, станки с ЧПУ, заднее направление, концевые мерные инструменты.

В работе [1] описаны разработанные элементы технологической системы с направлением, которые позволяют существенно повысить точность обработки отверстий на станках с ЧПУ. Ниже рассматривается методика моделирования твердотельной 3D-модели «Оправка кондукторная» для заднего направления концевых мерных инструментов на оборудовании компьютеризированного производства в автоматизированной системе SolidWorks.

Для создания трехмерной твердотельной модели запускаем SolidWorks. При создании детали, необходимо кликнуть левой клавишей мыши на панели инструментов кнопку «Файл» (рис. 1), затем Новый. После этого появится диалоговое окно, в котором следует выбрать «Трехмерное представление одного компонента» и затем откроется окно с деревом построения (рис. 2).

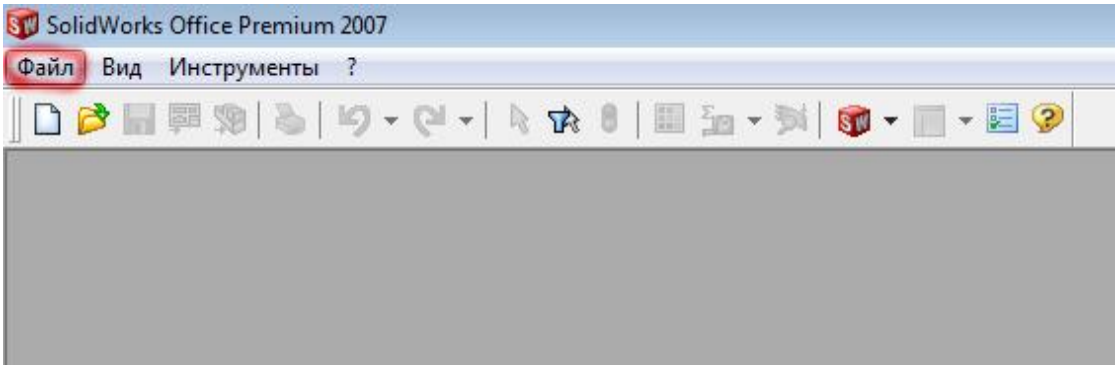


Рис. 1. Кнопка «Файл»

Далее необходимо кликнуть левой кнопкой мыши на какую-либо из трех плоскостей. Для простоты дальнейшей сборки трехмерных компонентов непосредственно в узел, выбрана плоскость «Спереди», которая будет служить основной плоскостью для создания эскизов.

Сначала кликаем левой кнопкой мыши на плоскости «Спереди», затем - на команду «Эскиз», после чего появятся клавиши, позволяющие начать редактирование эскиза. Следует заметить, что программа SolidWorks имеет настолько дружественный и понятный интерфейс, что при наведении курсора на какую-либо кнопку на панели инструментов, появляется небольшое описание для данной команды. После входа в редактор эскиза, необходимо нарисовать эскиз будущего твердотельного элемента, для этого на панели инструментов кликаем на команду «Линия» и начинаем отрисовывать контуры будущей детали.

Для повышения точности при моделировании можно расставлять размеры с помощью команды «Автоматическое нанесение размеров» (рис. 3). При использовании данной команды можно уменьшать или увеличивать текущие размеры, что позволяет при некоторых недочетах или ошибках быстро перестроить текущий эскиз, и следовательно, изменить 3D-модель.

После простановки размеров и выполнения эскиза детали (контура) необходимо обязательно поставить осевую линию, вокруг которой будет повернут текущий эскиз, вследствии чего образуется трехмерная твердотельная модель детали. Для того, чтобы нарисовать осевую линию, выбираем команду «Линия», рисуем линию и изменяем ее свойства в диалоговом окне свойств на «Вспомогательная геометрия». После этого линия станет осевой.

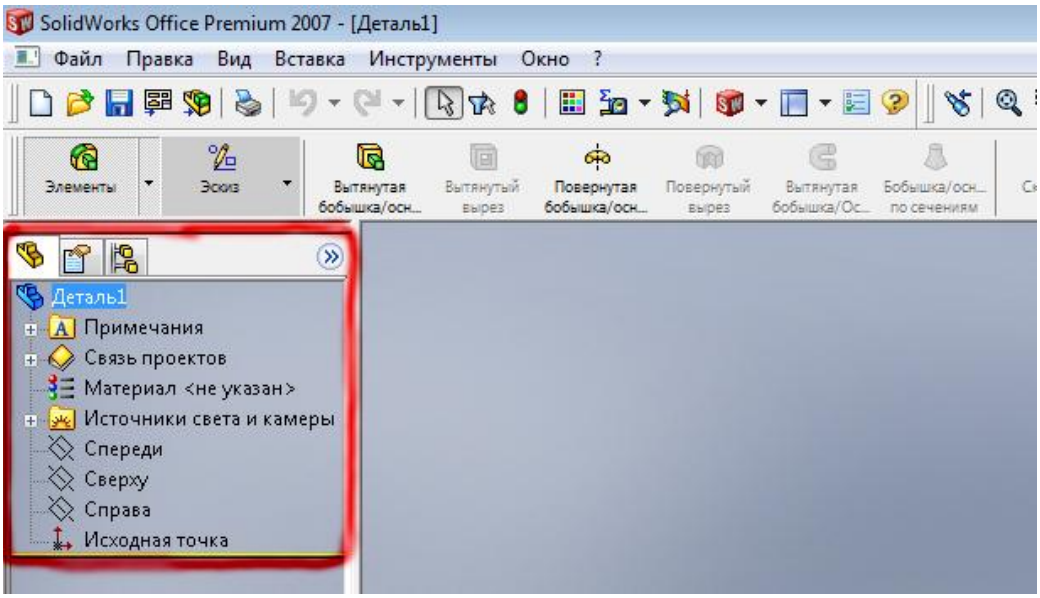


Рис. 2. Окно с деревом построения

Затем необходимо кликнуть на панели инструментов клавишу «Элементы», тогда станут доступны кнопки, позволяющие создать объемное тело: «Вытянутая бобышка/основание», «Повернутая бобышка/основание» и т.д. В данном случае необходимо кликнуть на команде «Повернутая бобышка/основание», так как формируемая деталь представляет собой тело вращения (рис. 4).

После этого появится диалоговое окно, в котором можно отредактировать определение текущего объекта: «Парметры элемента», где указывается повернутый эскиз и ось, вокруг которой данный эскиз нужно повернуть. Если выбрать уже готовый эскиз, то программа автоматически назначит все необходимые параметры, остается лишь указать при необходимости, на сколько градусов следует повернуть эскиз. В данном случае эскиз повернем на 360 градусов. В конечном итоге получаем 3D-модель, представленную на рис. 4.

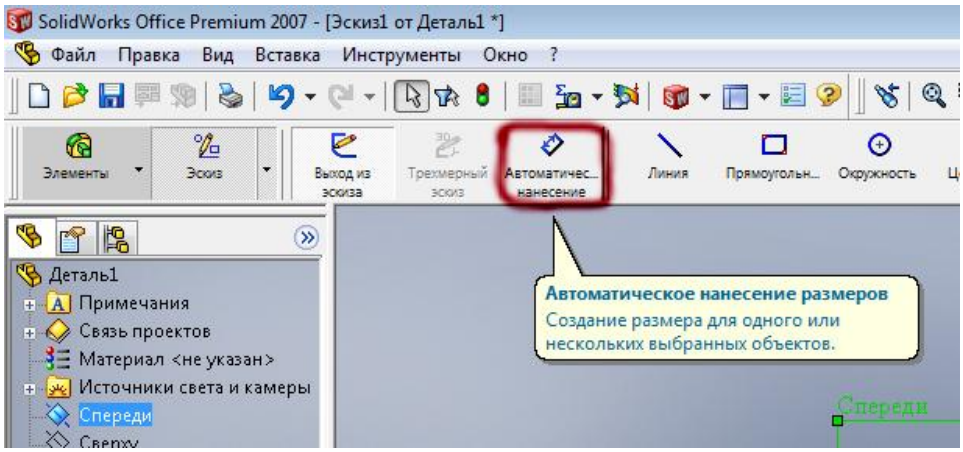


Рис. 3. Автоматическое нанесение размеров

Данная трехмерная твердотельная модель требует доработки, а именно: в детали Оправка предусмотренно 8 отверстий для закрепления оправки в узле, а также несколько проточек, фаски и проточка под шпонку. Для выполнения этих элементов нам потребуется начертить необходимые эскизы будущих вырезов в соотвествии с конфигурацией конечной детали.

Следующим шагом будет создание фаски на нашей детали. Для создания фаски в программе есть специальная кнопка на панели инструментов «Фаска». Нажимаем на грани трехмерной модели, на которые нужно нанести фаску и кликаем на команду «Фаска», после чего появиться диалоговое окно с редактированием свойств фаски. Выбираем необходимые свойства, в данном случае, расстояние 1 мм, угол 45 градусов и нажимаем кнопку «ОК».

Чтобы выполнить парные проточки на «Оправке», нужно кликнуть на плоскости фланца и войти в редактор эскиза, нажав соотвествующую кнопку на панели инструментов, и нарисовать необходимые контуры. В случае с первой проточкой это будет два замкнутых прямоугольника. Подчеркиваю слово замкнутых, так как при выполнении команды «Вытянутый вырез» для правильного определения команды программой необходимо, чтобы нарисованный профиль был именно замкнут! В противном случае не удасться выполнить необходимое действие.

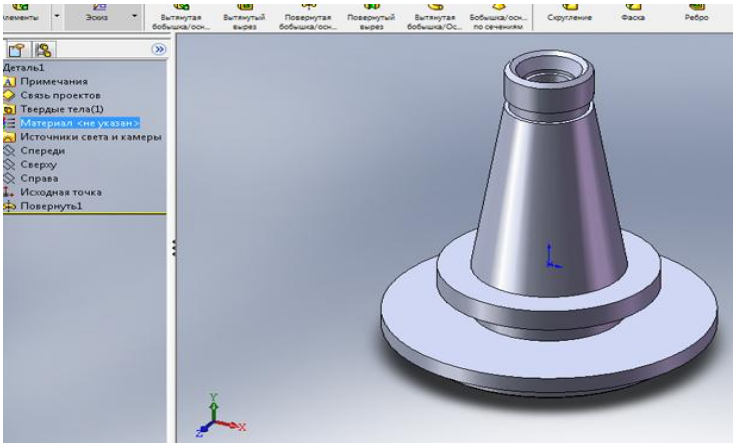


Рис. 4. Трехмерная модель детали «Оправка»

После завершения эскиза нажимаем кнопку «Выход из эскиза» и выбираем команду «Втянутый вырез». Затем появится диалоговое окно с выбором свойств данной команды, позволяющее выбрать «заданное расстояние», «через все» и т.д. Для данной проточки расстояние должно быть такое, чтобы она прорезала фланец. При ручном указании расстояния область, которая будет отсечена выделяется желтым цветом, поэтому при редактировании определения наглядно изображается конечный результат. После выбора необходимых свойств, нажимаем «Ок» и получаем необходимый результат.

Переходим к выполнению следующей операции. Нам необходимо выполнить проточку по окружности фланца. Снова входим в редактор эскиза и чертим необходимый контур с осевой линией, так как будущая проточка будет выполнена командой «Повернутый вырез», для выполнения которой необходима осевая линия. Выполнив эскиз, нажимаем кнопку «Повернутый вырез» на панели инструментов. По умолчанию в свойствах стоит 360 градусов, поэтому ничего не меняя нажимаем «Ок».

После завершения работы с этим элементом твердотельной модели, переходим к созданию отверстий. Сначала выполним два отверстия для Винта М6 х 10 ГОСТ 17475-80. Кликнув на плоскости «Спереди» войдем в редактор эскиза, нарисуем окружность диаметром 7 мм и выйдем из эскиза. Затем выполним команду «Вытянутый вырез», указав в свойствах два направления и расстояние «Через все». В результате будет создано необходимое отверстие. В дальнейшем, после выполнения следующих 6 отверстий на фланце, необходимо на всех отверстиях выполнить фаску. Чтобы несколько раз не выполнять одну и ту же операцию, выполним ее по окончанию работы над всеми отверстиями.

Для выполнения отверстий на фланце оправки выберем плоскость фланца кликнув по ней левой кнопкой мыши, затем необходимо кликнуть по команде «Эскиз» и нарисовать соответствующую диаметру отверстия окружность, выйти из редактора эскиза, выполнить команду «Вытянутый вырез». После этого, из справочной геометрии выберем «Ось» и нарисуем ее прямо из начала координат под углом 90 градусов вертикально вверх. Справочная ось необходима для команды «Круговой массив», которая позволит распространить одно отверстие по плоскости фланца вокруг себя. Нарисовав справочную ось на панели инструментов, нажимаем «Круговой массив», выделив при этом соотвествующий элемент, то есть отверстие. В свойствах кругового массива нужно указать ось, вокруг которой будет происходить вращение, шаг и количество экземпляров (рис. 5). По завершению ввода свойств, нажимаем кнопку «ОК».

Теперь можно выбрать грани для фаски и клинкнуть на панели инструментов команду «Фаска». Назначаем параметры: длина 3 мм, угол 45 градусов и жмем «Ок». Теперь на всех отверстиях есть фаски.

Следующая операция для данной трехмерной твердотельной модели – вырез под шпонку. Для выполнения данного выреза встанем на плоскость Оправки, располагающуюся снизу, то есть на окружность, которая граничит с соседней деталью Корпус и через которую передается крутящий момент на режущий инструмент. Именно для передачи крутящего момента и необходима шпонка, для которой предназначен этот вырез. Встав на плоскость, заходим в редактор эскиза, выполняем контур будущего выреза и выходим из редактора. На панели инструментов нажимаем кнопку «Вытянутый вырез» и редактируем определение данной операции. По завершению редактирования жмем «ОК». Полученный вырез представлен на рис. 6.

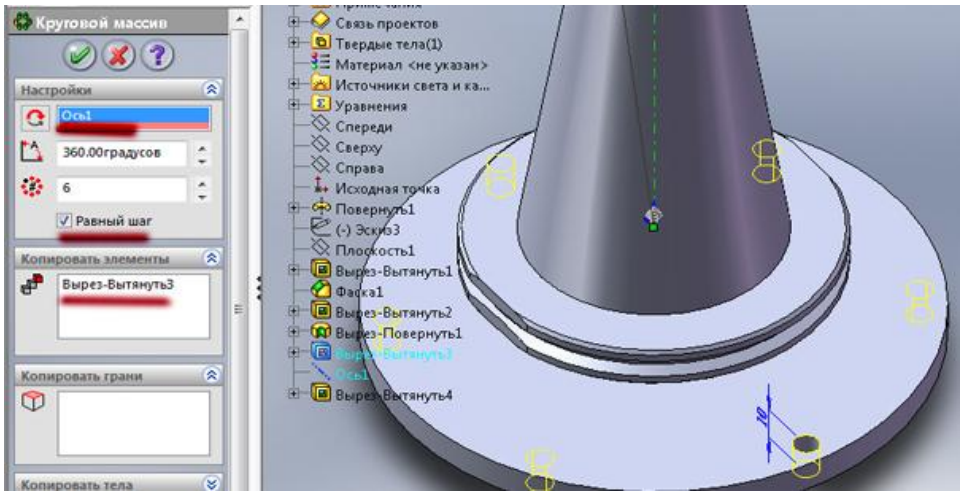


Рис. 5. Редактирование определения команды «Круговой массив»

После выполнения этой операции остается указать материал 3D-модели. Для этого следует в дереве построения кликнуть на команду Материал <не указан> левой кнопкой мыши (рис. 7 – Материал <не указан>) и, нажав правую кнопку, вызвать окно редактирования материала. Появиться диалоговое окно свойств.

Расточные оправки изготавливают из стали, тяжелых сплавов на основе вольфрама и твердого сплава. Наиболее популярным материалом является легированная сталь, но некоторые производители используют и углеродистую сталь (см. http://www.mirstan.ru/index.php?page=art11). Выбираем легированную сталь и нажимаем «ОК». Трехмерная модель изменит цвет в соответствии с заданными стандартными настройками для данного материала. Выбор материала необходим для дальнейшего более точного исследования всего узла при действии на него сил резания. Так же указав материал, можно узнать с помощью программы массу Оправки.

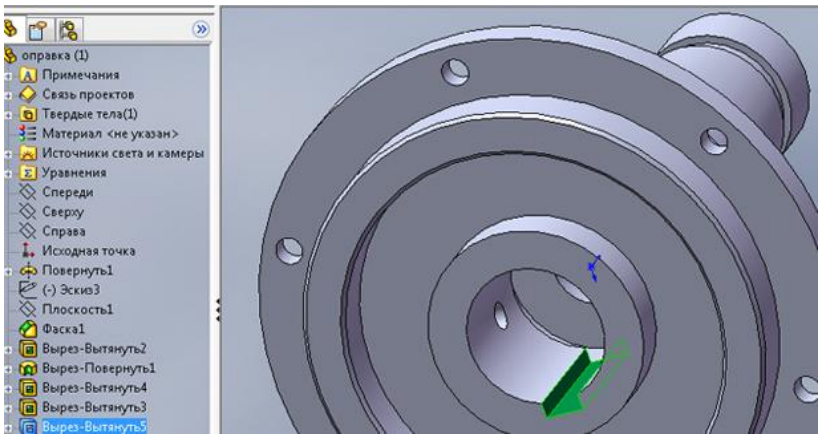


Рис. 6. Шпоночный паз

Далее аналогично необходимо смоделировать все детали, входящие в узел. На моделировании последующих деталей останавливаться подробно не стоит, а приведем готовую 3D-модель Оправки кондукторной в статье ниже.

В узел кондукторной оправки входят следующие детали: оправка, обечайка, крышка, компенсатор, крышка, стакан, ползун, втулка кондукторная, клин, четыре сектора, сальник, корпус, винт, цанга, кольцо, гайка, пружина, а также стандартные изделия – винты различных размеров, два подшипника, шарики и шпонка.

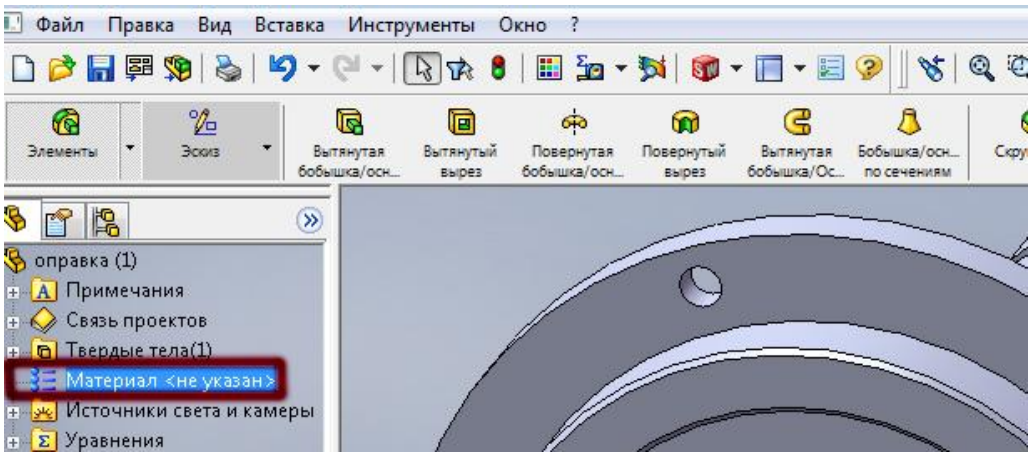


Рис. 7. Материал <не указан>

После выполнения данных трехмерных твердотельных деталей необходимо объединить их в сборку. Для этого запускаем Solid Works, кликнув по команде «Файл», в появившемся диалоговом окне выбрать «Сборка. Трехмерное расположение деталей и других сборок», после чего нажимаем «ОК» и появится диалоговое окно «Вставить компонент», в котором следует нажать кнопку «Обзор». После этого появится диалоговое окно, в котором необходимо перейти в папку, где располагаются детали будущей сборки, и выбрать деталь. Детали рекомендуется выбирать в той последовательности, в которой они будут собираться в узле – это поможет выявить конструктивные недоработки, которые можно сразу же поправить, внеся изменения в чертежах, что, в свою очередь, позволит избежать лишних затрат при создании реального узла. В данном случае выбран корпус, так как корпус передает вращение от оправки на режущий инструмент (для чего в нем предусмотрен шпоночный паз), и нажать «Открыть». Компонент появиться в программе, но его необходимо поставить на его место, кликнув левой кнопкой мыши в окне программы. Первая деталь сборки установлена, далее необходимо выбрать следующую деталь таким же образом, как и первую. В данном случае выбрана шпонка. Ее сложно точно устано-

вить в паз без помощи команды «Условия сопряжения», поэтому нажимаем данную кнопку на панели инструментов, выбираем плоскости на корпусе и шпонке, которые будут соприкасаться друг с другом в сборке. При этом плоскости отобразятся в диалоговом окне «Выбор сопряжений», а детали в зависимости от условий «Стандартных сопряжений» встанут в заданное положение. Затем следует подтвердить эту операцию, кликнув по галочке, но, не закрывая диалоговое окно «Совпадения», иначе не получится отрегулировать положение на сборке, так как программа уже примет изменение и зафиксирует детали в данном положении.

Далее аналогично поочередно вставляем в сборку все детали, изменяя лишь в диалоговом окне «Стандартные сопряжения» в зависимости от формы деталей и сопрягающихся поверхностей значения на совпадение, параллельность, перпендикулярность, концентричность и др.

В итоге создана (рис. 8) полная трехмерная твердотельная модель сборки «Оправка кондукторная».

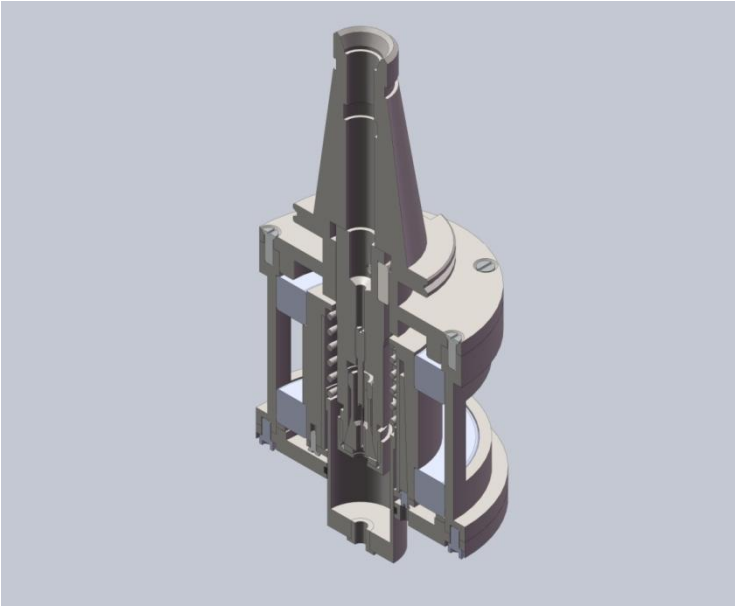


Рис. 8. Оправка кондукторная

Рассмотренная методика построения твердотельной 3D-модели «Оправка кондукторная» для заднего направления концевых мерных инструментов на станках с ЧПУ может быть использована при проектировании сборок в SolidWorks в конструкторских отделах машиностроительных предприятий, а также для получения необходимых компетенций в учебных дисциплинах по компьютерным технологиям студентами, обучающимися по направлению подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», в том числе в курсовом и дипломном проектировании.

Библиографический список

1. Пестов, С.П. Разработка элементов технологической системы для обработки отверстий развёртыванием на станках с ЧПУ / С.П. Пестов, С.Н. Юдин // Автоматизация и иформатизация в машиностроении: тематический сб. науч. тр. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – № 5. – С. 114–117.

К содержанию

УДК 621.313 + 621.929.7.001.57

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ И РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СМЕСЕЙ

Ю.С. Сергеев, С.В. Сергеев, П.С. Мальцев

Разработан новый способ перемешивания жидких смесей. Представлены результаты расчета параметров и визуализации процесса виброперемешивания с использованием программного пакета *FlowVision*.

Ключевые слова: процессы виброперемешивания, смеси, визуализация.

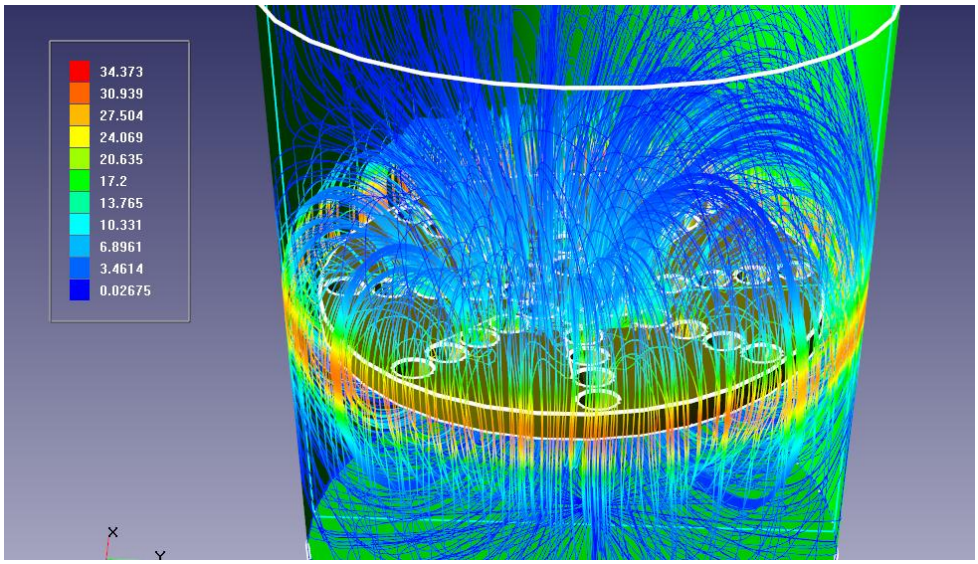
В различных отраслях производства используется большое разнообразие технологических жидкостей (ТЖ). Каждая из них обладает разной степенью токсичности, поэтому существуют проблемы при их утилизации. Выходом из сложившейся ситуации может послужить совершенствование технологии регенерации отработанных ТЖ для создания экологически безопасных производств. Например, наиболее развитая отрасль – бурение нефтяных и газовых скважин осуществляется практически исключительно в осадочных отложениях, наибольшую долю среди которых (65–80 %) занимают глинистые породы. Специфической особенностью глинистых пород является их способность разупрочняться под воздействием дисперсионной среды буровых технологических жидкостей. Из-за этого при бурении скважин и шпуров в глинистых отложениях неизбежно возникают две проблемы: деформационная неустойчивость стенки скважины и диспергирование выбуренной породы в промывочной жидкости. Для предупреждения таких осложнений буровые растворы обрабатывают специальными добавками, способствующими стабилизировать глинистые отложения. В случае же низкой эффективности этих добавок применяют буровые растворы на основе эмульсий или углеводородных жидкостей, что требует решения сложных экологических и технологических вопросов по их утилизации.

Наиболее трудоемкими являются не только восстановление, но и даже непосредственно приготовление буровой промывочной жидкости на водной основе. При этом в воду добавляют установленное технологией количество компонентов, после чего выполняют перемешивание полученной смеси, добиваясь требуемых показателей стабильности, времени расслаивания и однородности. Для этого технологи используют различные способы перемешивания: механические и акустические, гомогенизация, барботаж паром или сжатым воздухом, циркуляционное перемешивание, перемешивание в дезинтеграторах и ударно-импульсное перемешивание. Однако, полученные таким образом рабочие растворы ТЖ малостабильны и имеют низкую живучесть. Проанализировав ситуацию выявлено, что применение специальных вибрационных смесителей [1] позволяет получать стабильные, то есть более дисперсные фазы. Причем особое значение приобретает уточнение физического механизма перемешивания и формирование на его основе рациональных принципов организации процесса, в том числе перемешивание компонентов ТЖ с наименьшими усилиями и затратами энергии. В силу этого, основным направлением решения данной задачи является повышение возможностей регулирования параметров колебаний рабочего органа, которую можно решить применением принципиально нового способа возбуждения колебаний, реализованного в роторном инерционном виброприводе [2].

В результате теоретических исследований была разработана расчетная схема процесса возбуждения вибрации в роторных инерционных системах, дальнейшее изучение которой позволило получить математическую модель, отражающую поведение системы. Были намечены дальнейшие пути модернизации роторных инерционных систем, посредством которых можно управлять не только частотой и амплитудой колебаний рабочего органа, но и даже формой их вибрационного поля. Расчет геометрических и технологических параметров вибропривода смесителя предлагается производить на персональном компьютере. Для этого составлена программа [3]. Более глубокой интенсификации процесса перемешивания ТЖ можно достичь оснащением вибросмесителя принципиально новым виброприводом, выполненным на основе вентильного индукторного двигателя (ВИД). ВИД является регулируемым и позволяет настраивать амплитуду, фазу и частоту пульсаций момента и скорости приводного вала [4]. Эти пульсации сообщаются ротору смесителя с целью создания дополнительных вращательных колебаний встречных потоков ТЖ. Комплексное использование данного роторного инерционного вибровозбудителя с ВИД позволяет одновременно реализовать несколько физических эффектов: псевдоожижения жидкой технологической среды (турбулентность), активного перемешивания жидкости (виброструйный эффект), эффект вибрационного поддержания вращения ротора машины (эффект хула-хупа). Для имитационного моделирования движений рабочей жидкости при перемешивании це-

лесообразно использовать программное обеспечение *FlowVision* (рис.). Это позволяет рассчитать оптимальные траектории и скорости затопленных струй с учетом модернизированных уравнений Навье-Стокса (вместе с уравнением неразрывности).

Для определения условий, при которых возможно возникновение всех трех эффектов упомянутых выше, было выполнено компьютерное моделирование процесса перемешивания компонентов. С этой целью была разработана система автоматизированного расчета параметров смесителя. Вся система была реализована в виде программы, написанной на языке *DELPHI*, который относится к языкам высокого уровня. С помощью программы можно осуществлять не только разработку смесителя, но и определять технологические параметры, при которых работа смесителя будет максимально эффективной.



Результат расчета и визуализации процесса виброперемешивания

Комплексное применение принципиально нового способа возбуждения колебаний, реализованного в роторном инерционном виброприводе совместно с ВИД, позволяет получить ряд физических эффектов. Одновременная реализация которых позволяет усовершенствовать оборудование для механического перемешивания компонентов ТЖ для ее восстановления. Применение предлагаемого вибрационного смесителя позволяет производить как приготовление ТЖ на водной основе, так и восстановление отработанных ТЖ, а поэтому сократить расходы на материалы для обезвреживания стоков и водопотребление свежей воды в оборотных системах, а также продлить срок службы технологического оборудования и насосных установок. Все это, в конечном итоге, позволит интенсифицировать технологический процесс приготовления и регенерации ТЖ и одновременно повысить её качественные показатели. Данная статья отражает часть

результатов работ, поддержанных РФФИ (проекты № 12-08-00981-а и № 12-08-31533-мол_а на 2012–2014 годы), и федеральной целевой программой «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (госконтракт № 14.740.11.1123 от 30.05.2011 г. на 2011–2013 гг.). Кроме этого, результаты работы в 2015 году экспонировались на Десятой Уральской выставке научно-технического творчества молодежи (НТТМ) изобретателей, рационализаторов, конструкторов «Евразийские ворота России» и были отмечены дипломом и медалью II степени.

Библиографический список

1. Пат. 2543204 Российская Федерация, МПК8 B01F 11/00. Способ перемешивания жидкости / Ю.С. Сергеев, С.В. Сергеев, Р.Г. Закиров и др.; заявитель и патентообладатель ООО «Гранулятор». – № 2013121302/05; заявл. 07.05.13; опубл. 27.02.15, Бюл. № 6. – 24 с.

2. Пат. 2533743 Российская Федерация, МПК7 B 06 B 1/00. Способ возбуждения колебаний / С.В. Сергеев, Б.А. Решетников, Е.Н. Гордеев, Р.Г. Закиров, В.П. Гоголев, А.А. Микрюков, А.В. Иршин; заявитель и патентообладатель ООО «Гранулятор». – № 2013121307/28; заявл. 07.05.13; опубл. 23.09.14, Бюл. № 32. – 11 с.

3. Свидетельство №2011617664 Российская Федерация. Система моделирования подбора параметров настройки приводов вибрационных устройств: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / С.В. Сергеев, Б.А. Решетников, Р.Г. Закиров и др.; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ). – № 2011615882; заявл. 03.08.2011; зарегистр. 30.09.2011.

4. Сергеев, Ю.С. Динамическая модель вентильно-индукторного вибропривода / Ю.С. Сергеев, В.М. Сандалов // Электротехника. – 2012. – № 8. – С. 24–27.

К содержанию

УДК 621.9

ОСОБЕННОСТИ ВЕРИФИКАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ПО ТОЧНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

С.В. Сергеев, А.А. Шелегов, Ю.С. Сергеев

Сформулированы основные принципы верификации управляющих программ по точности формообразования поверхностей. На примере обработки отверстий показан процесс верификации управляющей программы по точности размера, формы и шероховатости поверхности.

Ключевые слова: управляющая программа; верификация; точность формообразования; срезаемые слои; многоцелевые станки.

В настоящее время на предприятиях аэрокосмического комплекса нашей страны применяется огромное количество современных, высокотехнологичных станков с ЧПУ для обработки металлов резанием. По принципу работы они подразделяются на различные группы (токарные, фрезерные, шлифовальные и др.). Причем, основную долю всего парка оборудования занимают фрезерные и токарно-фрезерные обрабатывающие центры. Зачастую для изготовления сложных деталей рабочие органы таких станков способны перемещаться в пространстве по 5-ти и более осям одновременно. Это в свою очередь требует от людей, занятых разработкой управляющих программ (УП) для станков с ЧПУ, опыта и очень высокой квалификации. Однако, все же при разработке УП не исключены ошибки, которые могут привести либо к поломке инструмента, либо к очень серьезным повреждениям оборудования и соответственно дорогостоящему ремонту. Для предотвращения таких последствий требуется предварительная проверка УП перед запуском ее на реальном станке. На сегодняшний день существует огромное количество специальных программных продуктов для симуляции и верификации УП [1]. Одной из наиболее мощных, универсальных и удобных в использовании является система *VeriCut* от компании *CGTech*. Она позволяет создать виртуальный станок любой компоновки и сложности, а также реализовать логику стойки ЧПУ для управления рабочими органами согласно команд, прописанных в загруженной УП. В процессе работы в *VeriCut*, открыв необходимый станок и загрузив в него режущий инструмент, приспособление и заготовку, можно симулировать, верифицировать и оптимизировать УП (рис. 1).

То есть существует возможность в реальном времени увидеть все движения рабочих органов станка и динамический процесс снятия материала инструментом с заготовки. В процессе этого постоянно происходит проверка на столкновения элементов станка между собой, а также инструмен-

та с заготовкой или приспособлением. Параллельно ведется проверка синтаксиса УП на различные рода несоответствия. После симуляции и верификации можно произвести оптимизацию, то есть в автоматическом режиме максимально сократить время обработки детали при помощи регулирования режимов резания в каждой точке траектории движения инструмента в зависимости от фактически снимаемого слоя материала и заданных пользователем параметров. После чего УП можно отрабатывать на реальном станке.

Помимо симуляции и проверки УП на столкновения при помощи *VeriCut*, используя определенные методы и инструменты данной системы, можно решать и нестандартные задачи. Одной из таких задач является проверка УП по точности формообразования поверхностей. Известно, что при обработке даже идеально заточенным инструментом и по режимам резания в полном соответствии с рекомендациями производителя нередко происходит отклонение этих параметров, что связано с влиянием на процесс динамических факторов. Поэтому в случае обработки особо ответственных деталей целесообразно проводить данную верификацию по точности, что положительно скажется на сокращении материальных затрат предприятия по причине брака. В качестве примера рассмотрим, как можно реализовать возможность расчета параметров формы и шероховатости поверхности при обработке отверстия многолезвийными мерными режущими инструментами, такими как сверло и развертка.

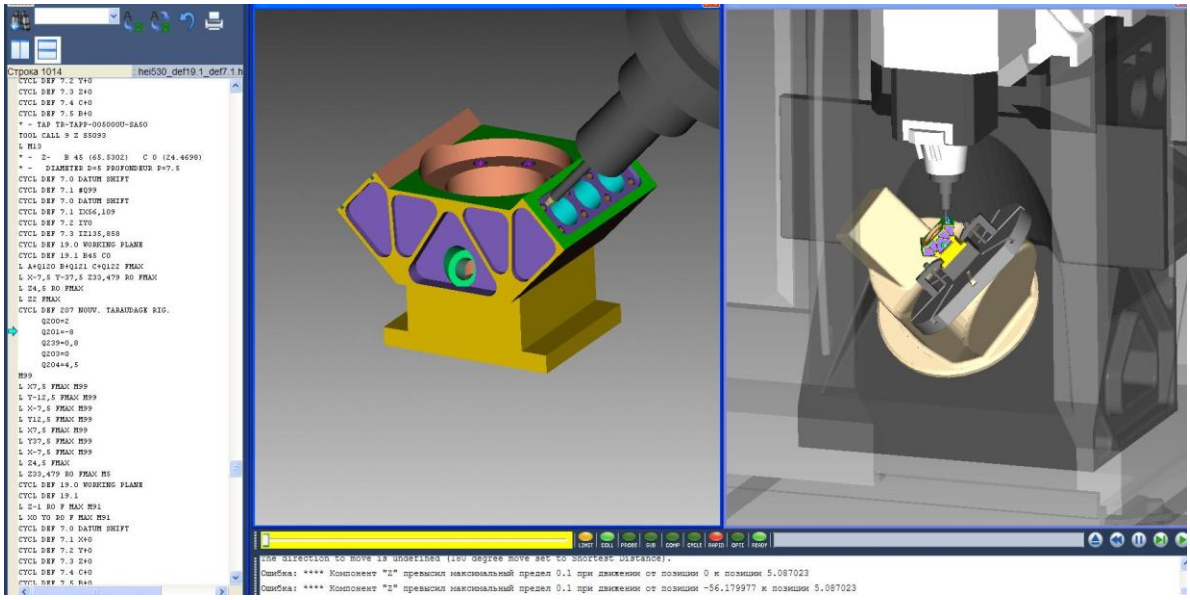


Рис. 1. Симуляция и верификация УП на виртуальном станке

Итак, для начала необходимо создать в *VeriCut* такую кинематическую схему, с помощью которой можно реализовывать перемещения и вращения объекта в пространстве в направлениях, удовлетворяющих условию решаемой задачи. В данном случае, зная все факторы, влияющие на инструмент в процессе резания задана схема, состоящая из 5-ти линейных осей (*U, V, X, Y, Z*) и 2-х круговых осей (*B* и *C*). Оси *U* и *V* дублируют оси *X* и *Y*. Взаимное подчинение осей следующее: *U – V – B – X – Y – Z – C* и зависит также от решаемой задачи. Затем необходимо создать в любой *CAD* системе 3*D* модель инструмента с полным соблюдением его геометрии. После чего модель экспортируется в *VeriCut* для дальнейшей работы. По умолчанию не зависимо от геометрии инструмента, после команды на включение рабочих оборотов шпинделя, система преобразует инструмент в тело, полученное путем вращения его относительно своей оси. В результате в процессе симуляции съем материала сводится к тому, что из фасетного тела заготовки динамически вычитается объем тела вращения инструмента. А это не приемлемо, поскольку для проверки точности формы и определения шероховатости поверхности необходимо учитывать материал, срезанный каждым зубом инструмента в процессе резания. В силу этого обстоятельства необходимо воспользоваться специальным макросом, который встроен в систему *VeriCut*. Прописав в УП строку: *CGTECH_MACRO* “*BroachModeOnOff*” 1, активируют режим, позволяющий при любом движении инструмента отображать снятый материал каждым зубом инструмента, учитывая его реальную геометрию (рис. 2).

После того как данный пункт выполнен «задают» заготовку для обработки. В данном случае это обычный куб (для сверла) и куб с предварительно выполненным отверстием (для развертки). Затем задается управляющая программа, в которой учитываются все факторы влияния на процесс резания и в которой происходит расчет движения инструмента по заданным параметрам. В результате на данном примере мы наблюдаем реальную форму и шероховатость отверстий.

При помощи инструментов замера *VeriCut* есть возможность численно определить величины различных параметров. Например, можно измерить величину фактического увода оси полученного отверстия, его диаметр, разбивку, объем срезанного материала за всю обработку. Вместе с тем, можно рассчитать объемы или площади срезов по каждому зубу инструмента за любой период времени и др. Затем, полученные результаты по точности формы, размера и шероховатости поверхности отверстий сравнивают с требованиями, заданными чертежом, и в случае отклонений корректируют режимы резания, тем самым оперативно влияют на качество обработки [2].

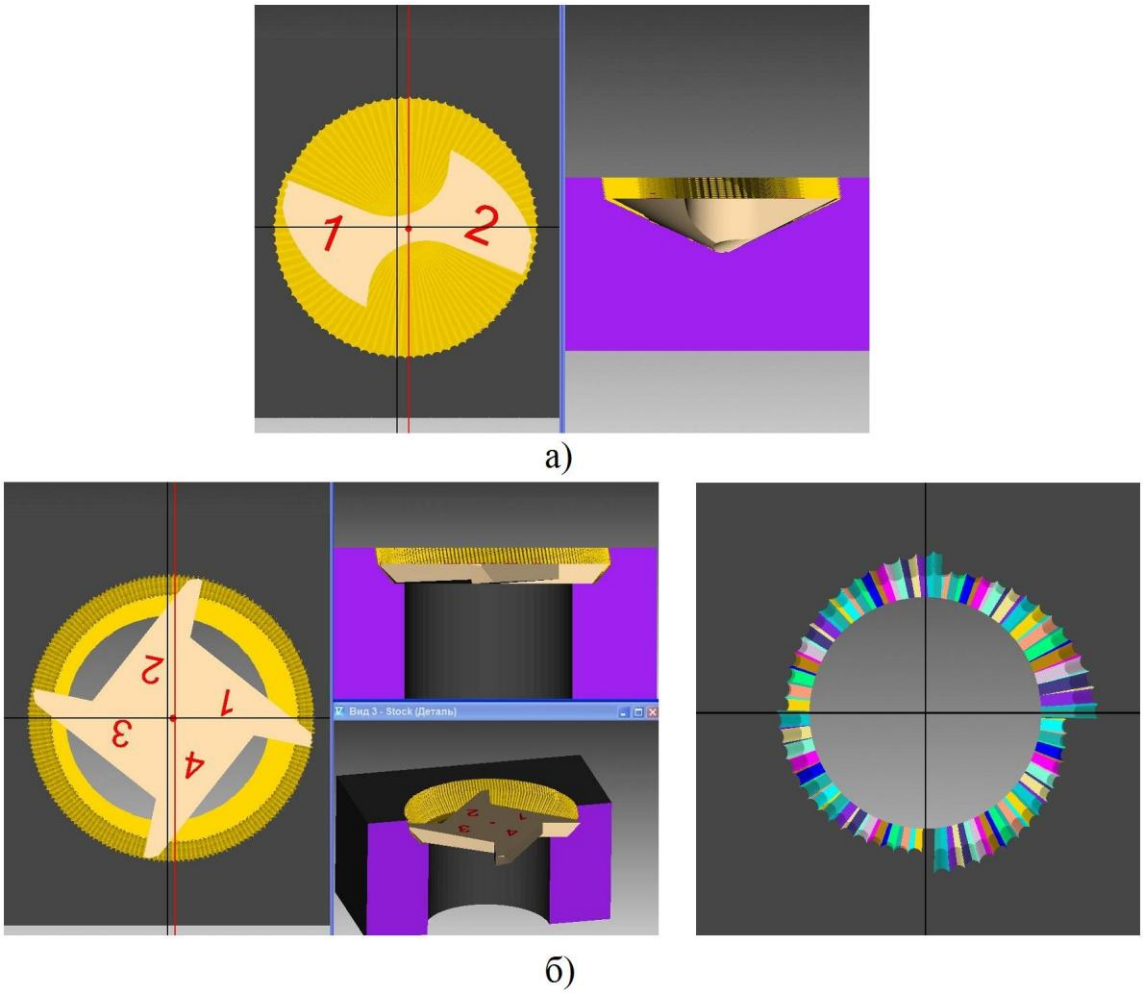


Рис. 2. Реальная форма и шероховатость отверстий, полученная по заданным режимам резания: а – сверлом, б – разверткой

Данный вид верификации является очень точным и в полной мере учитывает все особенности, связанные с обработкой на реальном станке, что значительно упрощает подготовку УП при изготовлении особо ответственных деталей единичного производства и сокращает процент брака до минимума.

Библиографический список

1. Станки с ЧПУ: устройство, программирование, инструментальное обеспечение и оснастка: учеб. пособие / А.А. Жолобов, Ж.А. Мрочек, А.В. Аверченков, М.В. Терехов, В.А. Шкаберин. – 2-е изд., стер. – М.: ФЛИНТА, 2014. – 355 с.

2. Сергеев, С.В. Повышение эффективности вибрационных процессов при механической обработке различных материалов: монография / С.В. Сергеев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 262 с.

К содержанию

УДК 621:004.92

ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКОГО ОСВОЕНИЯ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ T-FLEX CAD 12

Ю.С. Сергеев, С.В. Сергеев, Д.О. Акимов

Представлены результаты имитационного моделирования напряженно-деформированного состояния деталей разрабатываемой конструкции в программной среде *T-FLEX CAD* 12.

Ключевые слова: моделирование; статический; частотный и тепловой анализ; анализ устойчивости.

В современном высокотехнологичном производстве появилась новая тенденция в построении системы технологической подготовки производства. Эта новая идеология заключается в создании единого информационного пространства (ЕИП) для функционирования САПР различного направления [1]. С целью реализации идеологии ЕИП ведущие производители программных продуктов перешли к созданию систем, поддерживающих информационные технологии от проектирования изделия к его производству, эксплуатации и вплоть до утилизации, то есть обеспечивающих поддержку на протяжении всего жизненного цикла изделия (ЖЦИ). Одним из таких программных инструментов является *CAD*/*CAE* система *T-FLEX* [2]. *T-FLEX* выделяется среди других программ тем, что он обладает всей широтой средств автоматизации проектирования, является специальным инструментом для работы с большими сборками, у него единая документальная структура, и дает возможность достаточно просто вести коллективную разработку.

Комплекс *T-FLEX CAD* 12 – это отечественная профессиональная конструкторская программа, объединяющая в себе мощные параметрические возможности 2*D* и 3*D* – моделирования со средствами создания и оформления чертежей, а также конструкторской документации. Технические новшества и хорошая производительность в сочетании с удобным и понятным интерфейсом делают *T-FLEX CAD* универсальным и эффективным средством 2*D* и 3*D*- проектирования изделий. Всё это является немаловажным в условиях создавшегося тренда импортозамещения. *T-FLEX CAD* построена на геометрическом ядре *Parasolid* (©*Siemens PLM software*), которое сегодня считается лучшим ядром для 3D – моделирования, и используется более чем на 1000000 рабочих мест по всему миру. Использование ядра *Parasolid* не только наделяет *T-FLEX CAD* мощными и надежными инструментами 3*D*-моделирования, но также обеспечивает интеграцию с лучшими зарубежными программами для проектирования и выполнения расчетов методом конечных элементов.

Краткий список возможностей *T-FLEX CAD* 12 – это:

– быстрое 2*D*-эскизирование;
– параметрическое 2*D*-проектирование;
– полный набор средств подготовки конструкторской документации;
– 3*D*-моделирование деталей любой сложности;
– создание 3*D*-сборок любой сложности;
– геометрический анализ 3*D*-моделей и сборок;
– инженерный анализ деталей и конструкций;
– оптимизация деталей и конструкций;
– создание фотореалистичных изображений;
– мощный API – интерфейс для разработки собственных приложений.

Процесс освоения методики исследований напряженно-деформированного состояния деталей и узлов разрабатываемой конструкции в программной среде *T-FLEX CAD* 12 был сопряжен с проектированием узла «Гидроцилиндр». Корпус гидроцилиндра – это одна из наиболее ответственных деталей этого узла. Это потому, что от точности его изготовления и выбранного материала напрямую зависит его работоспособность в условиях высокой циклической и ударной нагрузки. В связи с этим сначала был выполнен статический анализ этой детали (рис. 1).

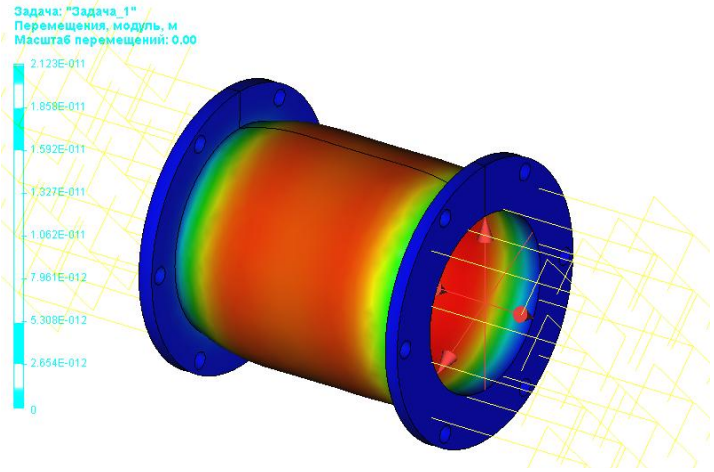


Рис. 1. Результаты расчёта, полученные при статическом анализе

Статический анализ позволил осуществить расчёт напряжённого состояния конструкций под действием приложенных к системе постоянных во времени сил. На сегодняшний день это, пожалуй, наиболее востребованная в проектировании задача. С помощью модуля «Статический анализ» удалось оценить прочность разработанной конструкции по допускаемым напряжениям, определить наиболее слабые места конструкции и внести необходимые изменения (оптимизировать) изделие. При этом между трёхмерной моделью изделия и расчётной конечно-элементной моделью поддерживается ассоциативная связь. Параметрические изменения исход-

ной твердотельной модели автоматически перенесли на сеточную конечно-элементную модель. При этом были определены предельные деформационные возможности детали (см. рис. 1). Поскольку положено, что деталь «Корпус» будет работать в условиях циклических нагрузок и гидроударов, то был проведен частотный анализ (рис. 2).

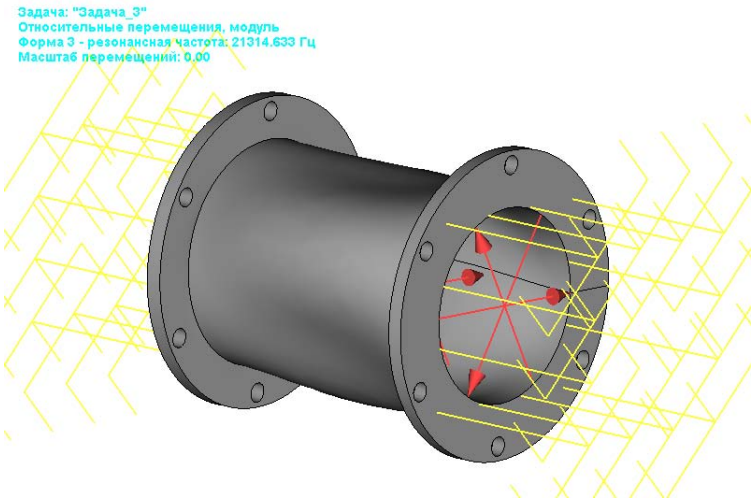


Рис. 2. Результаты расчета, полученные при частотном анализе

Частотный анализ позволил осуществить расчёт собственных (резонансных) частот конструкции и соответствующих форм колебаний. Осуществляя проверку наличия резонансных частот в рабочем частотном диапазоне изделия и оптимизируя конструкцию таким образом, чтобы исключить возникновение резонансов, разработчик повысил надёжность и работоспособность спроектированного изделия. В связи с тем, что исследуемая деталь является достаточно тонкостенной, был выполнен анализ её устойчивости (рис. 3).

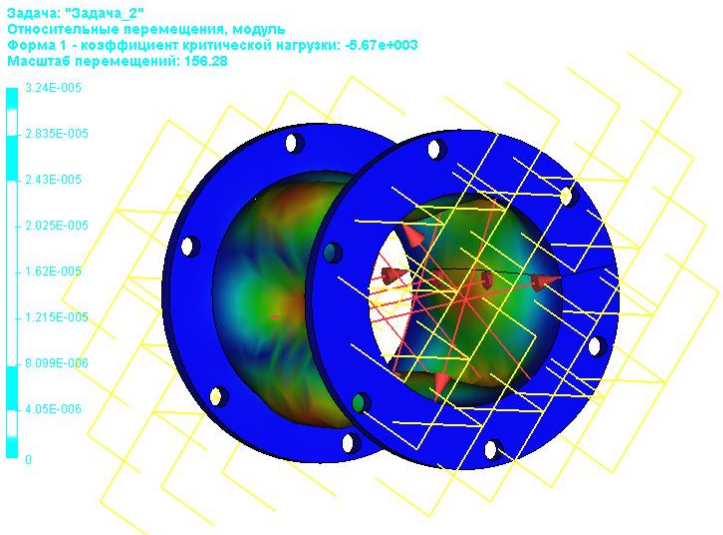


Рис. 3. Результаты расчета устойчивости конструкции детали

Анализ устойчивости важен при проектировании конструкций, поскольку эксплуатация их предполагает продолжительное воздействие различных по интенсивности нагрузок. С помощью данного модуля удалось оценить запас прочности по «критической нагрузке» – нагрузке, при которой в конструкции могут скачкообразно возникнуть значительные неупругие деформации, зачастую приводящие к её разрушению или серьёзному повреждению. И наконец, деталь «корпус гидроцилиндра» при длительной работе подвержен весьма значительным тепловым нагрузкам. Поэтому нами был выполнен тепловой анализ (рис. 4).

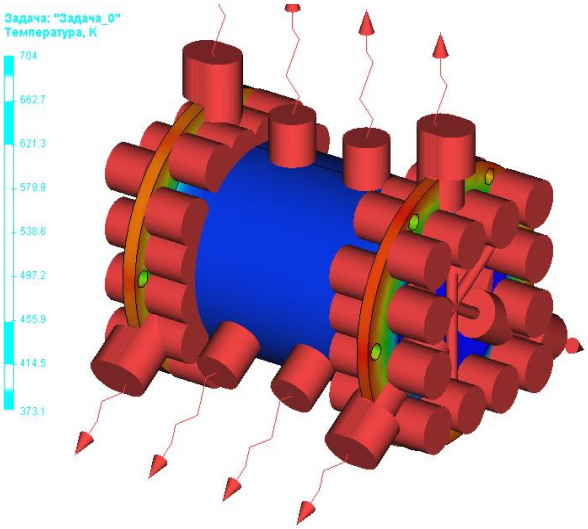


Рис. 4. Результаты теплового расчета

Тепловой анализ обеспечил возможность оценки температурного поведения изделия под действием источников тепла и излучения. Тепловой анализ может использоваться самостоятельно для расчёта температурных или тепловых полей по объёму конструкции, а также совместно со статическим анализом для оценки возникающих в изделии температурных деформаций. Проведенные исследования позволили выявить «слабые места» в конструкции детали и скорректировать её внутренние размеры, поскольку работоспособность и долговечность узла в целом зависит от изменяющихся в процессе эксплуатации зазоров между поршнем и корпусом гидроцилиндра.

Библиографический список

1. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования: учебник / И.П. Норенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с.

2. Топ Системы – разработчик программного *PLM* – комплекса *T-FLEX CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM*. – URL: http://www.tflex.ru/.

К содержанию

ФИЛИАЛ В г. САТКА

УДК 691.33

ПУСТОТЕЛЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ БУМАГИ И МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

А.Б. Марков

Изучена возможность создания нового пустотелого заполнителя, используя газетную бумагу и глину местных месторождений.

Ключевые слова: глина, пустотелый заполнитель, бетон.

Саткинский район обладает значительными запасами глины, которые залегают в коре выветривания горных пород или в пониженных участках древнего рельефа. При разработке рудных месторождений (магнезита, железных руд) открытым способом вскрышные породы, складируемые в отвалы, оставались практически невостребованными. Некоторые крупные залежи глин использовались для производства красного керамического кирпича или в гончарном деле. Всё остальное смешивалось с разнообразными компонентами вскрышных масс, осложняя добычу монокомпонентов. В то же время, сокращение запасов основных полезных ископаемых, ради которых и создавались моногорода, стало проблемой для выживания населения, традиционно работающего в горном деле и в технологических цехах при переработке магнезита и железных руд. Возникла довольно острая проблема занятости населения. Одним из выходов из сложившейся ситуации может быть переход трудовых ресурсов на переработку иных полезных ископаемых, считавшихся обычно вскрышными или пустыми породами. В частности, достаточно перспективными можно считать глинистые образования.

Глины можно использовать, в первую очередь, для производства керамического кирпича и керамических плиток самого разного назначения.

Глины являются прекрасным материалом для получения аглопоритов как лёгкого заполнителя бетонов. К сожалению, саткинские глины не являются материалом для развития керамзитовой промышленности. Для этой цели пригодны хорошо вспучивающиеся при обжиге глины, которых в районе не имеется. Глины Саткинского района тугоплавкие и не вспучиваются при обжиге.

В то же время, промышленность строительных материалов испытывает дефицит в лёгких заполнителях бетонов. При этом, желательно, чтобы в их изготовлении применялся местный материал и использовались продукты, которые являются недорогими и в определённой степени были бросовыми.

В ряде районов таким дешёвым и повсеместно развитым является торф.

«Перспектива использования торфа в производстве различных строительных материалов не является экзотикой, особенно для специалистов, занимающихся добычей и переработкой органических и органоминеральных биогенных ресурсов. Этому способствуют такие свойства торфа, как низкая теплопроводность, антисептичность, биостойкость, низкая плотность и многие другие. В последние десятилетия активно ведутся научные работы по применению торфяных гранулированных заполнителей для лёгких бетонов и созданию конструктивно-изоляционных блоков «Геокар» [1].

Нами был разработан метод получения лёгкого пустотелого заполнителя для бетонов на основе Саткинской глины и газетной бумаги.

Из размокшей бумаги вручную формировались гранулы размером около 1–2 см. Глинистый материал освобождался от песчаных и более крупных частиц путём замачивания сырья и пропускания его через сито с диаметром отверстий 0,5 мм. Глинистая масса замачивалась водой Таким образом, чтобы полученная суспензия имела влажность 50–55 %. В эту суспензию помещали приготовленные газетные гранулы. Глина обволакивала бумажные шарики, покрывая их минеральной плёнкой.

После нанесения минерального покрытия бумажные гранулы высушивались при температуре 200–250 ºС в течение 30–40 минут. Метод ускоренной сушки разработан ещё в 70-х годах доктором геолого-минералогических наук Л.И. Кульчицким [2]. Этот метод может быть использован взамен стандартного метода сушки в течение 4–6 часов при температуре 105–110 ºС для горных пород, не содержащих гипс или значительный процент органических продуктов Именно таким свойствами обладают саткинские глины.

После процесса сушки гранулы обжигались. Обжиг осуществлялся в два этапа. Первый температурный этап осуществлялся при нагреве материала до 400 ºС и выдерживании сырья при этой температуре в течение не менее 30–40 минут. Завершающий обжиг проводился при постепенном повышении температуры в муфельной печи до900 ºС. Выбранный температурный процесс связан с тем, что при быстром нагреве гранул могло происходить разрушение покрытия, связанное с быстрым выделением газов при сгорании органического газетного материала.

Время обжига составляло один час. При обжиге бумага выгорала, а минеральная оболочка спекалась.

Полученный заполнитель характеризуется значительной межзерновой пустотностью и характеризуется высокой пористостью. Пустотность материала достигала 70 %. Плотность зёрен составляла 350–400 кг/м^3. Водопоглощение – в пределах 15–20 %. Коэффициент формы зёрен от 1,02 до 1,07.

Полученный в лабораторных условиях пустотный заполнитель полностью удовлетворяет требованиям, которые предъявляются к искусственным заполнителям. Полученные данные по свойствам пустотного заполнителя, приготовленного на основе минерального вещества и газетной бумаги, свидетельствуют о возможности использования пустотелого заполнителя при производстве лёгких бетонов.

Лёгкие бетоны на пористых заполнителях применяются в ограждающих конструкциях и для снижения собственной массы несущих конструкций. Поэтому для подобных бетонов, наряду с их прочностью, очень важным показателем является плотность самого бетонного изделия.

В дальнейшем для анализа механических свойств бетонов на пустотелом заполнителе использовался цемент марки 500. Количество заполнителя, то есть пустотелой композиции, варьировало в определённой пропорции: 80, 60 и 40 % от первоначальной массы (на 100 % заполненной формы), чтобы получать пробы различной плотности. Кроме того, были выбраны три разных водно-цементных отношения: 0,46; 0,40 и 0,34. В возрасте 28 суток оценивалась плотность полученных бетонных изделий (кубиков).

Плотность лёгкого бетона на пустотелом заполнителе изменялась от 1,52 до 1,92 г/см^3. С увеличением количества заполнителя плотность снижается, а при уменьшении водно-цементного отношения – плотность повышалась. Наиболее приемлемым водоцементным отношением принято 0,40.

Прочность на сжатие кубиков, приготовленных на основе цемента без пустотелых добавок, составила 50 МПа. С увеличением содержания заполнителя прочность закономерно уменьшалась, достигая 20–30 МПа, что вполне удовлетворяет техническим условиям. Полученный материал ориентирован на получение лёгкого бетона с высокими теплоизоляционными свойствами, которые получены при ведении в цементную массу пустотного заполнителя.

На основании полученных лабораторных данных была разработана схема технологического процесса производства пустотелого заполнителя для лёгкого бетона на основе газетной бумаги и глины:

– добыча глины;

– замачивание глинистого продукта в большом количестве воды;

– выделение каменистых включений просевом через сито с размером ячеек 2 мм;

– процеживание шликерной массы через сита 0,5 мм;

– доведение шликера до влажности 50–55 %;

– измельчение газетной бумаги до листочков размером менее 10–12 см;

– замачивание газетного материала в воде на срок не менее 5 суток;

– размешивание и гранулирование газетного сырья;

– нанесение минерального покрытия на газетные ядра;
– сушка гранул при температуре 200–250 ºС;
– обжиг гранул;
– охлаждение материала;
– складирование продукта.

Судя по полученным ранее данным, «экономия расхода цемента на 1 м^3 бетона составляет 100–150 кг. Теплофизические характеристики бетона улучшаются по сравнению с традиционным керамзитобетоном за счёт снижения средней плотности и мелкопористой структуры прослоек цементного камня» [1].

Библиографический список

1. Мисников, О. Пустотелый заполнитель для лёгкого бетона на основе торфа и минерального сырья / О. Мисников, С. Гамаюнов // Строительные материалы. – 2004. – № 5. – С. 22–24.

2. Кульчицкий, Л.И. Ускоренные методы определения некоторых физических свойств глинистых пород / Л.И. Кульчицкий // Сб. «Лабораторные методы исследования физико-механических свойств горных пород в инженерно-геологических целях». – М.: Изд-во ВСЕГИНГЕО, 1972.

К содержанию

УДК 691.5

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ОТОЩАЮЩИМИ ДОБАВКАМИ

М.В. Маркова

На основании лабораторных исследований изучены керамические свойства изделий в зависимости от используемых отощающих добавок.

Ключевые слова: глина, керамический кирпич, отощающие добавки.

Проблема моногородов в последние годы становится всё более и более острой. Полезные ископаемые, на основе которых и было развитие территорий, стали постепенно вырабатываться, наиболее качественное сырьё постепенно стало заменяться третьесортным. Существующее оборудование постепенно стало приходить в упадок, поскольку модернизация его оказалась невыгодной из-за резкого снижения сырьевой базы. Трудовая часть населения, обладающая значительными навыками в производстве определённых товаров, стала постепенно переезжать в другие районы,

стремясь работать по соответствующей квалификации. Другая же часть населения вынуждена была переквалифицироваться в работников сферы услуг.

Но при всём этом часто забывается, что в Горнозаводской зоне Урала достаточно работы и в других областях, в частности, в сфере туризма. Кроме того, можно использовать и нетрадиционные для района полезные ископаемые. В первую очередь, это глины, которые пригодны для разнообразных керамических производств. Наиболее перспективными можно считать: производство керамических кирпичей, керамических плиток для облицовки фасадов и полов, получение лёгких заполнителей для бетона (особенно аглопоритов), гончарное производство и изготовление разнообразных сувенирных изделий.

Саткинские глины по своему гранулометрическому составу можно квалифицировать как суглинки, содержащие не менее 40 % пылеватой фракции.

Глинистая фракция представлена преимущественно гидрослюдами. Не исключена небольшая примесь каолинита. Химический анализ показывает преимущественное содержание SiO_2 (55–60 %) и Al_2O_3 (20–25 %). Около 10 % оксида железа. Другие компоненты занимают существенно подчинённое положение. Исходя из особенностей минерального и химического состава, глины тугоплавкие.

Для оценки керамических свойств использовались вскрышные глины одного из месторождений магнезита. Поскольку горные породы не являются характерными глинами, а классифицируются, скорее всего, как суглинки, то они содержат значительный процент пылеватой и даже песчаной фракции. Такие образования, по нашим наблюдениям, не требуют отощения. При обжиге в «чистом» виде, то есть без добавки отощающих компонентов, они практически не деформируются и не растрескиваются. Но для получения более полной картины в шихту добавляли различное количество отощителей. Содержание их колебалось от 5 до 25 %. Таким образом можно было выбрать наиболее рациональный состав шихты и в какой-то степени рекомендовать его для использования в производстве.

Оценивалась возможность применения глинистых пород с различными добавками для производства керамического кирпича. Кирпичное производство выбрано по той причине, что в прошлые годы на Сатинских глинах работало три кирпичных завода, последний из которых был ликвидирован уже в 50-е годы прошлого века. Восстановление керамических производств, в том числе и кирпичных, может оказаться выгодным для предпринимателей мелкого и среднего уровней. Для создания производств не требуется приобретение дорогой техники, поскольку существуют минизаводы, производительность которых может вполне удовлетворить потребности предприятий.

Одновременно ставилась задача: использовать в качестве отощающих добавок отходы различных производств. Для этой цели использовались: бой кирпича, дроблёный бетон разрушенных строений, доменный шлак чугунно-плавильного завода, молотый кварцит.

Бой кирпича и бетона – это твёрдый мусор, который образуется при сносе устаревших и аварийных зданий и сооружений. Дроблёный бой бетона может быть различных фракций, самой распространённой является фракция размером от 0 до 100 мм. Кроме того, это самый дешёвый вторичный материал. Бой бетона, как и другие материалы, используемые в качестве отощителей, дробились до фракции 1 мм, которая и добавлялась в глиняную шихту.

Бой кирпича сам обладает техническими особенностями кирпича, поэтому близок по своим свойствам получаемому изделию. Кроме того, он обладает низкой ценой, экологически безопасен, легко дробится по сравнению, например, с бетоном.

Металлургический шлак, как компонент производства чугуна, в значительном количестве удаляется в отвалы. Поэтому его также можно утилизировать в кирпичном производстве

Наиболее прочным является дроблёный кварцит, запасы которого в районе огромны. Кроме того, на Бакалее существовала кварцитная фабрика, в отвалах которой скопилось немало этого материала.

В качестве выгорающей добавки использовались древесные опилки. При сгорании опилок происходит более равномерный обжиг изделий, что способствует улучшению свойств керамических изделий. Опилки улучшают формовочные свойства глиняной массы, но снижают прочность изделий, повышают водопоглощение. Применение опилок в производстве керамического кирпича снижает плотность изделий, улучшает их теплотехнические свойств. Но добавка опилок свыше 5 % ухудшает внешний вид изделий и снижает их прочность.

Наибольший эффект получается, когда опилки вводились в сочетании с перечисленными выше отощителями.

Для определения прочностных свойств формовались кубики размером 5х5х5 см из шихты формовочной влажности, которые подсушивались вначале на воздухе, а затем в сушильном шкафу в течение 30–40 минут при температуре 200–220 ºС. Затем производился обжиг изделий при температуре 900 ºС в течение 1 часа. После охлаждения образцы испытывались на прочность с помощью гидравлического пресса. Результаты анализа представлены в таблице.

Таблица

Результаты испытания керамических образцов

Вид отощителя	Содержание отощителя, %	Прочность на сжатие, МПа
–	0	23
Бетон	5	27
	10	22
	15	20
	20	17
	25	14
Бой кирпича	5	23
	10	18
	15	17
	20	17
	25	14
Шлак металлургического завода	5	24
	10	24
	15	21
	20	18
	25	14
Кварцит	5	26
	10	24
	15	20
	20	17
	25	15

Таким образом, происходит постепенное снижение прочности образцов с увеличением содержания в шихте отощителя. При этом понижение прочности на сжатие закономерно прослеживается у всех изученных образцов вне зависимости от вида отощителя. Поэтому можно рекомендовать для производственных целей любые из исследованных отощителей при содержании их до 5–10 %. В этом случае можно получать кирпичи марки не менее 20. Использовать глину без примесей не рекомендуется, так как такая шихта обладает высокой усадкой, достигающей 18 %, в то время как усадка шихт других составов обычно менее 10 %.

К содержанию

УДК 666.973.6

ПЕНОБЕТОН В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А.В. Рябинин

В статье рассказывается о современном строительном материале – пенобетоне. Его преимущества и недостатки, подходящие физико-механические характеристики и экологическая безопасность во многом предопределили развитие применения материала наравне с традиционным бетоном.

Ключевые слова: пенобетон, механическая прочность, теплопроводность, теплоизоляция.

Изделия из пенобетона при большом выборе плотностей этого материала обладают достаточной механической прочностью и хорошими теплоизолирующими свойствами.

Вот лишь некоторые из очевидных достоинств пенобетона [1]:

– относительно низкая стоимость материала;

– хорошие теплоизолирующие свойства пенобетона дают возможность существенно экономить энергию на кондиционирование и отопление зданий, построенных из пенобетонных блоков;

– использование пенобетона позволяет существенно снизить стоимость строительства и реализовать современные эффективные проекты;

– транспортировка и механическая обработка пенобетона обходятся весьма недорого;

– различные по составу пенобетоны могут иметь плотность до 87 % меньшую, чем у стандартных марок тяжелого бетона;

– заметное снижение веса возводимых сооружений позволяет экономить на каркасах зданий, а также на фундаментах и несущих опорах;

– использование пенобетона дает возможность снизить трудозатраты при возведении зданий и обойтись строительной техникой меньшей грузоподъемности;

– размеры пенобетонных блоков можно подгонять при помощи обыкновенной ножовки; в этот материал можно даже без труда забивать гвозди;

– пенобетонные поверхности легко выравниваются, поэтому из этого материала можно устраивать покрытия до 40 мм толщиной.

Пенобетон, как строительный материал, с течением времени приобретает все большую популярность. Пенобетон с успехом используется как тепло- и звукоизолирующий материал для полов и крыш зданий различного назначения.

Из пенобетона производят пеноблоки, альтернатива кирпичу, панелям и другим стеновым материалам.

Кроме того, его используют как заполнитель пустот в кирпичных стенах подземной части зданий, этим материалом также заполняют полости в других материалах тогда, когда требуется обеспечить хорошую теплоизоляцию.

Из пенобетона изготавливают различные сборные конструкции и внутренние перегородки, плиты для устройства потолков подвесного типа, различные звуко- и теплоизолирующие покрытия в многоэтажных зданиях. Этот бетон низкой плотности является идеальным материалом для заполнения пустот в различных строительных конструкциях.

Пенобетон входит с состав бетонных панелей для сооружения наружных стен зданий. Его используют, как материал для сооружения крыш и междуэтажных перекрытий.

Из этого материала изготавливают монолитные стены зданий самого различного назначения, он используется для строительства ограждающих конструкций, украшений для парков и садов и многого другого.

С точки зрения его свойств [2] мы можем наблюдать следующую картину: закрытая пористая структура пенобетона обуславливает его незначительное водопоглощение, механические свойства пенобетонов подбираются индивидуально для строительства и во многом определяются технологией производства этого материала.

Предел прочности на сжатие пенобетона определяется несколькими факторами, среди которых следует отметить плотность, содержание влаги, возраст материала, состав исходной смеси и характеристики ее компонентов. Понятно, что состав смеси для приготовления пенобетона, как и свойства отдельных компонентов, желательно поддерживать постоянными. Механические свойства пенобетона во многом определяются его плотностью, изменение которой немедленно отражается на прочностных характеристиках материала.

Механическая прочность пенобетона на сжатие может быть существенно увеличена применением особых способов выдержки. Особое значение в процессе такой выдержки имеет влажность материала. Пенобетонные блоки желательно выдерживать завернутыми во влагонепроницаемый материал. Кроме того, блоки из пенобетона можно подвергать пропариванию.

Если требуется получить пенобетон с высокой механической прочностью за короткое время, то его выдерживают в атмосфере с повышенным содержанием углекислоты. Такая технология используется предприятиями, производящими пенобетонные блоки и панели.

Различные методы выдерживания позволяют получать пенобетон с пределом прочности на растяжение, составляющим до четверти его прочности на сжатие при продольной деформации до 0,1 %.

Предел прочности на сдвиг обычно на 6–10 % отличается от прочности на сжатие. Следует отметить, что покрытия крыш и междуэтажные перекрытия очень редко испытывают заметные нагрузки на сдвиг.

Пенобетон, как и все материалы на основе цемента, при укладке проявляет свойство усадки [3]. Величина усадки, при этом, зависит от таких факторов, как способ выдержки, марка и количество цемента, а также свойства песка, входящего в состав смеси. Усадка пенобетона достаточно интенсивно происходит в первые 28 дней выдерживания, а далее ее скорость существенно снижается.

При соблюдении технологии за 28 дней усадка пенобетона составляет менее 0,1 %.

Пенобетон является хорошим звукоизолятором. Тяжелые марки бетонов, главным образом, отражают звук, а пенобетон его гасит, поглощает. Однако внутренние перегородки из пенобетона могут пропускать на 2–3 % больше звука, чем те же перегородки из простого бетона. Это объясняется тем, что внутренние стены, обычно, штукатурятся, что приводит к ухудшению поглощения звука пенобетоном и увеличению степени отражения.

При этом пенобетон отлично поглощает звуки низких частот. По этой причине данный материал часто используют в качестве слоя звукоизоляции на железобетонных плитах, используемых для сооружения междуэтажных перекрытий зданий самого различного назначения.

Пенобетон – отличный теплоизолятор. Пористая структура пенобетона обуславливает его низкую теплопроводность. Полы и стены, выполненные из этого материала, как правило, не нуждаются в дополнительном утеплении.

Хорошие теплоизолирующие свойства этого материала позволяют экономить энергию на отопление и кондиционирование жилых помещений, обеспечивая, при этом, также и комфортные условия для проживания людей.

Применение пенобетона в строительстве позволяет избежать образования конденсата на стенах помещений при изменении температуры наружного воздуха в значительных пределах.

Достоинством пенобетона является и то, что этот материал легко сверлится, пилится и фрезеруется. Элементы отделки к пенобетонным блокам можно крепить с помощью обыкновенных гвоздей. Потребительские свойства и характеристики пенобетона близки к соответствующим параметрам древесины, однако, в отличие от нее, пенобетон служит гораздо дольше [2].

Превосходный звуко- и теплоизолятор, экологически и пожаробезопасный пенобетон является универсальным и долговечным материалом для строительства, вполне соответствующим современным требованиям. Пенобетон представляет собой серьезного конкурента для традиционных утеплителей таких, как минеральная вата, газобетон или пенополистирол.

Библиографический список

1. Глуховский, В.Д. Основы технологии отделочных, тепло- и гидроизоляционных материалов / В.Д. Глуховский, Г.Ф. Рунова. – Киев: Вица школа, 1995. – 288 с.

2. Шахова, Л.Д. Технология пенобетона. Теория и практика / Л.Д. Шахова. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 248 с.

3. Удачкин, И.Б. Ключевые проблемы развития производства пенобетона / И.Б. Удачкин, А.И. Поджаров, Е.В. Красовский // Строительные материалы. – 2002. – № 3. – С. 8–9.

4. Урханова, Л.А. Использование вторичного сырья для производства пенобетона / Л.А. Урханова, С.А. Щербин, А.И. Савенков // Строительные материалы. – 2008. – № 1 – С. 34–35.

К содержанию

ФИЛИАЛ В г. НИЖНЕВАРТОВСК

УДК 004.912 + 378.44

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ SCADA-СИСТЕМ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Е.А. Зверева

В статье представлены основные направления моделирования содержания дисциплины по выбору, отражающие специфику подготовки бакалавров по направлению «Приборостроение» и учитывающие региональные особенности рынка труда и современные информационные технологии. Проведен анализ российского рынка систем диспетчерского управления и сбора данных (SCADA-систем) в нефтегазовой отрасли. Сделаны выводы.

Ключевые слова: учебный процесс, дисциплина по выбору, приборостроение, SCADA, АСУТП, нефтегазовая отрасль.

В условиях современного периода развития информатизации перед ВУЗами поставлена важная задача – подготовить специалистов, способных активно включиться в качественно новый этап развития современного общества. Это обусловлено: во-первых, потребностью современных производств в конкурентоспособных инженерных кадрах – бакалаврах, способных успешно работать в условиях высокой автоматизации и информатизации производства и, во-вторых, недостаточным уровнем подготовки будущих бакалавров к производственной деятельности в процессе обучения [1]. В рамках учебного процесса это достигается сочетанием теоретической и практической подготовки, включая прохождение практик. При этом содержание вариативной части профессионального образования заслуживает быть предметом специального исследования, обеспечивающим углубленную специальную подготовку с учетом регионального рынка труда и особенностей динамично развивающихся технологий.

Таким образом, автор ставит проблему исследования – определить оптимальное содержание дисциплин по выбору на примере дисциплины «Компьютерные системы сбора, обработки измерительной информации в нефтегазовой отрасли», обеспечивающее актуализацию базового содержания подготовки бакалавров по направлению 200100.62 «Приборостроение» в филиале Южно-Уральского государственного университета в г. Нижневартовске.

Проблема определила цель исследования – теоретическое обоснование, разработка и реализация содержания дисциплины по выбору «Компьютерные системы сбора, обработки измерительной информации в нефтегазовой отрасли».

Объект исследования – дисциплина по выбору.

Предмет исследования – подготовка бакалавров по направлению 200100.62 «Приборостроение».

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить основные направления моделирования содержания дисциплины, отражающие специфику подготовки будущих инженеров по направлению «Приборостроение» с учетом региональных особенностей и современных информационных технологий.

2. Разработать содержание дисциплины.

3.Создать и апробировать учебно-методическое обеспечение дисциплины.

Подробнее остановимся на решении одной из задач – определение основных направлений моделирования содержания дисциплины по выбору «Компьютерные системы сбора, обработки измерительной информации в нефтегазовой отрасли».

Регионообразующей отраслью ХМАО-Югры является нефтегазодобывающая промышленность. Современное нефтегазовое оборудование характеризуется сложностью и комплексностью технологических процессов, а также пространственной распределенностью отдельных объектов по отношению к центру управления (диспетчерскому пункту). Наиболее перспективной технологией для автоматизации технологических процессов в данной отрасли являются SCADA-системы. Выбор SCADA-систем – зачастую непростая задача, требующая внимания к балансу между требованиями разработчиков, возможностями продукта и его ценой. А в соответствии с концепцией перехода на импортозамещающие технологии Правительства РФ [2] наибольший интерес представляют отечественные SCADA-системы.

Таким образом, для решения поставленной задачи необходимо провести анализ российского рынка систем диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) в нефтегазовой отрасли, выбрать SCADA-систему для внедрения в учебный процесс в рамках дисциплины «Компьютерные системы сбора, обработки измерительной информации в нефтегазовой отрасли».

Предлагаемые к рассмотрению SCADA-системы: «TraceMode», «Master SCADA», «Круг-2000».

«TraceMode» – продукт от компании AdAstra Research Group, Ltd (рис. 1). SCADA-система TRACE MODE является первой интегрированной

информационной системой для управления промышленным производством, объединяющая в едином целом продукты класса SOFTLOGIC-SCADA/HMI-MES-EAM [3].

Под управлением TRACE MODE в нефтегазовой отрасли успешно работают:

– АСУ ТП кустовых насосных станций КНС Пильтанского месторождения (ХМАО);

– АСУ ТП ДНС 4 НГДУ Сургутнефть (ОАО Сургутнефтегаз);

– АСУ ТП эталона производительности нефтяных скважин корпорации Уралтехнострой (Уфа, Башкортостан);

– АСУТП производства бензина Евро 5 на Бродском НПЗ (Босния);

– АСУТП подготовки сухого пара на нефтеперерабатывающем заводе «Ляохэ» (Китай);

– АСУТП нефтяного месторождения ОАО «Татнефтепром-Зузеевнефть» (Татарстан);

– АСУТП головного ГРП ОАО «Волгоградоблгаз» (г. Волгоград);

– АСУТП энергообеспечения компрессорной станции ОАО Газпром «Волховская» (Ленинградская область).

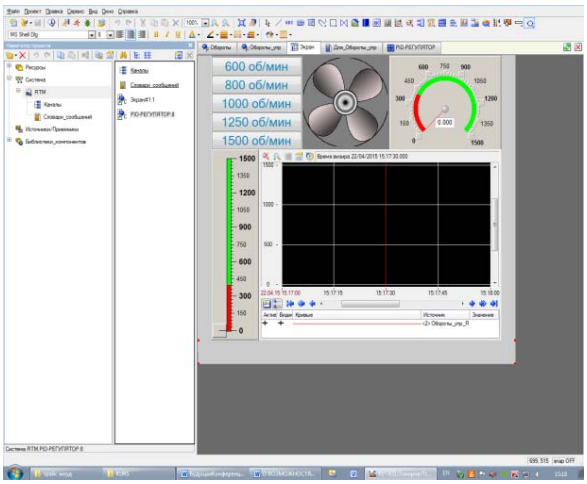


Рис. 1. Интерфейс системы Trace Mode

«Круг-2000» – продукт компании НПФ «Круг» (рис. 2). По информации, представленной на сайте производителя [4], SCADA-система «Круг-2000» является модульной интегрированной системой и рассматривается как средство для построения автоматизированных систем управления объектами предприятий, систем телемеханики, решающей задачи учёта и диспетчеризации в различных отраслях промышленности. Отличительной особенностью системы является высокая надежность, модульность, глубокая интеграция SCADA и среды программирования контроллеров, мощный инструментарий, обеспечивающий удобство создания и отладки проектов пользователя.

Под управлением Круг-2000 в нефтегазовой отрасли успешно работают:

– УУН № 13, г. Омск;
– УУН № 702, г. Адамово, Польша;
– УУН № 201 «Кальчинское месторождение», г. Тюмень;
– УУСК(Н) № 1100 «Сургутский ЗСК», г. Сургут;
– УУН «Кошильское месторождение», г. Нижневартовск;
– СИКН № 578 «Самотлорское месторождение», г. Нижневартовск;
– УУН № 364Е «Белкамнефть», г. Нефтекамск;
– АТ-1,2,3 ООО «РН–Туапсинский НПЗ» (ОАО «Роснефть»);
– НГДУ «Азнакаевскнефть», г. Азнакаево (ОАО «Татнефть»).

Рис. 2. Интерфейс системы «Круг2000»[4]

«Master SCADA» – продукт компании НПФ «ИнСАТ» (рис. 3). По словам производителей [5], Master SCADA – это система для АСУТП, MES, задач учета и диспетчеризации объектов в различных отраслях, имеющая единую среду разработки всего проекта; раздельное конфигурирование структуры системы и логической структуры объекта; открытость и следование стандартам; мощную трехмерную графику и мультимедиа; неограниченную гибкость вычислительных возможностей; объектный подход; защиту авторских прав разработчиков проектов.

Среди пользователей Master SCADA в нефтегазовой отрасли такие крупные компании, как:

– ОАО Ульяновскнефть;
– ОАО «Уральские газовые сети», Екатеринбург;
– ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» (Салават, республика Башкортостан);
– «Лентрансгаз», «Тюменьтрансгаз» ОАО «Газпром» и др.

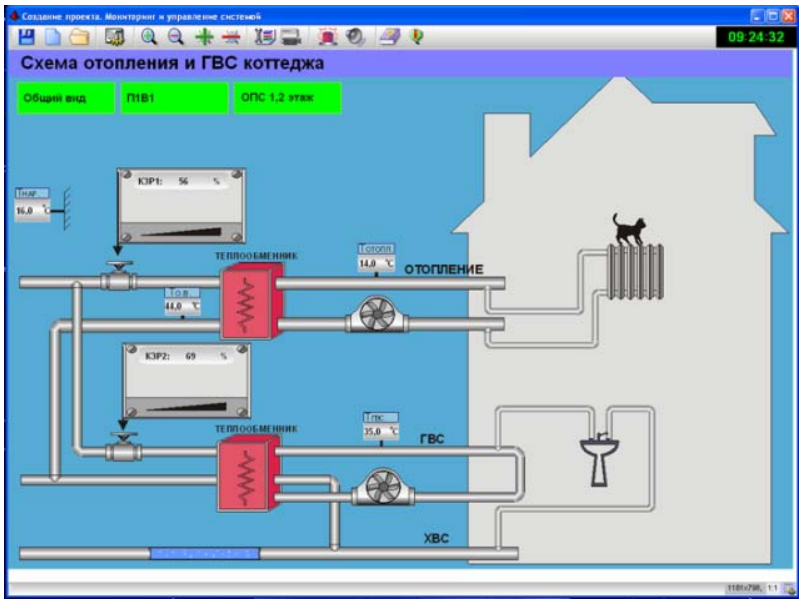


Рис. 3. Интерфейс системы «Master SCADA»[5]

Данные SCADA-системы сравнивались по следующим параметрам (см. таблицу).

1) операционная система;
2) состав системы;
3) формирование отчетов;
4) функции управления;
5) сигнализирование тревог;
6) механизмы обработки данных;
7) минимальные системные требования;
8) масштабируемость;
9) языковая поддержка;
10) наличие помощи;
11) режим симуляции;
12) мнемосхемы;
13) тренды;
14) наличие веб-сервера;
15) работа с БД;
16) резервирование данных;
17) драйвера;
18) языки программирования;
19) стоимость.

Таблица

Сравнение SCADA-систем

Номер критерия	Название SCADA- системы		
	Trace Mode	MasterSCADA	Круг-2000
1.	DOS, Windows, Linux	DOS, Windows, Linux	DOS, Windows, QNX, Linux
2.	Система программирования контроллеров; система разработки распределенной АСУТП; среда разработки ТМ6.	Среда разработки, среда исполнения, модули связи с БД	Среда разработки, Среда исполнения. Run–time модули, Run–time комплексы, Тренды, Алармы (Сигнализации)
3.	Встроенный генератор отчетов, печать и архивация отчетов	Позволяет создавать отчеты любых форм (xls,csv и т.д.), включения любой графической информации, имеется мастер пошагового создания отчета. Есть возможность как ручного сохранения, так и автоматического – с использованием расписания	Модуль работы с отчетами DataRate 2.5. Данные предоставляются в формате Excel, имеются сменные ведомости и протокол пред- и послеаварийных ситуаций
4.	Да	Да	Да
5.	Система управления тревогами МРВ, приоритеты тревог	Да, звуковые и цветовые варианты сигнализации, есть хронология предыдущих сигналов тревоги с указанием времени их появления	Реализована возможность формирования сложных выражений для генерации тревог
6.	ODBC, OPC, DDE	OPC, OLE, DCOM, ActiveX, OLE DB, ODBC	OPC DA, OPC HDA
7.	Pentium-4, процессор – Intel Core Duo 2 ГГц или аналогичный; ОЗУ – 1 GB; пространство на жестком диске – 2 GB; разрешение экрана – 1280x1024; качество цветопередачи – True Color; видеокарта с поддержкой; Windows XP SP3 или Windows 7 Professional;	Pentium-4, 1-ядерный процессор 2,4 ГГц; 1 Гб оперативной памяти; 2 Гб свободного места на жестком диске свободный разъем; USB, Windows XP, 7, 8	Pentium-4, процессор больше 2 ГГц, 1 Гб оперативной памяти; 2 Гб свободного места на жестком диске;

Окончание табл.

Номер критерия	Название SCADA- системы		
	Trace Mode	MasterSCADA	Круг-2000
8.	до 64000 точек	Неограниченно	7 ступеней, от 60 до 64000 точек ввода-вывода
9.	Многоязыковая поддержка	Русский	Русский
10.	Полноценная помощь на разных языках	Русский	Русский
11.	Да, на процедурном языке Techno IL	Имитационный режим с индивидуальным выбором функций имитации сигналов	Есть
12.	Свыше 1000 графических изображений; свыше 600 анимационных объектов; поддерживаются слои. 3D Fast+ обеспечивает быструю загрузку мнемосхем в реальном времени	Число элементов на мнемосхеме не ограничено, число мнемосхем в проекте не ограничено, библиотеки стандартных элементов содержат множество элементов	Векторный и растровый режим, большое количество примитивов отображений
13.	Тренды реального времени и исторические неограниченной глубины	Текущие и исторические, неограниченной глубины	Тренды реального времени, событийные тренды
14.	TRACE MODE DataCenter	Интернет клиент есть	Веб-Контроль
15.	Интеграции с базами данных, ODBC, OPC, DDE. Встроен редактор SQL-запросов	MSSQL, Oracle, Firebird, MySQL, Interbase, Access	Своя. Мастер создания базы данных
16.	Double ForceMPB+ «горячее резервирование»	Есть функция резервирования контроллеров	Разнообразных механизмов резервирования, включая 100 % горячего резервирования
17.	MODE, DDE и OPC; драйверы к 2087 различным устройствам ввода/вывода	Adam, MFC,TCM52 Teconic, TCM410, Wincon	Неограниченное количество драйверов устройств и редактор УСО
18.	Используется пять языков программирования	Языки программирования. ST (стандарт МЭК 61131 – 3), C# (ФБ Скрипт)	Используется свой внутренний язык Кругол
19.	На 512 точек 27 261 руб.	На 500 точек 19600 руб.	На 500 точек 30275 руб.

Анализ отечественных SCADA-систем применяемых в нефтегазовой отрасли показал, что рассмотренные системы сопоставимы по эксплуатационным, стоимостным и техническим характеристикам и удовлетворяют практически всем требованиям, предъявляемым в настоящее время к SCADA-системам. Выбор SCADA-систем вопрос сложный и неоднозначный, каждый должен решать его исходя из своих потребностей, уровня знаний и других факторов, причем одним из важнейших факторов, влияющих на популярность той или иной системы, является возможность получения технической поддержки и обучения. Хочется отметить, что SCADA-система «TraceMode» имеет специальные программы, участие в которых открывают массу возможностей, включая бесплатные обучающие курсы для преподавателей ВУЗов, и олимпиады для студентов, свободный доступ к учебной литературе и документации, бесплатные лицензии на использование продукта, бесплатную техподержку [3]. Все это позволяет сделать выбор в пользу продукта компании AdAstra для использования в учебном процессе в филиале Южно-Уральского государственного университета в г. Нижневартовске в рамках дисциплины по выбору «Компьютерные системы сбора, обработки измерительной информации в нефтегазовой отрасли» направления обучения 200100.62 «Приборостроение».

Библиографический список

1. Зверева, Е.А. Информационное сопровождение практик / Е.А. Зверева // Наука ЮУрГУ. Секции социально-гуманитарных наук: материалы 66-й науч. конф. / отв. за вып. С.Д. Ваулин; Юж.-Урал. гос. ун-т. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – С. 1715–1720.

2. Общественный «Портал госзакупок». Федеральный закон N 44-ФЗ от 05.04.2013. – URL: http://www.gov-zakupki.ru/zakon/44-fz-id126.

3. Сайт AdAstra. SCADA-система «Trace Mode». – URL: http://www.adastra.ru.

4. Сайт НПФ «Круг». Промышленная автоматизация, АСУ ТП, АСКУЭ, SCADA, инжиниринг. – URL: http://www.krug2000.ru.

5. Сайт НПФ «ИнСАТ». SCADA-система «MasterSCADA». – URL: http://www.masterscada.ru.

К содержанию

УДК 004.434 + 517.9 + 378.44

ИЗ ОПЫТА ПРЕПОДАВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РАЗДЕЛОВ МАТЕМАТИКИ ПРИ ПОМОЩИ УНИВЕРСАЛЬНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Н.Р. Жарова

Представлена методика формирования профессиональной компетенции при обучении бакалавров направления 080500 – «Бизнес-информатика» в рамках изучения дисциплины «Дифференциальные и разностные уравнения».

Ключевые слова: профессиональная компетенция; обыкновенное дифференциальное уравнение; задача Коши; граничные условия, универсальные математические системы, система Mathcad.

В современных условиях бакалавру любого профиля необходимы глубокие математические знания для решения многочисленных задач, возникающих в профессиональной деятельности: аналитической, проектной, научно-исследовательской и другим. Математические дисциплины в учебном плане подготовки бакалавра по направлению «Бизнес-информатика» занимают основное место совместно с дисциплинами в областях современных информационных технологий, обеспечивающими базовую подготовку и формирующих профессиональные (ПК-19) компетенции.

Дисциплина «Дифференциальные и разностные уравнения» относится к базовому циклу Б.2 ООП по направлению 080500-Бизнес-информатика и является логическим продолжением математических дисциплин: «Алгебра и геометрия», «Математический анализ». В результате изучения дисциплины обучающийся должен научиться использовать основные методы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности для теоретического и экспериментального исследования, т.е обладать компетенцией ПК-19.

Практика преподавания математических дисциплин студентам различных специальностей и направлений обучения с применением ПК позволяет, по словам А. П. Ершова, «усилить визуализацию и представление в динамике математических объектов, воспитание базовых способностей и умений, пробуждение интереса к математике» [1].

Преподавание любого раздела математики ставит перед педагогом следующие задачи:

- помочь студенту в систематизации, структурировании, закреплении, углублении знаний теоретического характера;
- отработать навыки студента в решении типовых задач;
- организовать рефлексивную деятельность обучаемых на занятии;

- развивать у студентов способность к самообразованию и самоконтролю;
- учитывать разный уровень подготовки студентов группы и различные темпы усвоения ими учебного материала.

Применяя в своей профессиональной деятельности компьютерные технологии, в частности, универсальные математические системы Maple и Mathcad, мы рассматриваем эти универсальные системы не как средство обучения, а как объект изучения, предполагающий их теоретическое и экспериментальное исследования [2].

Так, используя в качестве оценочных средств задания для типовых расчетов, расчетно-графических заданий, заданий для СРС, одним из основных критериев оценивания выполненной работы я выбрала критерий – умение работать в системе Mathcad.

Рассмотрим на примере курса «Дифференциальные и разностные уравнения» как решается задача формирования компетенции ПК-19 с применением возможностей Mathcad. Система Mathcad решает специальными функциями обыкновенные дифференциальные уравнения (ОДУ) двух типов: 1. задачи Коши; 2. краевые задачи.

При решении ОДУ первого порядка возможно применение Mathcad только на этапе интегрирования для ускорения процесса интегрирования.

Пример 1. Решите дифференциальное уравнение первого порядка. Постройте интегральную кривую, самостоятельно задав произвольное значение постоянной С.

Пример выполнения задания в Mathcad приведен ниже (рис. 1, рис. 2).

$(2\cdot y-3)dx+\left(2\cdot x+3\cdot y^2\right)dy=0$ $\quad P(x,y):=2\cdot y-3 \quad Q(x,y:=2\cdot x+3\cdot y^2$

$\frac{d}{dy}P(x,y)\to 2 \qquad \frac{d}{dx}Q(x,y)\to 2$

Так как частные производные равны $\frac{\partial P}{\partial y}=\frac{\partial Q}{\partial x}=2$, то данное уравнение является уравнением в полных дифференциала

Будем искать неизвестное решение в виде функции двух переменных U(x,y)=0

$$U(x,y):=\int P(x,y)\,dx+C(y)\to (2\cdot y-3)\cdot x+C(y)$$

Для чего проинтегрируем P(x,y) по x и добавим неизвестную функцию C(y), после чего продифференцируем полученное выражение по переменной y $\frac{d}{dy}U(x,y)\to 2\cdot x+\frac{d}{dy}C(y)$

Рис. 1. Пример выполнения задания в Mathcad (начало)

т.к. по условию левая часть уравнения есть полный дифференциал некоторой функции U(x,y), то запишем равенство

$2 \cdot x + \frac{d}{dy} C(y) = 2 \cdot x$ Отсюда найдем C(y)=C, где C =const

$(2 \cdot y - 3) \cdot x + C \text{ simplify } \rightarrow 2 \cdot x \cdot y - 3 \cdot x + C$ $U(x,y) := (2 \cdot y - 3) \cdot x + C$

$\frac{1}{2} \cdot \frac{(3 \cdot x - C)}{x}$

Разрешим общее решение относительно y, затем запишем общее решение в явном виде.
Зададим произвольно значение C=1, построим интегральную кривую

$y(x) := \frac{1}{2} \cdot \frac{(3 \cdot x - C)}{x}$ $y1(x) := \frac{1}{2} \cdot \frac{(3 \cdot x - 1)}{x}$

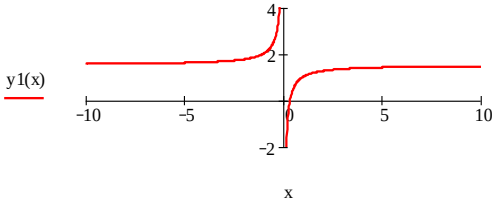


Рис. 2. Пример выполнения задания в Mathcad (продолжение решения)

Данный пример студенты выполняют все группой, записывают все необходимые комментарии, после чего решают индивидуальные задания и готовят ответы на вопросы по данной теме «Дифференциальные уравнения первого порядка. Уравнения в полных дифференциалах».

Первый важный шаг подготовки решения дифференциальных уравнений (ДУ) в системе Mathcad – представление уравнения в форме, воспринимаемой системой. Для этого необходимо избавиться от производных выше второго порядка методом замены и представить исходное дифференциальное уравнение высшего порядка в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка. Например, необходимо решить ДУ 2-го порядка:

$$a_2 \frac{d^2}{dx^2} y(x) \pm a_1 \frac{d}{dx} y(x) \pm a_0 y(x) = 0.$$

Дифференциальное уравнение можно записать в системе Mathcad, используя операторы типа $\frac{d^n}{dx^n}$ u $\frac{d}{dx}$ или в виде $y'(x)$ (штрих вводится при помощи сочетания клавиш CTRL и F7, при необходимости нажать несколько раз).

Это уравнение содержит вторую производную, которая может быть представлена как производная от первой:

$$\frac{d^2}{dx^2} y(x) = \frac{d}{dx}\left(\frac{d}{dx} y(x)\right).$$

Перед представлением дифференциального уравнения в виде системы уравнений первого порядка нужно произвести следующие замены:

$$y(x) = y_0,$$
$$\frac{d}{dx} y(x) = y_1.$$

Теперь исходное дифференциальное уравнение может быть представлено в виде системы двух уравнений первого порядка, при этом вторая производная выражается через уравнение:

$$\frac{d}{dx} y(x) = y_1, \quad (1)$$

$$\frac{d^2}{dx^2} y(x) = \frac{a_1 \frac{d}{dx} y(x) \pm a_0 y(x)}{a_2}. \quad (2)$$

В уравнении (2) произведем замену производных в соответствии с (1):

$$\frac{d^2}{dx^2} y(x) = \frac{a_1 y_1 \pm a_o y_o}{a_2}.$$

Далее нужно зафиксировать систему уравнений в векторе – столбце D, где каждый элемент соответствует правой части определенного дифференциального уравнения в системе:

$$D(x, y) = \begin{pmatrix} y_1 \\ \frac{a_1 y_1 \pm a_0 y_0}{a_2} \end{pmatrix}.$$

После этого вводится вектор начальных приближений (начальные приближения известны из условия задачи):

$$y = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Затем определяется интервал интегрирования (например x1=0, x2=20) и число шагов интегрирования (например n=100). Так как результат будет получен в виде матрицы (таблицы), следует дать ей имя. После чего можно использовать одну из встроенных функций решения дифференциальных уравнений – Bulstoer.

Пример 2. Решите дифференциальное уравнение второго порядка $3y'' + 2y' + 5y = 4 + x$, используя встроенную функцию Bulstoer.

Решение

Предварительный этап. Определяем элементы замены:

$$y(x) = y_0, \quad \frac{d}{dx} y(x) = y_1, \quad \frac{d^2}{dx^2} y(x) = \frac{-2\frac{d}{dx} y(x) - 5y(x) + 4 + x}{3},$$

или

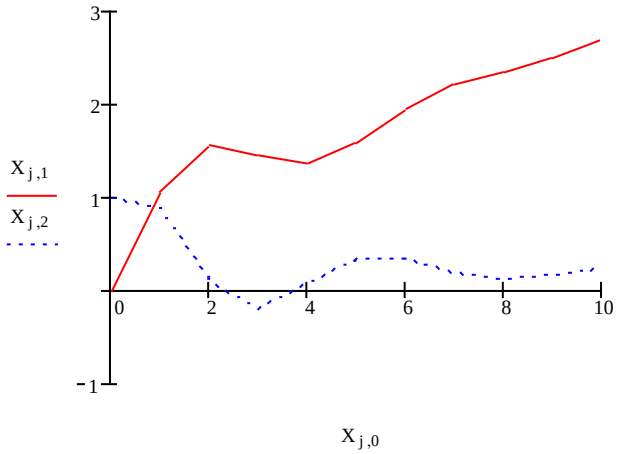
$$\frac{d^2}{dx^2} y(x) = \frac{-2y_1 - 5y_o + 4 + x}{3}.$$

Решение уравнения представлено на рис. 3.

$$3y'' + 2y' + 5y = 4 + x$$

$y''(x) = \frac{-2y_1 - 5y_0 + 4 + y}{3}$ $D(x,y) := \begin{pmatrix} y_1 \\ \frac{4 + x - 2 \cdot y_1 - 5 \cdot y_0}{3} \end{pmatrix}$ $y(x) = y_0$ $y'(x) = y_1$

$y := \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ $X := \text{Bulstoer}(y, 0, 10, 10, D)$



$X =$

	0	1	2
0	0	0	1
1	1	1.061	0.891
2	2	1.554	0.104
3	3	1.446	-0.199
4	4	1.354	0.068
5	5	1.58	0.344
6	6	1.941	0.334
7	7	2.202	0.187
8	8	2.346	0.125
9	9	2.49	0.173
10	10	2.693	0.226

Рис. 3. Табличное и графическое представление решения

Рассмотрим второй способ решения ДУ при помощи встроенной функции odesolve. В этом случае необходимо применить блок Given – odesolve (рис. 4).

Синтаксис функции: odesolve(x,b,step), где x – переменная интегрирования; b – конечный интервал интегрирования; step – размер шага (необязательный параметр).

Второй способ решения дифференциальных уравненй при помощи MatCAD

$$3y'' + 2y' + 5y = 4 + x$$

Given

$$3 \cdot \frac{d^2}{dx^2} y(x) + 2 \cdot \frac{d}{dx} y(x) + 5 \cdot y(x) = 4 + x$$

$y(0) = 0 \qquad y'(0) = 1$

$y := \text{odesolve}(x, 10)$

$v(x) := \frac{d}{dx} y(x) \qquad x := 0..10$

y(x) =

0
1.061
1.554
1.445
1.354
1.58
1.941
2.202
2.346
2.49
2.693

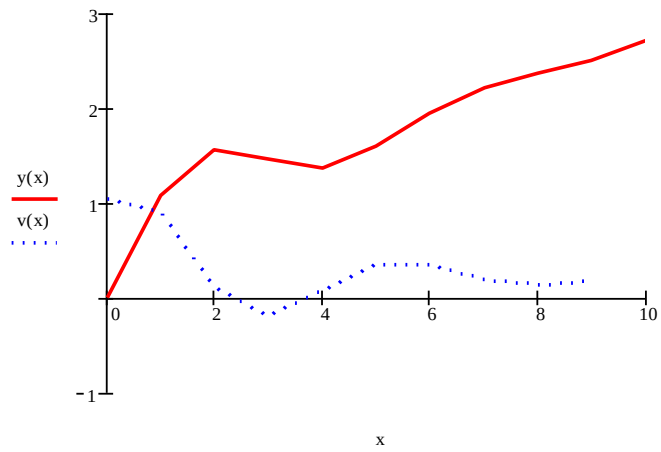


Рис. 4. Решение дифференциального уравнения
при помощи функции odesolve и вывод результатов

Пример 3. Решите дифференциальное уравнение с начальными условиями:

$$y'''(x) - 2^{-x} \cdot y'(x) = x \cdot \sin x, \; y(0) = 0, y'(0) = 1, y''(0) = -0.5,$$

с начальными условиями. Решение представлено на рис. 5.

Given

$$y'''(x) - 2^{-x} \cdot y'(x) = x \cdot \sin(x)$$

$$y(0) = 0 \qquad y'(0) = 1 \qquad y''(0) = -0.5$$

$$y := \text{Odesolve}(x, 2) \qquad x := 0, 0.1 .. 2$$

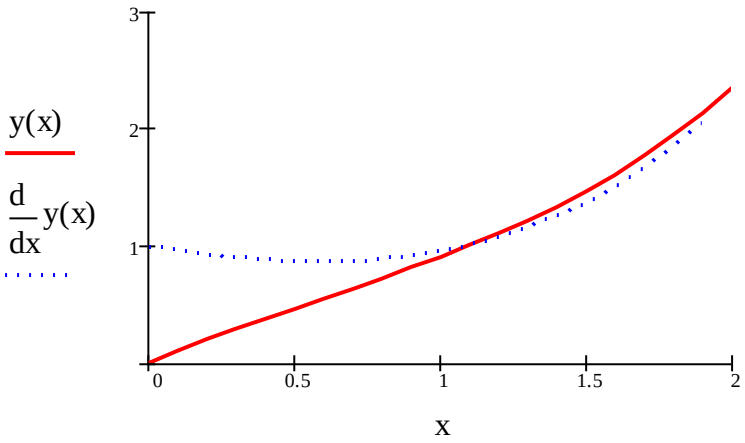


Рис. 5. Пример Дифференциального уравнения с начальными условиями

Задания формируются по уровням сложности: трудное, средней трудности, простое.

Оценку «отлично» получает студент, который первый справляется с выполнением общего задания на группу, а также решат свое задание с необходимыми комментариями и отвечает на вопросы преподавателя. Оценку «хорошо» получает студент, выполнивший общее задание и индивидуальное, ответивший на вопросы преподавателя, но допустивший недочеты при выполнении своего задания. Оценку «удовлетворительно» получает студент, выполнивший общее задание, свое задание без комментариев и ответивший не на все вопросы. Оценку «неудовлетворительно» получает студент, выполнивший общее задание, но не выполнившие свое индивидуальное задание. Для исправления положения преподаватель требует составления конспекта по предложенным вопросам и вновь выдает простое индивидуальное задание. Выполнение индивидуальных заданий возможно на группу их двух человек, если студент справляется с заданием неудовлетворительно.

Такой практический подход, на наш взгляд, позволяет не только изучить теорию и практическое представление методов решения дифференциальных уравнений, но и разработать собственные фрагменты программ, готовых к расчетам любых уровней сложности, повысить интерес к самому процессу обучения, новаторский подход к учению вообще.

Библиографический список

1. Ершов, А.П. Избранные труды / А.П. Ершов. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма, 1994. – 416 с.
2. Жарова, Н.Р. Совершенствование обучения математики студентов инженерно-строительных вузов в условиях информатизации образования: дис. … канд. пед. наук / Н.Р. Жарова. – Новосибирск, 2002. – 167 с.
3. Макаров, Е.Г. Mathcad учебный курс (+CD) / Е.Г. Макаров. – СПб.: Питер, 2009. – 384 с.

К содержанию

УДК 533.6.011.6

ОБРАЗОВАНИЕ ГИДРАТОВ В ГАЗОПРОВОДАХ

О.Р. Нурисламов

В работе рассматривается вопрос об образовании гидратов в газопроводах. Показаны возможные случаи образования гидратов в зависимости от расположения областей конденсации пара и области стабильного существования гидратов.

Ключевые слова: газовые гидраты, газопровод, образование газовых гидратов.

Газовые гидраты – кристаллические соединения, образующиеся молекулами воды и газа при определенных термобарических условиях: высоких давлениях и низких температурах. Гидратное соединение является нестехиометрическим соединением, то есть соединением переменного состава. Молекулы воды образуют кристаллическую структуру с полостями, заполненными молекулами газа [1].

В настоящее время газовые гидраты известны как потенциальные энергетические ресурсы будущего, запасы которого сравнимы с общими запасами нефти, газа, угля и других источников углеводородов.

При определенных термобарических условиях газовые гидраты могут образоваться и в газопроводах, что часто приводит к образованию гидратных пробок и возникновению аварийных ситуаций. Поддержание безгидратного режима или своевременное обнаружение и предотвращение образования гидратов является важнейшей задачей при обеспечении безаварийной работы газопроводов.

Природный газ является многокомпонентным газом, содержащим углеводородные газы (метан, этан, пропан, бутан и т.д.), углекислый газ, азот, гелий, сероводород, а также пары воды. Основная доля природного газа (от 90 до 98 %) приходится на метан.

Основными факторами, влияющими на гидратообразование в газопроводах, являются:

1) наличие паров воды в потоке транспортируемого газа;

2) термобарические условия в газопроводе, реализуемые при транспортировке газа;

3) состав траспортируемого природного газа.

Для поддержания безгидратного режима работы газопровода предварительно проводят очистку и осушку газа. Однако, в связи с предельными возможностями осушительных установок, влагу невозможно полностью устранить. Для уменьшения возможности образования гидратов газопровод прокладывают под землей, а также применяют теплоизолирующие материалы. В зависимости от климата в регионе, согласно нормативам, газопровод прокладывают на глубинах не менее 0,8 м.

Однако даже если принять все вышеперечисленные меры, то и тогда возможно гидратообразование. Это, прежде всего, связано с тем, что может меняться влажность осушенного газа, меняется и температура окружающей среды (сезонные колебания), что сопровождается изменением температуры грунта и, как следствие, термобарических условий транспортировки газа.

Важнейшей задачей транспортировки газа является определение места возможного образования гидратов. Знания состава транспортируемого газа и влажности позволяют определить условия фазового равновесия для гидрата, газа и воды. Зная, как меняется давление и температура по длине газопровода, можно определить место и скорость накопления гидратов, что позволяет своевременно принять меры.

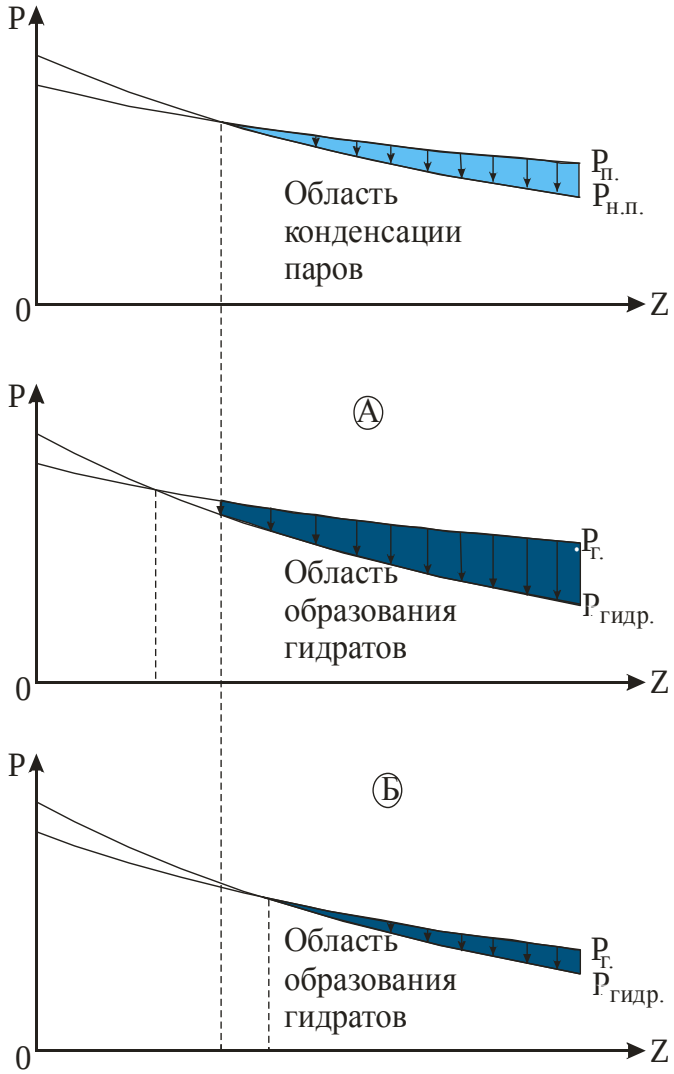
На рис. показаны возможные случаи образования гидратов в газопроводе. По оси абсцисс отложено расстояние вдоль газопровода, по оси ординат – давление.

В случае А зона стабильного существования гидратов начинается левее зоны конденсации паров воды. Таким образом, левее начала зоны конденсации паров создаются условия для образования гидратов, однако гидрат в этой области не может образоваться в связи с отсутствием жидкой фазы воды.

В случае Б зона стабильного существования гидратов начинается правее. Таким образом, левее зоны стабильного существования гидратов образуется зона конденсации паров, не сопровождающееся образованием гидратов. Образование гидратов происходит в области совместного присутствия газа, находящегося в условиях гидратообразования, и водяных капелек, образованных при конденсации паров.

В реальности, чтобы знать распределение вышеприведенных давлений по длине газопровода, необходимо знать интенсивность теплообмена с грунтом, достаточно точное значение влажности, состав природного газа,

интенсивность конденсации и гидратообразования. Нужно также учесть тот факт, что конденсация паров и гидратобразование сопровождаются тепловыделением.



Возможные случаи образования гидратов

Существующие на данный момент методики расчета возможных мест образования гидрата не учитывают совместное проявление вышеперечисленных процессов. Поэтому разработка новых методик расчетов в настоящее время является актуальной задачей.

Библиографический список

1. Макогон, Ю.Ф. Гидраты природных газов / Ю.Ф. Макогон. – М.: Недра, 1974. – С. 14–53.

2. Катаев, К.А. Гидратообразование в трубопроводах природного газа / КА. Катаев // Всероссийский журнал научных публикаций. – 2011. – № 1 (2). – С. 22–23.

К содержанию

УДК 625.855 + 666.9

ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

С.Г. Пономарева, В.В. Латвин

По результатам теоретических и экспериментальных исследований установлена необходимость учета релаксационной податливости асфальтобетона при охлаждении. Предлагаются пути улучшения свойств асфальтобетона при низких температурах для уменьшения трещинообразования асфальтобетонных дорожных покрытий.

Ключевые слова: асфальтобетонные покрытия, трещинообразование, упругие свойства материала, релаксация, скорость деформирования, скорость нагружения, температура, напряжение, экспериментальные исследования, модуль упругости, крупный заполнитель, керамзит, вязкость битума, работа асфальтобетона.

Трещины на асфальтобетонных покрытиях вызывают дальнейшее ухудшение эксплуатационных свойств дорожного полотна, на нем появляются выбоины, неровности и другие дефекты. Поэтому повышение трещиностойкости дорожного асфальтобетона позволит увеличить и его долговечность.

Как известно, температура асфальтобетонного покрытия в суточном цикле непрерывно изменяется по гармоническому закону, а значит асфальтобетон дорожных покрытий никогда не находится в тепловом равновесии. При этом с точки зрения трещинообразования, наиболее опасны резкие понижения температуры.

Поскольку асфальтобетон является термовязкоупругим материалом, то при его деформировании наблюдается два конкурирующих процесса: это рост напряженного состояния за счет упругих свойств материала и одновременная релаксация этого состояния (снятие напряжения) за счет вязких свойств асфальтобетона. Преобладание того или другого процесса определяется скоростью деформирования, т.е. чем больше эта скорость, тем меньшая часть напряжения успеет «отрелаксировать» и наоборот [1].

Важное значение при оценке трещиностойкости асфальтобетона имеет как можно более точный учет его релаксационных свойств при низких температурах. Многолетние теоретические и экспериментальные исследования показали, что наличие температурного градиента по толщине асфальтобетонного слоя вызывает в нем значительные внутренние растягивающие напряжения, которые приводят к образованию трещин на покрытии. В связи с указанной причиной, для повышения трещиностойкости асфальтобетонных дорожных покрытий предлагается использовать в качест-

ве крупного заполнителя в асфальтобетоне материалы с пониженным модулем упругости. Это могут быть такие искусственные материалы, как тяжелый керамзит, аглопорит, золоаглопорит, металлургические шлаки, а из естественных – слабые известняки.

Так при использовании в качестве крупного заполнителя тяжелого керамзита рекомендуются такие составы асфальтобетона, когда объемная концентрация заполнителя не должна превышать 0,4 во избежание непосредственного контакта между зернами и их дробления. Как показали экспериментальные исследования и опытные работы, рациональный состав асфальтобетона должен включать 20–40 % керамзита, 48–72 % природного песка, 8–12 % минерального порошка [2].

Еще больший эффект с точки зрения повышения трещиностойкости асфальтобетона дает одновременное использование пористых крупного и мелкого заполнителей. Проведенные исследования показали, что наиболее рациональными (по объему) составами являются следующие:

– керамзит фракция 5–10 мм 31–42 %;
– керамзитовый песок 38–44 %;
– минеральный порошок 13–17 %;
– битум 7–8 %.

На основании проведенных исследований разработаны требования к марочной вязкости битумов для разных асфальтобетонов с учетом дорожно-климатической зоны их работы и скорости охлаждения.

Решающее влияние на интенсивность релаксационных процессов оказывает реологическое состояние битумных пленок в асфальтобетоне. Изменение марочной вязкости битума, индекса пенетрации, температуры асфальтобетона резко изменяет релаксационную способность материала. А вид заполнителя и тип асфальтобетона по зерновому составу влияют в значительно меньшей степени [3].

Таким образом, для повышения трещиностойкости дорожных асфальтобетонных покрытий рекомендуется применять материалы с пониженным модулем упругости. Для большего эффекта хорошо одновременно использовать пористые крупный и мелкий заполнители. При выборе битума требуемой вязкости необходимо учитывать вид заполнителя. На плотном заполнителе нужно назначать менее вязкий битум. Например, для II дорожно-климатической зоны при температуре охлаждения -30 ºС и скорости охлаждения 2 ºС/мин для асфальтобетона на пористом крупном заполнителе вязкость битума -90, а на плотном крупном -200; для песчаного асфальтобетона с пористым песком вязкость -90, а с плотным песком -130.

Анализ требований нормативных документов к трещиностойкости асфальтобетона показывает, что они несколько изменились и более приблизились к фактической схеме работы асфальтобетона в покрытии при охлаждении.

Например, вместо предела прочности при сжатии при 0 ºС и скорости деформирования образца 3 мм/мин (ГОСТ 9128-97) в настоящее время применяют предел прочности при растяжении, при расколе при 0 ºС и скорости деформирования 50 мм/мин. Однако, при деформировании образца при стандартных испытаниях так и не учитывается то обстоятельство, что при охлаждении покрытия в асфальтобетоне нет деформирования, а имеет место только рост напряжений с определенной скоростью, зависящей от скорости охлаждения. И еще имеет место снятие части напряжения в процессе нагружения из-за релаксационной податливости асфальтобетона.

Ранее проведенные исследования позволили разработать условие и критерий оценки трещиностойкости дорожного асфальтобетона. В качестве критерия предложен предел прочности при растяжении по бразильскому методу. При этом рекомендуется этот предел определять не при постоянной скорости деформирования (например, 50 мм/мин по стандарту), а при определенной скорости нагружения, соответствующей скорости изменения термонапряженного состояния дорожного покрытия.

Используя полученные ранее результаты и разработанные способы оценки низкотемпературных свойств [4], имея достаточную техническую базу лаборатории асфальтобетонных покрытий при Научном испытательном центре филиала ЮУрГУ, планируется провести исследование и опытную проверку разных составов асфальтобетона с учетом его релаксационной податливости при низких температурах для условий Севера.

Библиографический список

1. Губач, Л.С. Деформативная устойчивость асфальтобетона при низких температурах / Л.С. Губач, С.Г. Пономарева // Повышение эффективности применения цементных и асфальтовых бетонов в Сибири: Сб. научн. тр. / Новосиб. инж-стр. ин-т (НИСИ). – Новосибирск, 1978. – С. 112–130.

2. Губач, Л.С. Дорожные покрытия из керамзитоасфальтобетона / Л.С. Губач, В.Д. Галдина, С.Г. Пономарева // Автомобильные дороги. – 1980. – № 6. – С. 9–10.

3. Пономарева, С.Г. Эффективный путь повышения температурной трещиностойкости дорожного асфальтобетона / С.Г. Пономарева // Изв. вузов. Стр-во и арх. – 1984. – № 10. – С. 116–118.

4. Губач, Л.С. Условие и критерий низкотемпературной трещиностойкости дорожного асфальтобетона / Л.С. Губач, С.Г. Пономарева // Изв. вузов. Стр-во и арх. – 1985. – № 12. – С. 98–101.

К содержанию

ФИЛИАЛ В г. ОЗЕРСК

УДК 691. 327

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАТИВНОСТИ И МОРОЗОСТОЙКОСТИ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ

С.Н. Погорелов, Ю.В. Гончаров

Приведены результаты исследования деформаций бетонов в процессе циклического замораживания. Показана целесообразность изучения и воздействия на структуру цементного камня различных технологических факторов, в частности применения активных минеральных добавок для получения морозостойких и долговечных бетонов.

Ключевые слова: структурообразование, активные минеральные добавки, морозостойкость.

Проблема повышения долговечности бетона путем направленного структурообразования требует изучения эффективности использования активных минеральных добавок в цементах для тяжелых бетонов. По существующим представлениям основными элементами непрерывно изменяющейся структуры цементного камня являются: кристаллический сросток, гель, непрогидратированные зерна цемента, поры и капилляры различной формы и размеров [1]. Известно, что основным способом повышения морозостойкости бетонов является уменьшение его пористости [2]. Однако определенную роль в создание морозостойкого бетона вносит структура новообразований цементного камня и количественное отношение частиц коллоидной степени дисперсности к более грубодисперсным гидратным образованиям. К особенностям структуры цеметного камня, образующегося при твердении цементов содержащих активные минеральные добавки, в частности шлакопортландцемента, относится повышение содержания низкоосновных гидросиликатов кальция, которые выделяются в тонкодисперсном состоянии. Тепловая обработка ускоряет твердение шлакопортландцемента и позволяет получать плотную структуру, представленную устойчивыми низкоосновными гидросиликатами кальция [3].

В процессе испытания на морозостойкость проводились исследования прочности и модуля упругости тяжелых бетонов приготовленных на портландцементах и шлакопортландцементах, с использованием гранитного щебня и кварцевого песка. Структура цементного камня на портландцементе при циклическом замораживании становится более хрупкой, что можно объяснить ее «огрублением» связанным с ростом кристаллической составляющей (высокие модуль упругости и прочность), после чего наступает стадия разуплотнения. Для шлакопортландцемента процессы «огруб-

ления» протекают значительно медленнее, что связано, вероятно, с большей стабильностью гидросиликатной структуры. В тяжелом бетоне практически вся вода, переходящая при замораживании в лед, находится в растворной части. Для изучения влияния деформативности цементно-песчаного раствора на морозостойкость бетона проводились дилатометрические испытания в процессе замораживания до – 20 °С. Испытания проводили на образцах-цилиндриках диаметром 50 мм, высотой 50 мм, приготовленных из раствора состава цемент:песок = 1:2. Образцы после изготовления проходили тепловлажностную обработку по режиму 2+4+12+2 часа и насыщались водой, после чего подвергались замораживанию до температуры -50 °С. После 0, 10, 20, 40 циклов замораживания-оттаивания на кварцевом дилатометре замеряли деформации образцов в процессе замораживания до -20 °С. Определяли особенности дилатометрической кривой и величину скачка деформаций, образующегося при переходе воды, находящейся в порах и капиллярах бетона, в лед. Исследования показали, что рост величины скачка деформации при замораживании происходит быстрее у цементно-песчаных растворов на портландском цементе, что указывает на большее разрыхление структуры, наступающее вследствие низкой ее деформативности и неспособности воспринимать растягивающие напряжения возникающие при переходе воды, находящейся в порах и капиллярах цементного камня в лед. Применение шлакопортландцемента способствует образованию более деформативной и стойкой к циклическому замораживанию структуры. Возможность использования шлакопортландцементов для пропаренных бетонов железобетонных конструкций с нормируемой морозостойкостью позволяет значительно расширить область применения дешевого и недефицитного вяжущего.

Библиографический список

1. Тейлор, Х. Химия цемента / Х.Тейлор; пер. с англ. – М.: Мир, 1996. – 560 с.

2. Powers, T.C. A working hypothesis for further studies of frost resistance of concrete / T.C. Power // Proc. ACI. – 1945. – № 41. – Pp. 245–272.

3. Трофимов, Б.Я. Влияние количества шлака в цементе на морозостойкость тяжелого бетона / Б.Я. Трофимов, Л.Я. Крамар, К.В. Шулдяков // Строительные материалы. – 2013. – С. 96–101.

К содержанию

УДК 691. 327 + 666.942

ПОВЫШЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК

С.Н. Погорелов

Приведены результаты исследования изменения параметров пористости бетонов и сталефибробетонов в процессе циклического замораживания. Сочетание фибрового армирования с цементной матрицей обладающей повышенной трещиностойкостью позволяет получить улучшение работоспособности композиционного материала. Показана эффективность использования активной минеральной добавки – шлака для повышения морозостойкости бетонов и сталефибробетонов.

Ключевые слова: пористость, структурообразование, сталефибробетон, шлакопортландцемент, морозостойкость.

Увеличение сроков службы сооружений из бетона имеет не меньшее значение, чем обеспечение прочности. Наиболее интенсивное разрушение бетонных конструкций, как это следует из многочисленных наблюдений различных исследователей [1], происходит при многократном переменном замораживании и оттаивании бетона в водонасыщенном состоянии. Плотность цементного камня, качественный состав продуктов гидратации, строение порового пространства, содержание открытых капиллярных пор и их размер оказывают решающее влияние на морозостойкость бетона.

В данной работе оценивали влияние добавки шлака в цемент на поровую структуру бетона и сталефибробетона и их стойкость к циклическому замораживанию и оттаиванию. Шлаковые цементы получали смешиванием бездобавочного портландцемента М550 Коркинского цементного завода и молотого доменного гранулированного шлака ММК. Пористость определяли у мелкозернистого бетона (Ц:П=1:2, В/Ц=0,52). Для получения сталефибробетона в смесь добавляли стальные фибры из листа в количестве 120 кг на 1 $м^3$ бетонной смеси, параметры фибрового волокна: сечение 0,5х0,5 мм, длина 32 мм. Образцы-кубики 7х7х7 см после изготовления подвергали тепловлажностной обработке по режиму 2+4+8+2 часа, при температуре изотермической выдержки 85 °С, затем 5 суток хранили в нормальных условиях, 2 суток насыщали водой и подвергали испытанию на морозостойкость. Мелкозернистый бетон и сталефибробетон замораживали при температуре – 20 °С. Пористость материала оценивали по кинетике водопоглощения (методика определения условных градиентов пор [2] и методике определения характеристик пористости ГОСТ 1273042).

Таблица 1

Зависимость пористости бетона от содержания шлака в цементе

Содержание шлака, %	Условный градиент пористости								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4,49	2,34	0,96	0,52	0,45	0,34	0,41	0,39	0,87
30	4,57	2,28	1,13	0,65	0,54	0,41	0,43	0,44	0,88
50	4,55	2,26	1,27	0,74	0,59	0,41	0,44	0,50	0,93
80	4,85	2,40	2,05	1,40	1,23	0,94	0,94	0,86	1,07

Из полученных результатов (см. табл. 1) для мелкозернистых бетонов на различных вяжущих можно сделать заключение о том, что введение шлака способствует повышению открытой капиллярной пористости материала. С увеличением количества шлака, соответственно, убывает содержание клинкерной составляющей в вяжущем, отсюда, при взаимодействии с водой меньше выделяется гидроксида кальция – активизатора твердения шлака. Это приводит к невозможности связывания всей шлаковой составляющей. Избыток воды, не вступающей в химические реакции способствует образованию дополнительного объема открытых капиллярных пор. Рост пористости идет, главным образом, за счет повышения содержания мелких пор. Необходимо отметить, что при содержании шлака в смеси до 50 % незначительно изменяются объемы наиболее крупных капиллярных пор (1, 2, 3 градиенты), при содержании шлака 80 % эти объемы возрастают существенно.

Добавка шлака в количестве 50 % позволяет получить однородную мелкодисперсную структуру цементного камня при незначительном увеличении объема макропор.

Определение пористости по методике ГОСТ 1273042 (см. табл. 2) подтверждает вышеизложенные положения. Повышение содержания шлака более 80 % приводит к резкому увеличению капиллярной пористости. Средний размер пор, убывающий при введении шлака в количестве до 50 %, возрастает при содержании шлака 80 %.

Прочность и долговечность бетонов на шлаковых вяжущих существенным образом зависят от условий твердения и эксплуатации [3, 4]. Тепловлажностная обработка положительно влияет на интенсивность химических реакций взаимодействия шлаковых частиц и гидроксида кальция и способствует образованию большого количества высокодисперсной гелевидной фазы, благоприятно воздействующей на «самозалечивание бетона». Высокое содержание геля повышает способность к релаксации внутренних растягивающих напряжений, возникающих от гидростатического давления, кристаллизации продуктов коррозии льда в порах бетон. Т.е. повышает способность материала сопротивляться агрессивному воздействию среды [5, 6]. Оптимальное количество шлака в шлакопортландцементе оп-

ределяется минимально возможной пористостью и оптимальным количеством соотношением гелевой и кристаллической фаз в цементном камне, что позволяет создать структуру с высокой вязкостью разрушения.

Таблица 2

Изменение пористости бетона при циклическом замораживании

Количество циклов	Показатели Пористости	Содержание шлака, %							
		0		30		50		80	
		Б	СФБ	Б	СФБ	Б	СФБ	Б	СФБ
0	Показатель однородности размеров пор	0,62	0,63	0,63	0,63	0,64	0,66	0,47	0,46
	Показатель среднего размера пор	1,78	1,76	1,37	1,24	1,20	1,02	1,92	1,87
	Открытая капиллярная пористость, %	23,2	22,9	25,2	24,8	26,0	26,2	28,7	28,3
100	Показатель однородности размеров пор	0,49	0,51	0,55	0,54	0,55	0,55	0,44	0,43
	Показатель среднего размера пор	5,98	4,69	4,81	3,38	3,74	2,63	6,29	6,37
	Открытая капиллярная пористость, %	30,5	29,5	29,8	28,2	28,8	27,0	32,9	30,6

Одним из эффективных способов повышения прочности и стойкости материала к образованию трещин, в том числе при морозной агрессии, является введение фибровой арматуры. Возможность фибр сдерживать растущие микротрещины и препятствовать, таким образом, появлению дополнительной пористости исследовалась на мелкозернистых бетонах обладающих различной способностью к релаксации напряжений и вязкостью разрушения. Это достигалось путем введения в состав вяжущего для сталефибробетона различного количества добавки шлака (см. табл. 2). Следует отметить, что введение дисперсной арматуры способствует улучшению поровой структуры бетонной матрицы и приводит к снижению ее проницаемости. Из полученных результатов (см. табл. 2) видно, что во всех случаях использование фибры уменьшает величину среднего размера пор мелкозернистого бетона и повышает однородность размеров пор. Влияние дисперсной арматуры на объем открытых капиллярных пор у бетона, не подвергавшегося воздействию агрессивной среды явно не прослеживается. После 100 циклов замораживания при температуре -20 °С и оттаивания

в воде закономерность, наблюдавшаяся ранее для среднего размера и однородности пор сохранилась для всех исследуемых составов бетона. При этом наиболее морозоустойчивым оказался сталефибробетон на шлакопортландцементе содержащем 50 % шлака. Это подтверждается при сравнении величин открытой капиллярной пористости материалов с различным содержанием шлака. Анализ результатов свидетельствует о благоприятном воздействии фибровой арматуры на долговечность мелкозернистых бетонов на шлакопортландцементах.

Библиографический список

1. Powers, T.C. A working hypothesis for further studies of frost resistance of concrete / T.C. Power // Proc. ACI. – 1945. – № 41. – Pp. 245–272.

2. Туркестанов, Г.А. Пористость цементного камня и качество бетона / Г.А. Туркестанов // Бетон и железобетон. – 1964. – № 11. – С. 23–38.

3. Трофимов, Б.Я. Влияние количества шлака в цементе на морозостойкость тяжелого бетона / Б.Я. Трофимов, Л.Я. Крамар, К.В. Шулдяков // Строительные материалы. – 2013. – С. 96–101.

4. Сатарин, В.И. Шлакопортландцемент / В.И. Сатарин // Шестой межд. конгресс по химии цемента: сб. науч. тр. – М.: Стройиздат, 1976. – С. 45–56.

5. Тейлор, Х. Химия цемента / Х. Тейлор; пер. с англ. – М.: Мир, 1996. – 560 с.

6. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.

К содержанию

УДК 693.557

УДОБОУКЛАДЫВАЕМОСТЬ СТАЛЕФИБРОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ, ПОДВЕРГНУТЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОМУ ЭЛЕКТРОРАЗОГРЕВУ

Г.А. Пикус, Б.А. Евсеев, Ю.В. Гончаров

Приведены результаты исследований жесткостей сталефибробетонных смесей, подвергнутых предварительному разогреву переменным электрическим током. Показаны факторы, оказывающие влияние на изменение удобоукладываемости сталефибробеотнной смеси, представлены графики изменения жесткости, даны обоснования полученных результатов.

Ключевые слова: сталефибробетонная смесь, предварительный электроразогрев, удобоукладываемость.

Современные условия строительства предъявляют к возводимым сталефибробетонным конструкциям ряд требований: получение качественного сталефибробетона в сжатые сроки и возможность круглогодичного производства работ с минимальными энергетическими затратами. Удовлетворить обоим требованиям может использование метода предварительного разогрева сталефибробетонной смеси.

В то же время общеизвестно, что применение предварительного электроразогрева приводит к быстрой потери подвижности смеси и, соответственно, к ухудшению ее удобоукладываемости, а в некоторых случаях и непригодности к дальнейшему использованию [1]. Поэтому в качестве одного из направлений исследований стало изучение влияния предварительного электроразогрева сталефибробетонной смеси на ее удобоукладываемость. В качестве оценки удобоукладываемости, применительно к сталефибробетону, может, с большой долей условности, выступать жесткость смеси, так как показатель подвижности не дает правильного представления о ее технологических свойствах [2, 3].

В исследованиях использовалась смесь одного состава, но с разным водоцементным отношением (0,5–0,6), количеством стальной фибры (0,5–1,5 % по объему) и наличием или отсутствием пластифицирующей добавки (ЛСТ 0,25 % от массы цемента). Сталефибробетоная смесь подвергалась предварительному разогреву электрическим током до температуры 80 °С в течение 10–15 минут.

При проведении эксперимента было замечено, что в начальный момент приложения вибрационных нагрузок сталефибробетонный конус начинает быстро разрушаться. Однако, с дальнейшим ростом продолжительности вибрационного воздействия интенсивность разрушения значительно замедляется. Такой эффект можно объяснить тем, что в начальный момент происходит быстрое разрушение неустойчивого фибрового каркаса, со-

провождающееся, очевидно, переориентацией фибр, что приводит к росту сил внутреннего трения и сцепления с цементным тестом, более компактному расположению частиц заполнителя и фибры и, соответственно, к их заклиниванию.

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшее влияние на удобоукладываемость оказывает процент армирования смеси (μ). Так, повышение μ с 0,5 % до 1,5 % приводит к увеличению жесткости сталефибробетонной смеси в среднем в 4,7 раза. При этом, наибольший рост жесткости (в 2,5 раза) наблюдается при повышении процента армирования с 0,5 % до 1 %, в то время как увеличение μ с 1 % до 1,5 % приводит к повышению жесткости в среднем на 70 %.

Повышение температуры разогрева с 20 °С до 80 °С приводит к увеличению жесткости в среднем в 3,5 раза для сталефибробетоных смесей без добавки и в 2,9 раза для смесей с добавкой (рис. 1). Изменение жесткости смеси с увеличением ее температуры связано с испарением части воды при разогреве, а также с тем, что с повышением температуры происходит активизация взаимодействия воды и цемента и ускорение схватывания последнего.

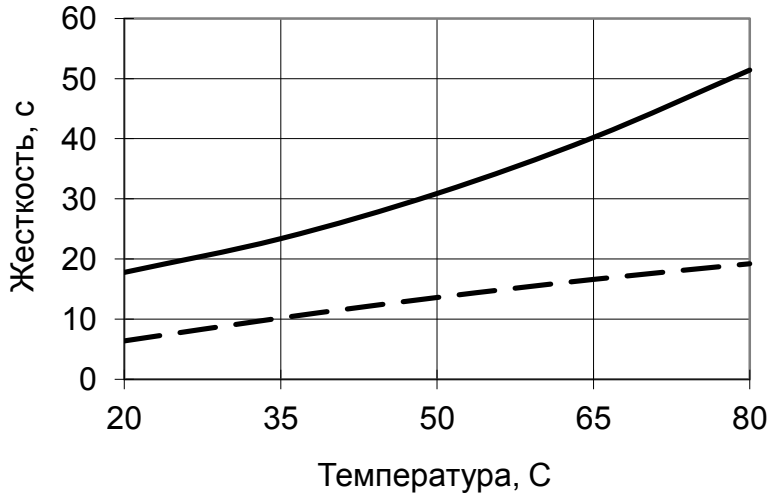


Рис. 1. Влияние температуры разогрева
на жесткость сталефибробетонной смеси (В/Ц = 0,55, μ = 1,0 %)
———— без добавки;
- - - - - с добавкой

Результаты исследований показывают, что разогрев сталефибробетонной смеси без пластифицирующей добавки до температуры 80 °С даже при достаточно высоких водоцементных отношениях (0,55 и 0,6) приводит к практически полной потери ее удобоукладываемости.

Предсказуемое влияние на удобоукладываемость сталефибробетонной смеси оказывает водоцементное отношение. Так, повышение водоцементного отношения с 0,5 до 0,6 ведет к снижению жесткости в среднем в 2,6 раза для бетонных смесей без добавки и в 3 раза для смесей с пластифицирующей добавкой. Наибольшее снижение жесткости отмечается при увеличении водоцементного отношения с 0,5 до 0,55 – в 2,1 раза для сталефибробетонов без добавки и в 2,5 раза для сталефибробетонов с пластифицирующей добавкой. Увеличение В/Ц с 0,55 до 0,6 ведет к снижению жесткости в среднем на 40 % (рис. 2).

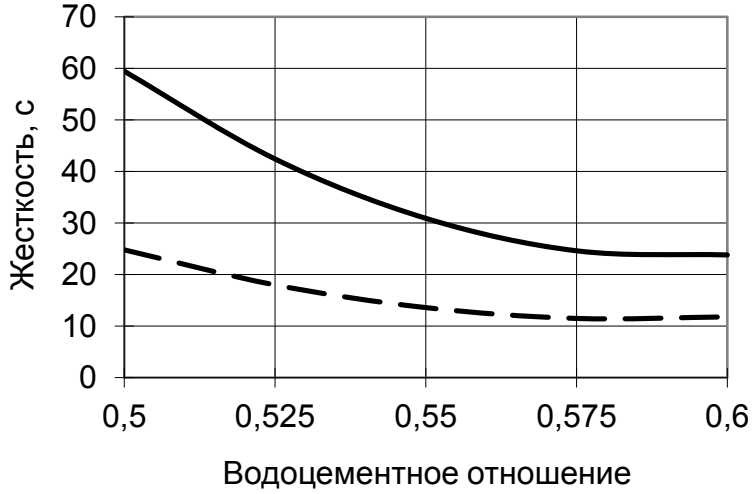


Рис. 2. Влияние водоцементного отношения
на жесткость сталефибробетонной смеси (μ = 1,0%, Т = 50 °С)
———— без добавки;
- - - - - с добавкой

Применение пластифицирующие добавки ЛСТ в количестве 0,25 % от массы цемента при прочих равных условиях позволяет уменьшить жесткость сталефибробетонной смеси в среднем в 2,6 раза. Такой эффект можно объяснить диспергирующим действием пластифицирующих добавок на частицы цемента, в результате которого уменьшаются силы внутреннего трения в объеме смеси.

Выдерживание сталефибробетонной смеси в течение 30 минут при постоянных температурах показало, что при температуре 20 °С изменение жесткости смеси незначительно. У разогретой же смеси, в течение 30 минут после термообработки происходит постоянный рост жесткости (в среднем, на 17 %), что также свидетельствует об ускорении твердения бетона при повышенных температурах.

Таким образом, исследования показали, что для обеспечения удобоукладываемости сталефибробетонных смесей подвергнутых предварительному разогреву следует обязательно применять в их составе добавки пластификаторов, а в необходимых случаях и замедлители сроков схватывания.

Библиографический список

1. Современные строительные технологии: монография / под ред. С.Г. Головнева. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010. – 268 с.

2. Пикус, Г.А. Технология сталефибробетона, обеспечивающая повышение его конструкционных свойств: дис. … канд. техн. наук / Г.А. Пикус. – Челябинск, 2000. – 215 с.

3. Пикус, Г.А. Давление фибробетонных смесей на вертикальные опалубочные системы / Г.А. Пикус, И.В. Манжосов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2012. – Вып. 15. – № 38. – С. 39–42.

К содержанию

УДК 693:620.9

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

А.В. Киянец, Ю.В. Гончаров

Приводится анализ требований нормативных и законодательных актов в области энергетической эффективности в строительстве. Излагаются современные проблемы в данной области и пути их решения.

Ключевые слова: энергоэффективность, ресурсосбережение, строительство.

Проблема энерго- и ресурсосбережения чаще всего понимается как достижение минимального расхода энергии и ресурсов с наименьшим негативным влиянием зданий и сооружений на окружающую среду. В строительстве, с учетом принципов устойчивого развития, должны рассматриваться все этапы жизни зданий, начиная от изысканий и проектирования, заканчивая возведением, эксплуатацией и утилизацией. Безусловно, в этом ряду, главная роль должна отводиться проектированию. Именно здесь, за счет выбора прогрессивных конструктивных и технологических решений, можно добиться существенного снижения общих затрат на протяжении всего жизненного цикла объекта.

Этап проектирования, стоимость которого составляет 6–9 % сметной стоимости объекта, существенно влияет на период возведения, а еще значительнее – на стадию эксплуатации. Детального анализа степени влияния

этапов проектирования и возведения здания на период эксплуатации пока не выявлено, но априори можно отметить, что она достаточно высокая, такая же ситуация и с оценкой воздействия объекта на окружающую среду.

К сожалению, мало внимания уделяется вопросам проектирования строительных процессов, как на этапах составления технологических карт, так и проектов производства работ.

Согласно статистике на долю строительства приходится около 45 % мирового потребления энергии и 40 % расхода материалов.

Сегодня имеется нормативно-правовая база для системной работы в области повышения энергетической эффективности зданий. Принятый 23 ноября 2009 года Федеральный закон № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» обозначил правовое регулирование в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. В его основе заложены следующие принципы: эффективное и рациональное использование энергетических ресурсов; поддержка и стимулирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности; системность и комплексность проведения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности; планирование энергосбережения и повышения энергетической эффективности; использование энергетических ресурсов с учетом ресурсных, производственно-технологических, экологических и социальных условий [2].

На основании части 2 статьи 11 ФЗ № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» требования энергетической эффективности зданий, строений, сооружений должны включать в себя:

– показатели, характеризующие удельную величину расхода энергетических ресурсов в здании, строении, сооружении;

– требования к влияющим на энергетическую эффективность зданий, строений, сооружений архитектурным, функционально-технологическим, конструктивным и инженерно-техническим решениям;

– требования к отдельным элементам, конструкциям зданий, строений, сооружений и к их свойствам, к используемым в зданиях, строениях, сооружениях устройствам и технологиям, а также требования к включаемым в проектную документацию и применяемым при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте зданий, строений, сооружений технологиям и материалам, позволяющие исключить нерациональный расход энергетических ресурсов как в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта зданий, строений, сооружений, так и в процессе их эксплуатации.

В начале 2011 года вышло постановление Правительства РФ «Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов». В нем установлены нормативные показатели, характеризующие удельную величину энергетических ресурсов в зданиях, а также требования к архитектурным, функционально-технологическим, конструктивным и инженерно-техническим решениям. Должны быть созданы условия, исключающие нерациональный расход энергетических ресурсов в процессе строительства зданий, строений и сооружения. Исходя из сравнения (определения величины отклонения) расчетных и нормативных значений показателей энергетической эффективности устанавливается класс энергетической эффективности, который включается в энергетический паспорт здания.

Как уже отмечалось, существующий подход к энергоэффективности в строительстве односторонен и направлен на экономию ресурсов, главным образом, в стадии эксплуатации объекта, не учитывая стадии проектирования, строительства и утилизации объекта. Поэтому проблема является более многогранной и многокомпонентной, которую нельзя решить, работая в каком-либо одном направлении, например, только снижая энергопотери при эксплуатации зданий и сооружений.

На протяжении всех этапов жизненного цикла для получения заметного результата необходимо применять комплексные решения по обеспечению энергоэффективности строительного объекта. При проектировании должны применяться эффективные конструкции и материалы, в частности материалы добываемые и перерабатываемые в районе, где идет строительство (т.н. «местные строительные материалы»), что позволит значительно уменьшить транспортные издержки, и удешевить строительство. Должна уменьшаться доля применяемых строительных композитов (бетонов, растворов и т.д.) на основе традиционного цементного вяжущего, из-за высокой энергоемкости его производства, в пользу материалов на альтернативных вяжущих, таких, например, как гипс или магнезиальное вяжущее [1].

В заключении хотелось бы подвести итог вышесказанному. Проблема энерго- и ресурсосбережения в настоящее время является бесспорно ключевой для дальнейшего устойчивого развития человеческого общества и цивилизации в целом, и ее невозможно решить без изменения в сторону уменьшения энерго- и ресурсопотребления в строительстве. На сегодняшний день в основном рассматриваются два основных направления повышения энергетической эффективности зданий: снижение величины удельного расхода энергии на отопление (кондиционирование) и выбор более эффективных систем теплоснабжения (кондиционирования) за счет различных проектных и инженерных решений. Существующий подход к оп-

ределению энергоэффективности, базируется на методиках определяющих расход энергии в процессе эксплуатации строительного объекта, без учета соответствующих затрат энергии и ресурсов на других этапах жизненного цикла здания или сооружения. Однако существуют пути существенной экономии ресурсов за счет применения современных материалов, проектных решений и технологий. Но в этом случае, главной проблемой становиться разработка методики комплексной оценки и выбора оптимального снижения энергетических и других затрат. И разработка такой методики становится актуальной задачей современной строительной науки.

Библиографический список

1. Современные строительные технологии: монография / под ред. С.Г. Головнева. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 268 с.
2. Мозгалёв, К.М. Энергетическая эффективность зданий: учебное пособие / К.М. Мозгалёв, А.И. Абаимов, С.Г Головнев. – Челябинск: ООО «Издательство РЕКПОЛ», 2011. – 36 с.

К содержанию

УДК 69.003 + 378.44

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УРОВНЯ ПОДГОТОВКИ ВЫПУСКНИКОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «СТРОИТЕЛЬСТВО» ОЗЕРСКОГО ФИЛИАЛА ЮУрГУ

Е.С. Исакова, С.Б. Коваль, Ю.В. Гончаров, Е.В. Чистякова

Рассмотрены основные показатели характеризующие качество подготовки специалистов строительной отрасли на основе компетентностного подхода оценки профессиональных навыков молодых специалистов на примере филиала ЮУрГУ в г. Озерске.

Ключевые слова: качество образования, компетентностный подход, мониторинг профессиональных навыков.

Условием качественного выполнения строительно-монтажных работ является вариация целого ряда факторов, таких как: интенсивность принятой технологии, качество материалов, используемые машины и механизмы, а также квалификация исполнителей. В свою очередь, квалификация рабочих и инженерно-технического персонала складывается из опыта работы и основных базовых знаний, полученных во время обучения.

Строительные специальности традиционно пользуются высоким спросом среди абитуриентов. Специалисты данной отрасли не испытывают

проблем с трудоустройством. Так, по мнению выпускников Челябинской области, наибольший спрос на рынке труда, помимо IT-специальностей, имеют также архитектура и строительство [1].

В связи с этим, в университете по направлению «Строительство» осуществляется подготовка специалистов не только в Челябинске, но и в ряде филиалов области, в том числе в г. Озерске.

Специалисты филиала востребованы на многих предприятиях города, области и других регионов. В таблице 1 представлены базовые предприятия и количество студентов прошедших на них практику и трудоустроенных после окончания обучения.

С 2007 по 2015 годы филиал в г. Озерске выпустил около 270 студентов по специальности 270102 Промышленное и гражданское строительство», из них 266 не испытывали никаких проблем с трудоустройством, что составляет 99 %. Более 92 % выпускников работают по специальности. Это обусловлено высоким спросом на молодых специалистов строительной отрасли.

Таблица 1

Базовые предприятия для филиала в г. Озерске

Предприятие	Кол-во студентов, прошедших практику за 2010–2014 гг.	Кол-во трудоустроенных выпускников за 2010–2014 гг.
ФГУП Производственное Объединение Маяк г. Озерск	82	41
ЗАО Уральская монтажно-промышленная компания г. Озерск	38	13
ООО «УралСтройЭнерго»	36	3
ООО "Навигатор", г. Озерск	34	5
ООО «Озерская инвестиционно-строительная компания»	32	5
ЗАО Производственное Предприятие «Монтажно-строительное управление-111», г. Озёрск	28	5
ЗАО Производственное предприятие «МСУ-112» г. Озерск	24	5
ООО «Си Групп Урал», г. Озерск	24	3
ФГУП «Элерон»	23	7
ООО «Третья Столица», г. Екатеринбург	22	6
ОАО УПИИ ВНИПИЭТ	17	11
ООО «Челябинская строительная компания»	17	8
ЗАО Уралгидромонтаж	16	13
ООО «СК БРИГ», г. Озерск	16	4
ФГУП Уральский Государственный Проектно-Изыскательский Институт ВНИПИЭТ	16	13

Так, в последние годы отмечен рост числа заявок по отношению к количеству выпускников (рис. 1).

На трудоустройство выпускников оказывают влияние такие параметры, как уровень профессиональных знаний и личностные характеристики молодых специалистов.

Для контроля уровня профессиональных знаний и навыков с 2010 года в университете введен мониторинг удовлетворенности работодателей качеством подготовки выпускников, который основан на компетентностной оценке студентов и выпускников со стороны работодателей [2, 3].

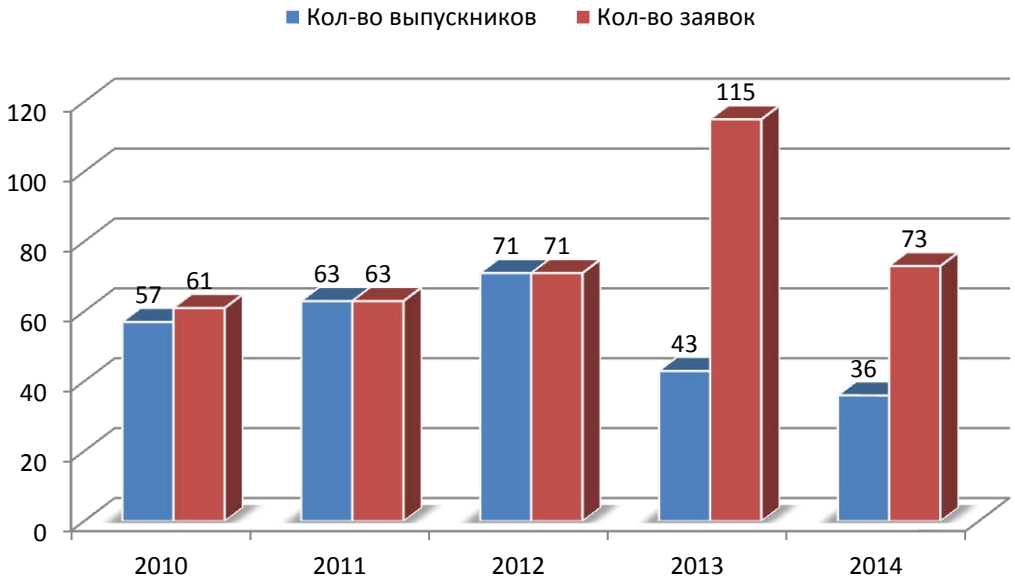


Рис.1. Соотношение количества заявок и числа выпускников

Качество подготовки специалистов в среднем по направлению «Строительство» составляет 4,65 балла, что соответствует «высокому уровню» подготовки. При этом индекс лояльности, который отражает долю «положительных» оценок, составляет 100 %.

Для сравнения, данные по другим структурным подразделениям, осуществляющим подготовку по соответствующему направлению и в целом по университету, приведены в таблице 2.

Результаты мониторинга по направлению «Строительство» Озерского филиала по курсам обучения представлены на рисунке 2.

Оценка уровня подготовки специалистов осуществляется работодателями на основе компетенций, перечень которых формирует и предлагает работодателям для оценки выпускающая кафедра университета.

Таблица 2

Показатели качества подготовки специалистов
по направлению «Строительство» в базовом вузе и филиалах

№	Подразделение университета	Качество подготовки, балл	Индекс лояльности, %
1	Озерск	4,65	100,00
2	Челябинск	4,51	97,45
3	Миасс	4,92	100,00
4	Златоуст	4,67	100,00
5	Снежинск	4,90	100,00
6	ЮУрГУ	4,66	99,31

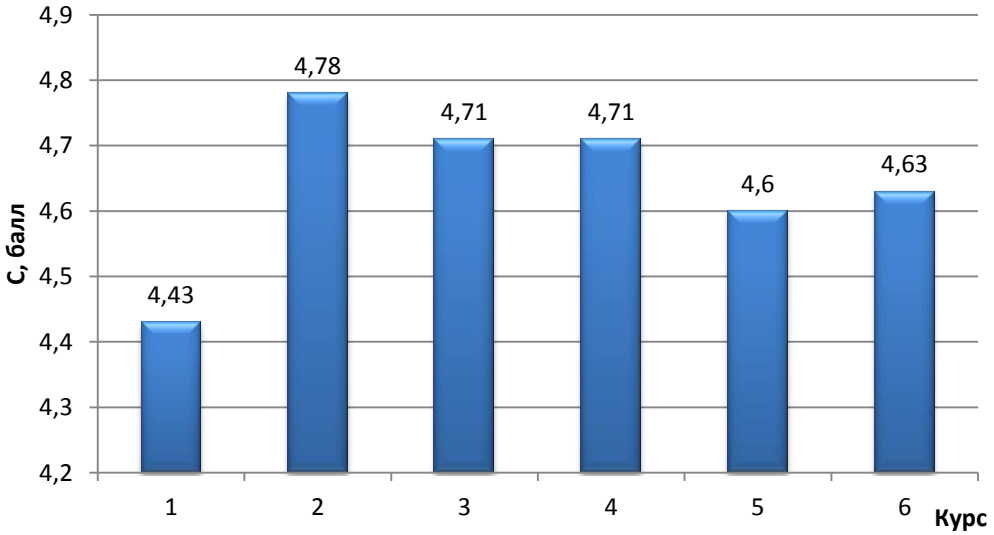


Рис. 2. Оценка качества подготовки студентов в филиале г. Озерска

В качестве основных компетенций Озерским филиалом выдвигаются:

- готовность к сотрудничеству с коллегами, работе в коллективе;
- выполнение и чтение чертежей зданий, сооружений, конструкций;
- организация технологического процесса;
- оформление проектно-конструкторских работ;
- разработка проектной и рабочей технической документации.

Для сравнения, в список основных компетенций для оценки качества образования в г. Челябинске входят:

- готовность к сотрудничеству с коллегами, работе в коллективе;
- выполнение и чтение чертежей зданий, сооружений, конструкций;
- владение методами проведения инженерных изысканий, технологией проектирования деталей и конструкций;

- сбор и анализ исходных данных для проектирования;
- готовность к самостоятельной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции.

Необходимо отметить, что две компетенции филиала совпадают с Челябинском. Анализ выбора других компетенций говорит о том, что в филиале больший уклон идет на подготовку выпускника «исполнителя», а в Челябинске на «организатора».

Эту тенденцию так же подтверждает и состав наиболее значимых компетенций с точки зрения работодателей в г. Озерске и г. Челябинске (таблица 3).

Таблица 3

Компетенции, имеющие наибольшую значимость для работодателей

Филиал в г. Озерске	г. Челябинск
Выполнение и чтение чертежей зданий, сооружений, конструкций	Готовность к саморазвитию, повышению квалификации и мастерства
Обладание навыками работы с компьютером как средством управления информацией	Осознание соц. значимости своей будущей профессии, высокая мотивация к выполнению профессиональной деятельности
Проведение метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации	Обладание высокой мотивацией к выполнению проф. деятельности
Разработка проектной и рабочей технической документации	Готовность к самостоятельной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции

Таблица 4

Компетенции, имеющие высокую оценку уровня владения в филиале г. Озерска

Компетенция	Уровень владения, балл
Выполнение и чтение чертежей зданий, сооружений, конструкций	4,63
Готовность к сотрудничеству с коллегами, работе в коллективе	5,00
Обладание навыками работы с компьютером как средством управления информацией	4,63
Способен понимать социальную значимость своей профессии, выполнять профессиональные задачи в соответствии с нормами морали, профессиональной этики и служебного этикета	4,70

Обычно наибольшую значимость имеют данные о компетенциях, важных для работодателей, но имеющих низкую оценку подготовки студентов и выпускников, т.к. в этом случае возможно внесение корректив в учебные планы, используя мнение работодателей.

Следует отметить, что у филиала в г. Озерске по направлению «Строительство» на сегодняшний день таких компетенций не выявлено. В связи с этим, необходимо разнообразить список компетенций и увеличить количество опрашиваемых работодателей, а также рассмотреть возможность выбора компетенций, по примеру базового вуза, направленных на формирование организаторских качеств выпускника.

Библиографический список

1. Мониторинг трудоустройства выпускников и молодых специалистов: методические указания / сост. И.В. Сидоров, С.Б. Коваль, Е.С. Исакова и др. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013.

2. Коваль, С.Б. Компетентностный подход в системе мониторинга / С.Б. Коваль, И.В. Сидоров, И.В. Молочкова, М.В. Молодцов // Спрос и предложение на рынке труда и рынке образовательных услуг в регионах России: сб. докладов по материалам Восьмой Всероссийской научно-практической Интернет-конференции (27–28 октября 2011 г.). Кн. II. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2011. – С. 230–242.

3. Коваль, С.Б. Методика оценки качества подготовки выпускников / С.Б. Коваль, М.В. Молодцов, Е.С. Исакова, М.Ю. Березюк, Е.В. Чистякова // Содействие профес. становлению личности и трудоустр. молодых специалистов в соврем. условиях. Сборник матер. IV Всерос заочн. Научно-практич конфер. – Белгород, 2012. – С. 136–139.

К содержанию

УДК 69.003 + 331.5

АНАЛИЗ ИТОГОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ НА РЫНКЕ ТРУДА (НА ПРИМЕРЕ ВЫПУСКНИКОВ КАФЕДРЫ «СТРОИТЕЛЬСТВО» ФИЛИАЛА ЮУрГУ В г. ОЗЕРСКЕ)

Ю.В. Гончаров, С.Б. Коваль, Е.С. Исакова, Е.В. Чистякова

Представлены данные самооценки выпускников филиала ЮУрГУ в городе Озерске на основе их профессиональных навыков, умений и предпочтений, а также выполнен сравнительный анализ их конкурентоспособности по отношению к другим выпускникам.

Ключевые слова: рынок труда, трудоустройство выпускников, предпочтения и ожидания выпускников.

Успешная профессиональная карьера выпускника после окончания университета зависит от целого ряда факторов, среди которых можно выделить: опыт работы, полученный в ходе прохождения производственных практик и совмещения работы с учебой; уровень полученных им профессиональных навыков; личностные качества; предпочтения и ожидания от будущей работы.

Установить уровень вышеперечисленных критериев у выпускников университета возможно по итогам ежегодной работы комиссии по трудоустройству.

На кафедре «Строительство» филиала ЮУрГУ в городе Озерске из-за специфики «закрытого» города уделяют большое внимание в содействии трудоустройству выпускников и подведению итогов и анализа проделанной работы.

Из данных, представленных на рисунке 1 видно, что все выпускники филиала желают работать по полученной специальности. Большинство выпускников до окончания обучения, уже определилось с форматом своей профессии (только 13 % указали неопределенный формат – «инженер строитель»). Профиль кафедры «Строительство» направлен на работу выпускников в производственно-технический отдел (ПТО), а так же непосредственно на стройплощадке в качестве линейных инженерно-технических работников (ИТР). Из данных рисунка 1 видно, что инженерами ПТО, мастерами участков и прорабами будут работать около 70 % выпускников, что полностью соответствует приоритетным направлениям подготовки кафедры. Кроме этого, треть выпускников предпочитает работать на строительной площадке, что во многом превосходит аналогичные показатели выпускающих кафедр города Челябинска. Опыт работы име-

ют 100 % выпускников, в отличие от базового вуза (где по направлению «Архитектура и строительство» имеют опыт работы от 60–80 %) [1].

Рис. 1. Распределение выпускников кафедры «Строительство» филиала г. Озерска по профессиям

Ожидаемый уровень заработной платы выпускников в зависимости от формата профессии в среднем составляет:

- инженер ПТО – 25 тыс. рублей;
- мастер участка – 30 тыс. рублей;
- инженер-конструктор – 30 тыс. рублей;
- инженер-сметчик – 25 тыс. рублей;
- прораб – 60 тыс. рублей.

Сегодня на успешный поиск работы и карьерный рост оказывает влияние показатель «мобильности работника», который характеризуется наличием водительского удостоверения и готовностью из-за желаемой работы переехать в другой город.

Водительским удостоверением из числа выпускников кафедры «Строительство» не владеют только 3 %, а готовность к переезду высказывают небольшое количество выпускников (рис. 2).

В проводимых аналогичных исследованиях нежелание к переезду в основном объясняется востребованностью данной профессии в регионе и работой выпускников до окончания университета на предприятиях в течение длительного времени, которая удовлетворяет их по должности, доходам или перспективам карьерного роста [1].

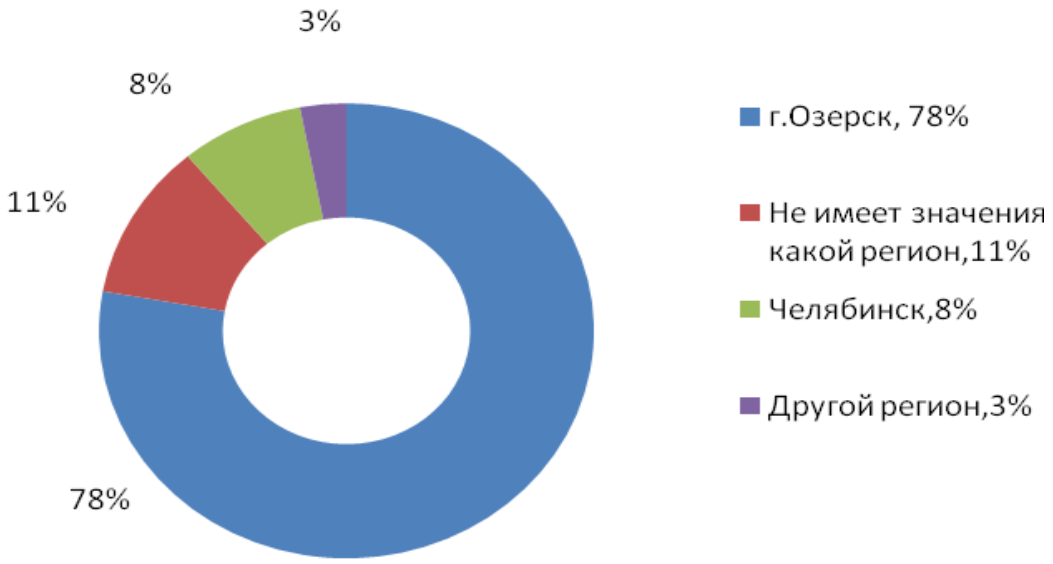


Рис. 2. Желаемое место работы выпускников кафедры «Строительство»

Среди работодателей участвующих в крупных строительных проектах последнее время в качестве обязательных выдвигаются требования по знанию иностранного языка, владение компьютерными программами и личностные качества соискателя.

Среди выпускников кафедры никто не владеет иностранным языком выше базового уровня, а основными профессиональными программными комплексами «Компас» и «AutoCAD» владеют, соответственно, 42 и 22 % выпускников.

Личностная оценка выпускников представлена в виде их самооценки, выполненной при заполнении анкет – резюме (рис. 3).

При сопоставлении личностных качеств выпускников кафедры «Строительство» с требованиями к выпускникам, предъявляемым со стороны работодателей, мнения совпадают по таким ключевым позициям, как «ответственность», «исполнительность» и «коммуникабельность».

Интересным моментом является то, что выпускники кафедры «Строительство» филиала ЮУрГУ города Озерска все имеют опыт работы. Основными работодателями выпускников кафедры «Строительство» филиала ЮУрГУ в городе Озерск в 2014 году выступили ФГУП «Производственное объединение «МАЯК», ГУ ФПС № 1 МЧС, ООО «Озерская инвестиционно-строительная компания», ООО «УралСтройЭнерго», ООО «Челябинская строительная компания» и ООО «Навигатор».

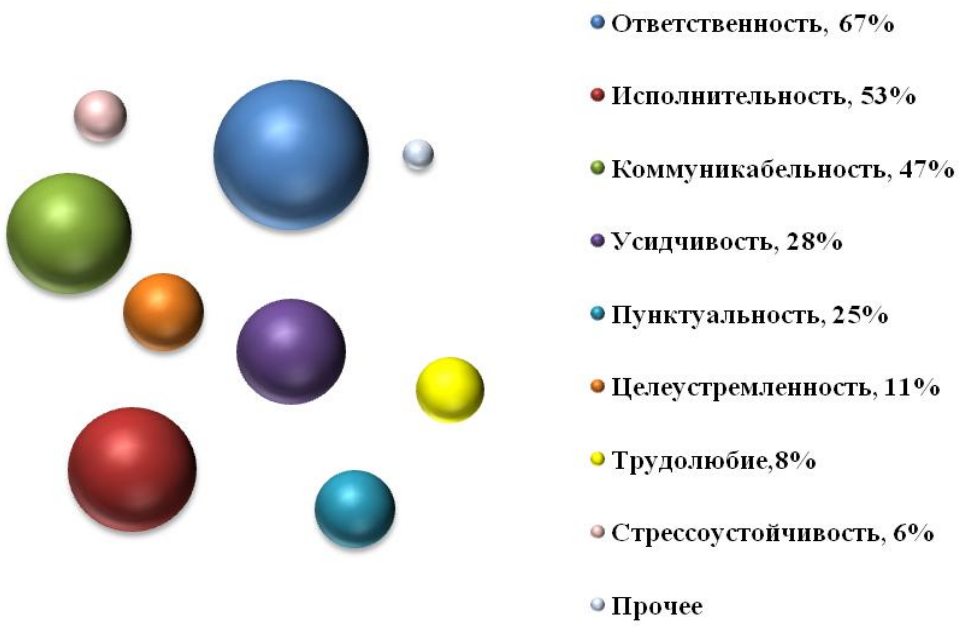


Рис. 3 Личностные характеристики выпускников кафедры «Строительство»

Данные по выпускникам кафедры «Строительство» филиала города Озерска можно сопоставить с данными по университетам Российской Федерации и университетам стран Европы. Если по университетам Российской Федерации английским языком на продвинутом уровне владеют 27,3 % выпускников, то по странам Европы этот показатель составляет 63,4 % [2].

Приведенные данные по уровню знаний профессиональных компьютерных программ кафедры «Строительство» можно сопоставить с данными по Архитектурно-строительному факультету ЮУрГУ. В отличие от выпускников филиала ЮУрГУ г. Озерска, выпускники базового вуза Архитектурно-строительного факультета располагают знаниями программ AutoCAD 100 %, Компас 12 %, но зато из профессиональных программ дополнительно владеют Solid Works 75 %, ArchiCad 12 %, 1С 22 %[2].

В целом по ЮУрГУ за 2014 год уровень средней ожидаемой заработной платы выпускников примерно равен 27 тыс. рублей, а по филиалу города Озерска 33 тыс. рублей. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что выпускники филиала более претензиальны и уверены в своей профессиональной подготовке.

На сегодняшний день большое внимание уделяется трудоустройству выпускников не только текущего года, но и окончивших обучение 3–5 лет назад. Следовательно, анкеты-резюме могут использоваться не только для сопоставлений и выявлений предпочтений выпускников, но и для сопровождения карьерного роста молодых специалистов.

Проведенное исследование показало, что современный выпускник филиала ЮУрГУ города Озерска позиционирует себя как самостоятельную, уникальную личность, адаптированную к сегодняшнему рынку труда. К моменту окончания обучения все выпускники уже имеют опыт работы, владеют иностранным языком, на необходимом для них базовом уровне, и достаточно мобильны для передвижения по региону и за его пределами.

Библиографический список

1. Выпускник 2014. Профессиональные предпочтения. Карьерные ожидания: методические указания / сост. С.Б. Коваль, Е.В. Чистякова, Е.С. Исакова, Н.А. Абдуллина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 41 с.

2. Trendence Craduate Barometer 2013 (Студенческий опрос 2013).Страны Европы, Россия, Южно-Уральский государственный университет: методические указания / сост. И.В.Сидоров, Christine Dietzsch, Ditte Lorenz. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 43 с.

К содержанию

УДК 624.046 + 711.41

РИСК-АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

А.Х. Байбурин

Для риск-анализа безопасности крупнопанельных зданий с регулярной структурой в плане и по высоте предложено рассматривать элементарные конструктивные ячейки с составлением схемы системной надежности и применением логико-графического метода «дерева отказов».

Ключевые слова: риск, безопасность, крупнопанельное здание, платформенный стык, прогрессирующие обрушение.

В последние годы в России участились аварии крупнопанельных зданий с прогрессирующим обрушением от взрывов бытового газа. Предотвращение прогрессирующего обрушения панельных зданий обеспечивают рядом конструктивных мероприятий [1]:

– устройством продольных и поперечных связей в плоскости перекрытий каждого этажа для восприятия растягивающих и сдвигающих сил;

– устройством вертикальных междуэтажных связей между стеновыми панелями смежных этажей.

Рассмотрим методы обеспечения безопасности панельных зданий на уровне элементов, узлов, связей и конструктивной ячейки. Уровень безотказности несущего каркаса здания определить практически невозможно в виду сложности структурной схемы надежности. Однако, учитывая, что панельные здания обычно имеют регулярную структуру в плане и по высоте, имеется принципиальная возможность вычленить некоторую ячейку этой структуры – элементарную конструктивную ячейку[1]. Отказ любой такой ячейки может вызвать прогрессирующее разрушение здания, если не предусмотрена специальная система конструктивных связей, узлов, элементов соединений и стыков панелей.

При анализе технического риска аварии будем учитывать следующие предположения (допущения) теории системной надежности.

1. Авария здания наступает с необходимостью (с вероятностью, равной единице) при отказе основания, фундамента или несущего каркаса, представляющих собой систему с последовательным соединением элементов.

2. Авария каркаса наступает с необходимостью при разрушении элементарной конструктивной ячейки при отсутствии мер против прогрессирующего обрушения. Соединение ячеек в этом случае может быть принято последовательным. В противном случае авария каркаса наступает с определенной вероятностью в зависимости от надежности противоаварийных элементов каркаса (связей, стыков, узлов и т.д.), связывающих ячейки и их элементы.

3. Авария конструктивной ячейки наступает с необходимостью при отказе элементов и связей, входящих в минимальное сечение[2]. С позиций системной надежности соединение элементов ячейки может быть сложным, последовательно-параллельным.

4. Обрушение элемента конструктивной ячейки наступает с необходимостью при отказе всех избыточных связей и еще одной связи, и превращении конструкции в механизм.

Модель аварии крупнопанельного здания с учетом принятых допущений может быть проиллюстрирована схемой (рис. 1).

Для панельных зданий расчетная схема локального разрушения при аварийных воздействиях может быть составлена по рекомендациям [1, 2]. На конструкции в зоне разрушения влияют соседние элементы, но это влияние становится существенным лишь при их отказе. Выделяют два типа конструктивных элементов, расположенных близ локальных разруше-

[1] Под элементарной конструктивной ячейкой подразумевается объемная часть регулярной структуры каркаса, ограниченная вертикальными и горизонтальными несущими конструкциями, например, стенами и перекрытиями.

[2] Минимальное сечение – набор элементов системы, отказ которых приводит к отказу системы вне зависимости от состояния других элементов.

ний. В элементах первого типа воздействия локальных разрушений не вызывают качественного изменения напряженного состояния. В элементах второго типа качественно меняется напряженное состояние. Элементы первого типа при нормальных эксплуатационных воздействиях подвергаются нагрузкам в 2–3 раза ниже разрушающих, а локальные разрушения, как правило, не могут вызывать перегрузки этих конструкций более чем в два раза. В работе [3] было показано, что при выходе из строя отдельных стеновых панелей 10-ти этажных крупнопанельных зданий перегрузки соседних панелей не превышают 80–90 %, а 16-ти этажных – 55–63 %. Исходя из этого, в пределах одного этажа влиянием соседних элементов первого типа на расчетную конструктивную ячейку можно пренебречь.

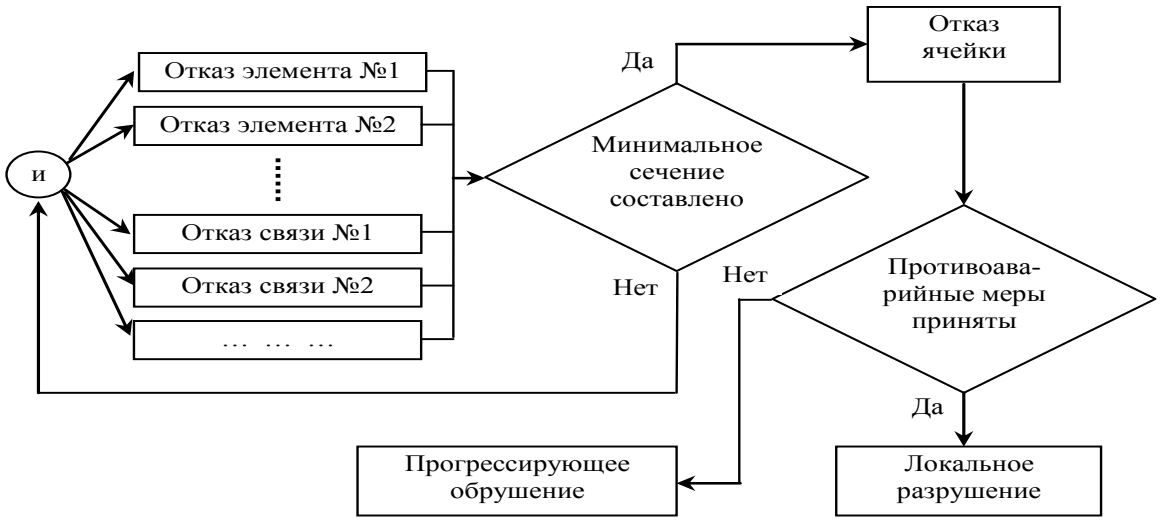


Рис. 1. Модель аварии крупнопанельного здания

С учетом принятых допущений будем считать, что безопасность здания определяется безопасностью элементарной конструктивной ячейки, которая, в свою очередь, зависит от безотказности элементов и схемы их соединения. В качестве элементарной ячейки панельного здания предлагается рассматривать четыре несущих панели стен, перекрытых плитой перекрытия (рис. 2а).

Согласно расчетной схеме [1] отказ ячейки наступает при выбивании двух смежных панелей стен и одновременном выходе из строя вертикальных связей, на которых повисают вышерасположенные панели, либо при разрушении перекрытия. Такой схеме разрушения соответствует структурная схема безотказности, изображенная на рис. 2б.

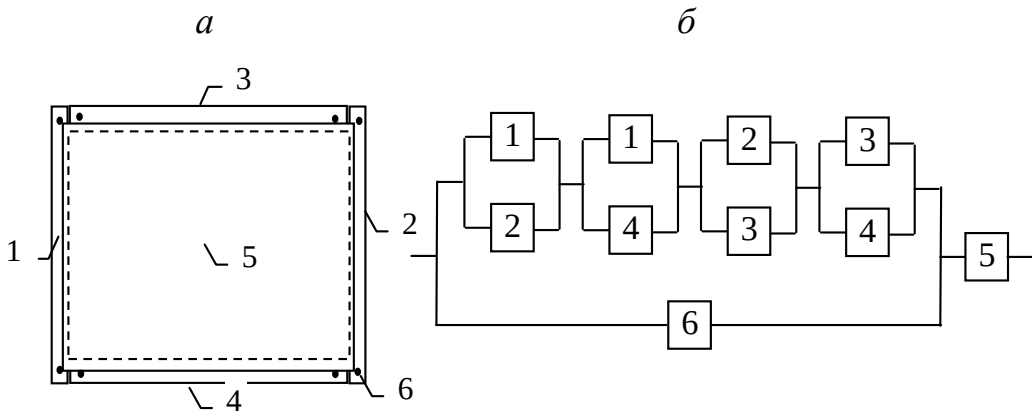


Рис. 2. Конструктивная схема (*а*) и расчетная модель безотказности (*б*) элементарной ячейки панельного здания: 1–4 – стеновые панели; 5 – плита перекрытия, опертая по четырем сторонам; 6 – вертикальные связи между этажами

Предложенная структурная схема безотказности может быть развернута в более сложную, если рассматривать отказ стеновых панелей по опорному и среднему сечениям, отказ панели перекрытия по изгибающему моменту и поперечной силе и т.д. Отказы по деформациям и трещинообразованию не рассматривают, так как они при аварийных воздействиях не ограничиваются.

Принятой схеме системной надежности (см. рис. 2б) соответствует математическая модель безотказности ячейки:

$$P_s = \left[1-(1-P_{14})(1-P_6)\right]P_5,$$
$$P_{14} = \prod_{ij}^{4}\left[1-(1-P_i)(1-P_j)\right], \qquad (1)$$

где i, j – двойки смежных пар панелей стен: 1 и 2; 1 и 4; 2 и 3; 3 и 4.

Пусть, например, $P_1 = \ldots = P_4 = 0{,}999$, $P_5 = 0{,}99$ и $P_6 = 0{,}95$. Тогда:

$$P_s = \left[1-(1-0{,}999996)(1-0{,}95)\right]0{,}99 = 0{,}99,$$
$$P_{14} = \left[1-(1-0{,}999)(1-0{,}999)\right]^4 = 0{,}999996.$$

Таким образом, при заданных параметрах модели безотказность ячейки практически не зависит от связей и определяется безотказностью панели перекрытия.

При запроектных воздействиях (взрыв, пожар, удар, незаконный демонтаж и т.д.) панели стен отказывают с вероятностью 1, то есть $P_{14} = 0$. Тогда из (1) получаем:

$$P_s = \left[1-(1-P_6)\right]P_5 = \left[1-(1-0{,}95)\right]0{,}99 = 0{,}9405,$$

и безотказность ячейки оказывается зависимой от надежности системы междуэтажных связей. Если безотказность связей увеличить с 0,95 до 0,99 (на 4,2 %), то безотказность конструктивной ячейки повыситься до 0,9801, то есть на 10 %.

Проведем анализ риска аварии панельного здания по критерию отказа наиболее ответственных узлов – платформенных стыков опирания логико-графическим методом «дерева отказов» (рис. 3).

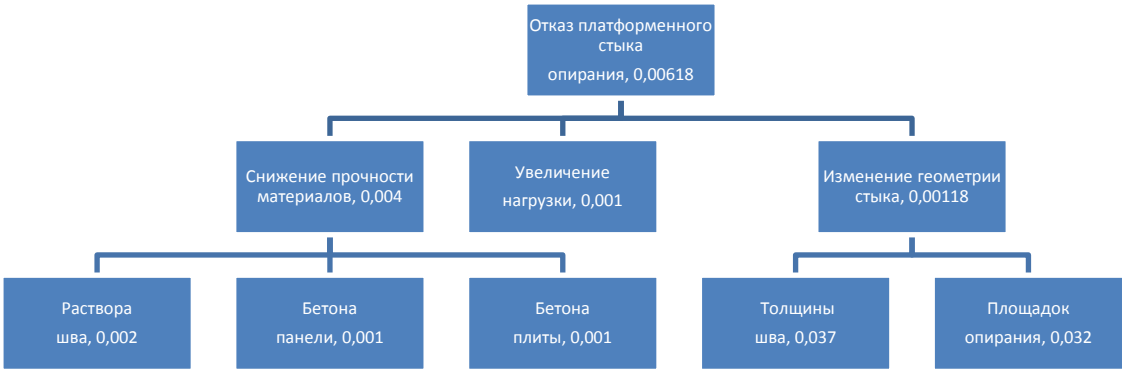


Рис. 3. Дерево отказов платформенного стыка
(цифрой указана вероятность отказа)

Из построенного дерева следует, что отказ платформенного стыка может произойти при низкой прочности раствора швов, бетона сборных элементов, увеличении нагрузки, уменьшении площадок опирания (ширины швов), увеличении толщины растворных швов.

Вероятность отказа каждого элемента дерева оценим по данным [3] перемножением уровня дефектности (вероятности критического дефекта) на вероятность ошибки контроля, принимаемой равной 0,1. По методу «дерева отказов» расчетная вероятность отказа платформенного стыка опирания равна 0,00618, а соответствующая вероятность безотказной работы – 0,99382. Указанная обеспеченность прочности стыка несколько меньше требуемой 0,9985. Вероятность местного отказа стыка следует принять равной 10^{-3}.

По модели (1) оценим вероятность отказа конструктивной ячейки здания в виде комнаты. Как было показано выше, при проектных воздействиях безотказность ячейки практически не зависит от связей и определяется безотказностью панели перекрытия. Принимая обеспеченность несущей способности перекрытия 0,9986, а обеспеченность расчетных значений нагрузок 0,98 [4] вычислим вероятность отказа с учетом вероятности ошибки контролера: $(1–0,9986)(1–0,98)0,1=2,8\cdot10^{-6}$, что не превышает фонового для РФ значения риска $5\cdot10^{-6}$ [5].

Разработанные модели надежности позволяют проводить качественный анализ и количественный прогноз надежности крупнопанельных зданий. Предложенный подход может быть применен при оценке качества строительства зданий по показателям конструкционной безопасности.

Библиографический список

1. Пособие по проектированию жилых зданий. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01–85). – М.: Стройиздат, 1989. – 304 с.
2. Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий. – М.: Москомархитектура, 1999. – 35 с.
3. Байбурин, А.Х. Обеспечение качества и безопасности возводимых гражданских зданий / А.Х. Байбурин. – М.: Изд-во АСВ, 2015. – 336 с.
4. Перельмутер, А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций / А.В. Перельмутер. – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 256 с.
5. ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М., 2011.

К содержанию

ФИЛИАЛ В г. СНЕЖИНСК

УДК 698.12: 658.562

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА МАЛЯРНЫХ РАБОТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Н.Е. Крупнова

В статье рассматриваются виды контроля качества малярных работ в строительстве, которые применяются в настоящее время в России.

Ключевые слова: контроль качества; строительство; малярные работы.

В последнее время строительная отрасль активно развивалась: увеличилось число компаний-застройщиков, появились новые материалы и технологии, позволяющие сократить сроки строительства и улучшить качество возводимых объектов. Вместе с дальнейшим увеличением объемов строительства важной задачей является повышение качества всех строительных работ, в том числе малярных.

В строительстве применяется многоступенчатый контроль качества, а именно, непосредственно исполнителем работ, заказчиком (застройщиком), проектировщиком, а также государственными службами, административными и общественными инспекциями. Система контроля качества строительства и соблюдения строительных норм и ранее, и в настоящее время имеет следующие ступени:

- внутренний (производственный) контроль;
- внешний контроль.

Внутренний контроль осуществляется персоналом самих строительных организаций. В состав внутреннего контроля входят три вида контроля:

- входной контроль поступаемой рабочей документации, конструкций, изделий, материалов и оборудования;
- операционный контроль, осуществляемый в ходе выполнения строительных процессов или операций;
- приемочный контроль, осуществляемый после завершения отдельных видов работ.

При входном контроле проверяется соответствие показателей качества материалов, изделий и оборудования требованиям стандартов и технических условий, производится проверка проектной рабочей документации, её комплектности, достаточно ли в ней содержится технической информации для производства работ. Наличие сертификатов, паспортов или других сопроводительных документов, подтверждающих качество материалов, изделий, оборудования является обязательным.

При операционном контроле основными используемыми документами являются СНиПы, технологические карты и схемы операционного контроля. Главную роль в операционном контроле играют начальники участков, прорабы и мастера. При этом виде контроля проверяется последовательность технологических операций и состав нормативной документации; соблюдение технологических режимов, установленных документацией; качество выполненных операций и их результатов, соответствие их требованиям проекта.

Приемочный контроль проводится в ходе строительства или по его завершению. Он во многих случаях подразумевает участие «внешних» лиц (заказчика или проектировщика), поэтому он может считаться не только внутренним, но и внешним. По результатам приемочного контроля принимается документированное решение о пригодности объекта контроля к эксплуатации или выполнению последующих работ. Главный инженер организации руководит системой контроля качества через специальные службы. Результаты всех видов контроля документируются.

Внешний контроль качества строительства осуществляется различными видами надзора, не зависящими от строительной организации, по отношению к которой он проводится, а также государственными службами, административными и общественными инспекциями.

Контроль качества отделочных работ, в том числе малярных необходимо производить как в процессе производства работ, так и при их приемке. Выполнение работ должно контролироваться на всех этапах производства. Контроль должен осуществляться квалифицированным и опытным персоналом. Подрядчик сам несет ответственность за выполнение контроля, но так же рекомендуется дополнительный контроль, осуществляемый заказчиком.

Малярные работы следует выполнять в соответствии с требованиями проекта, СНиП 3.01.01-85*, СНиП 3.04.01-87, ППР, технологических карт, схем операционного контроля качества работ и другой технологической документации, утвержденной в установленном порядке.

Малярные работ должны выполнять строительно-монтажные организации, получившие лицензию на выполнение отделочных работ в Федеральных или региональных лицензионных органах.

Малярные работы должны выполняться квалифицированным персоналом, прошедшим специальную подготовку и обладающим надлежащими навыками по выполнению отделочных работ.

Начинать контроль качества малярных работ надо с контроля качества материалов, поступающих на строительную площадку. Качество отделки поверхности, бесперебойная работа машин и механизированных инструментов, используемых при производстве малярных работ, в значительной мере зависят от правильного выбора и тщательного приготовления маляр-

ных составов. До начала малярных работ утверждают способ окраски и набор колеров. Качество материалов, применяемых для малярных работ, должно удовлетворять требованиям соответствующих стандартов и техническим условиям. Если возникают сомнения в качестве материалов (вследствие длительного их хранения, нарушения целостности упаковки, неясной маркировки), руководитель отбирает среднюю пробу данного материала и направляет ее для проверки в строительную лабораторию.

Качество выполнения малярных работ зависит также и от состояния предназначенных для окраски поверхностей, поэтому руководитель (мастер) должен контролировать тщательность подготовки и обработки поверхностей. Качество подготовленных под окраску оснований должно удовлетворять следующим требованиям:

− поверхности при окраске масляными, клеевыми, водоэмульсионными составами должны быть сглаженными, без шероховатостей, допускаются местные неровности высотой (глубиной) до 1,0 мм – не более двух на площади 4 м^2;

− поверхностные трещины раскрыты, огрунтованы, заполнены шпатлевкой на глубину не менее 2 мм и отшлифованы;

− раковины и неровности огрунтованы, прошпатлеваны и сглажены;

− отслоения, потеки раствора, следы обработки затирочными машинками удалены.

Штукатурные слои должны иметь хорошее сцепление с отделываемой поверхностью. При обнаружении отслаиваемых мест, что определяется простукиванием, их отламывают и переделывают заново. Поверхность штукатурки должна быть ровной, без трещин, выступов, раковин. Штукатурный раствор должен соответствовать требованиям ТУ и СНиПа

Поверхность после подготовки должна быть огрунтована (например, клеевым составом, олифой и т.д.). Огрунтовку необходимо выполнять сплошным равномерным слоем, без пропусков и разрывов. Высохшая грунтовка должна иметь прочное сцепление с основанием, не отслаиваться при растяжении, на приложенном к ней тампоне не должно оставаться следов вяжущего. Окраску следует производить после высыхания грунтовки.

При производстве малярных работ должны быть соблюдены следующие требования:

− допускаемая толщина слоев малярного покрытия должна быть: шпатлевки − 0,5 ÷ 1,5 мм; окрасочного покрытия не менее 25 мкм;

− поверхность каждого слоя малярного покрытия при улучшенной и высококачественной внутренней окраске неводными составами должна быть ровной, без потеков краски, не иметь зубчатого строения.

При производстве малярных работ и при приемке окрашенных поверхностей руководитель (мастер) обязан своевременно обнаруживать дефекты

окраски, устанавливать причины их возникновения и назначать способы устранения дефектов. К готовым отделочным покрытиям предъявляются следующие требования:

1. Приемку отделочных покрытий необходимо производить после высыхания водных красок и образования прочной пленки на поверхностях, окрашенных безводными составами. Поверхности после высыхания водных составов должны быть однотонными, без полос, пятен, подтеков, брызг, истирания (омелования) поверхностей. Местные исправления, выделяющиеся на общем фоне (кроме простой окраски), не должны быть заметны на расстоянии 3 м от поверхности.

2. Поверхности, окрашенные малярными безводными составами, должны иметь однотонную глянцевую или матовую поверхность. Не допускаются просвечивания нижележащих слоев краски, отслоения, пятна, морщины, потеки, видимые крупинки краски, сгустки пленки на поверхности, следы кисти и валика, неровности, отпечатки высохшей краски на приложенном тампоне.

3. Поверхности, окрашенные лаками, должны иметь глянцевые покрытия, без трещин, видимых утолщений, следов лака на приложенном тампоне (после высыхания).

4. В местах сопряжений поверхностей, окрашенных в разные цвета, искривления линий, закраски высококачественной окраски (для других видов) на отдельных участках не должны превышать следующих размеров:

- для простой окраски 5 мм;
- для улучшенной окраски 2 мм;
- искривления линий филенок и закраска поверхностей при применении разных колеров (на 1 м поверхности) – 1 мм.

Переход на рыночную систему существенно не изменил основных принципов контроля качества строительства. В дополнение к ним появились новые, более совершенные формы контроля: сертификация строительной продукции и услуг и лицензирование строительной деятельности. Все это повышает заинтересованность строительных организаций в обеспечении высокого качества работ.

Библиографический список

1. СНиП 3.04.01-87 «Изоляционные и отделочные покрытия».

2. Теличко, А.А. Отделочные работы / А.А. Теличко. – М.: Рипол классик, 2004. – 480 с.

3. Добров, В.В. Правильный ремонт дома / В.В. Добров. – М.: Рипол классик, 2006. – 384 с.

4. ТР 94.11-05 Технологический регламент контроля качества производства малярных и обойных работ. 11. Малярные и обойные работы.

К содержанию

УДК 628.31 + 628.316.12

ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК

С.Г. Ницкая

Рассмотрены возможные варианты организации поверхностного стока при проектировании жилых районов на новых площадках.

Ключевые слова: поверхностный сток, очистные сооружения, проектирование системы ливневого стока.

Проектирование жилых районов на новых площадках, так и в границах городской застройки вызывает необходимость решать вопрос организации системы поверхностного стока, необходимой для сбора, отведения и очистки.

Проектирование в границах плотной существующей застройки способствует увеличению количества водонепроницаемых поверхностей (крыши зданий, автомобильные дороги, паркинги, пешеходные тротуары) и, следовательно, к возрастанию объема ливневого стока.

В настоящее время в крупных городах практикуется проектирование жилых комплексов, в которых предусматривается комплексное использование подземного пространства для размещения сооружений инженерного оборудования, транспорта, предприятий торговли, спортивных сооружений и других объектов различного назначения. Данное направление согласуется с положениями нормативных документов, в частности [1, 2].

Согласно [3] подраздел «Система водоотведения» должен содержать решения в отношении ливневой канализации и расчетного объема дождевых стоков.

В соответствии с требованиями нормативных документов организация системы поверхностного стока может решаться следующим образом:

1. Сбор и отведение поверхностных сточных вод в существующую городскую систему ливневой канализации. Такой вариант позволяет отказаться от локальных очистных сооружений на территории проектируемого района или комплекса, но происходит дополнительная нагрузка на объединяющие коллекторы и городские очистные сооружения поверхностного стока.

Вариант возможен в случае расположения территории проектирования в непосредственной близости с существующими жилыми районами.

2. Сбор и отведение поверхностных сточных вод на локальные очистные сооружения и сброс очищенного стока в водный объект. Такое решение предполагает устройство очистных сооружений, обеспечивающих получение качества очищенного стока, отвечающее требованиям по сбросу

в водные объекты, дополнительной нагрузки на существующую городскую систему отведения поверхностного стока при этом не происходит. При такой схеме необходима территория для расположения очистных сооружений с соответствующей санитарно защитной зоной промышленного объекта (от 50 до 100 м в зависимости от типа организации очистных сооружений – закрытых или открытых [4]) рядом с проточным водоемом или строительство дополнительного коллектора для транспортирования очищенных поверхностных вод и их выпуска в водоем.

Очистные сооружения работают в период поступления дождевых или талых вод, в остальное время оборудование простаивает.

3. Очистка поверхностного стока на локальных очистных сооружениях и повторное использование очищенных вод на различные нужды, в том числе и производственные.

При проектировании новых жилых микрорайонов, прилегающих к существующей жилой застройке, проектирование системы ливневой канализации может решаться достаточно просто – поверхностный сток с проектируемой территории системой трубопроводов ливневой канализации отводится в существующие сети поверхностного стока.

В некоторых случаях заказчиком решение вопроса организации системы поверхностного стока с территории застройки предлагается достаточно просто – отведение и сброс дождевого стока на рельеф, как правило, территория для сброса рекомендуется за пределами территории застройки.

Данный вариант возможен в том случае, если территория вокруг объекта не принадлежит другому собственнику, или состояние естественного ландшафта позволяет фильтрацию дождевых вод в грунт.

Оптимальным решением могут быть проекты искусственных ландшафтов – организация прудов-накопителей, которые выполняют не только функции очистки поверхностного стока, но и являются элементом городского ландшафта и могут создавать место обитания для многих видов птиц; задерживающие системы, перехватывающие основной объем поверхностного стока после выпадения дождя и постепенно (обычно в течение не более 24 часов) выпускать ее в водоток, в период между выпадением осадков территория может использоваться по другим назначениям [5].

В некоторых случаях возможна реализация песчано-гравийных фильтров, представляющие собой перфорированные трубы, обсыпаются фильтрационными переходными слоями. Для осуществления фильтрационного перетока в реку переходные слои отсыпаются песками различной крупности или гравийно-песчаной смесью с укладкой фильтра из геополотна вплоть до линии уреза воды в реке. Фильтрационные материалы меняются по мере их загрязнения. При такой схеме все дождевые и талые поверхностные воды самотеком отводятся через колодец-гаситель к береговым фильтрационно-очистным сооружениям и далее в реку [6].

Рассмотренные способы возможны в том случае, когда имеются свободные от застройки территории, или территория застройки располагается в непосредственной близости от проточного водоема.

Реализация схемы с очисткой поверхностного стока предполагает устройство очистных сооружений и отведение очищенного стока либо в водоем, либо использование на различные нужды – для уборки и мойки городских территорий, поливки зеленных насаждений, технического водоснабжения и т.п. Такая система позволяет рационально использовать очищенные поверхностные сточные воды.

Устройство локальных очистных сооружений и технология очистки поверхностных сточных вод должна обеспечивать очистку до соответствующих требований для последующего использования.

Локальные очистные сооружения могут выполняться как в наземном, так и подземном исполнении. В случае наземного исполнения возникает проблема размещения объекта, особенно в жилом районе – необходимость архитектурно-планировочных и конструктивных решений зданий локальных очистных сооружений.

В качестве примера можно привести размещение очистного сооружения сточных вод с использованием новой технологии для посёлка «Репино» г. Санкт-Петербурга, которое построено ООО «Энвайронмент Рус» с партнерами из Чехии при сотрудничестве с компанией ВодоканалСтрой в 2007-ом году – очистное сооружение интегрировано в один строительно-технологический комплекс, полностью автоматизировано. Надземная часть имеет форму стеклянного павильона, гармонирующего с природой и окружающей городской средой, что обеспечивает позитивное восприятие очистного сооружения со стороны населения [7].

В случае подземного исполнения возникает проблема размещения сооружений в случае перегруженных подземных коммуникаций. В этом случае экономически и экологически целесообразно проводить глубокую очистку воды с целью ее повторного использования в автомоечных комплексах.

В настоящее время разработан значительный комплекс установок, предназначенных для очистки сточных вод в системах оборотного водоснабжения на моечных постах и комплексах. В этом случае решается вопрос о размещении локальных очистных сооружений, поскольку они, как правило, могут располагаться в одном помещении с автомоечным комплексом.

При проектировании жилых комплексов организация системы поверхностного стока и выбор метода очистки должна решаться не только с учетом технического задания и стоимости строительства и эксплуатации очистных сооружений, но и предусматривать решение таких вопросов, как особенности территорий застройки и вокруг объекта, а также рационального и эффективного использования водных ресурсов.

Библиографический список

1. СП 42.13330.2011 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*.

2. Федеральный закон № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации» (ред. от 31.12.2014) (с изм. и доп., вступ. в силу с 22.01.2015) // СПС «Гарант».

3. Постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» (С изменениями и дополнениями от: 18 мая, 21 декабря 2009 г., 13 апреля, 7 декабря 2010 г., 15 февраля 2011 г., 25 июня, 2 августа 2012 г., 22, 30 апреля, 8 августа 2013 г., 26 марта, 10 декабря 2014 г.) // СПС «Гарант».

4. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» (с изменениями и дополнениями от 10 апреля 2008 г., 6 октября 2009 г., 9 сентября 2010 г., 25 апреля 2014 г.).

5. Волчек, А.А. Сток с урбанизированных территорий и его очистка / А.А. Волчек, И.В. Бульская // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2013. – № 2. – С. 88–92.

6. Методические рекомендации по применению габионных конструкций в дорожно-мостовом строительстве. – М.: ФГУП «Союздорпроект», 2001

7. URL: http://www.envirorus.ru/?id=news.

К содержанию

УДК 629.113.01

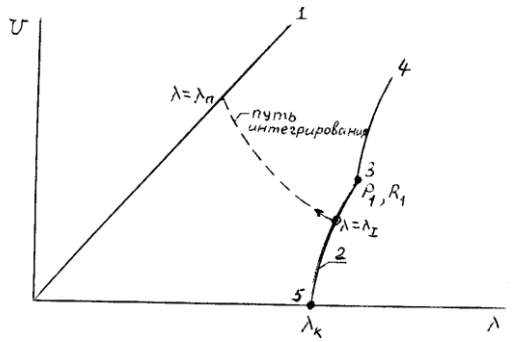
ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ВЫХОДА ИЗ ОСОБОЙ ТОЧКИ В АВТОМОДЕЛЬНОЙ ЗАДАЧЕ О СФЕРИЧЕСКОМ ПОРШНЕ

В.Ф. Степанов

Автомодельные решения были в своё время применены для определения силовых характеристик контакта недеформируемого тела при движении в упругопластической среде. Наиболее интересным с практической точки зрения оказалось решение, исходящее из особой точки. В статье приведены два способа выхода из особой точки, отличающиеся как по исходной гипотезе, так и формируемым параметрам – в первом случае результатом являются производные функций, а во втором – сами функции. Примененные способы позволили получать минимальные размерные скорости стенки поршня.

Ключевые слова: сферический поршень, особая точка, автомодельные решения.

Автомодельные решения о сферическом поршне были предложены В.В. Башуровым и Н.А. Скоркиным в 1974 году [1]. В 1980 году появилась идея о применении решения в целях определения в рамках гипотезы нормальных перемещений усилий (давления) на границе недеформируемого тела, движущегося в упругопластической среде. Был разработан алгоритм и написана вычислительная программа на языке PL/1. Первые же прогоны показали, что размерные скорости стенок поршня очень велики. Они составляли 500–2000 м/с при желательных 0–100 м/с. Анализ решений показал, что минимальные скорости стенок поршня реализуются при выходе решения из особой точки, см. рис., точка 5. В самой особой точке уравнения имеют особенность – деление на ноль.



Задача в переменных U и λ. Прямая 1 – поршень;
кривая 2 – режим упругой ударной волны; точка 3 – смена упругого режима на пластический; кривая 4– режим пластической ударной волны;
точка 5 – особая точка, где $U=0;\ \ R=1;\ \ P=0;\ \ T=0;\ \ \lambda_к=\sqrt{\beta+4/3}>1.$

(В решении задачи о сферическом поршне используются следующие безразмерные функции: $\lambda = \frac{r}{t} \bullet \frac{1}{\sqrt{\mu / \rho_0}}$ – параметр скорости; $P(\lambda) = p \big/ \mu$ – давление; $U(\lambda) = \frac{\dot{r}}{\sqrt{\mu / \rho_0}}$ – скорость; $R(\lambda) = \rho / \rho_0$ – плотность; $T(\lambda) = r \big/ \mu$ – напряжения на сдвиг; где r – радиальная координата в зоне движения;

$\dot{r}$ – радиальная скорость; $\tau = (\sigma_r - \sigma_\theta) \big/ 2$ – размерное напряжение сдвига;

t – время; μ – модуль сдвига; ρ – размерная плотность; β – параметр, связанный со скоростью звука в среде.)

Для определения функций выполняется интегрирование уравнений «назад» – от ударной волны до стенки поршня (в работах В.В. Башурова и Н.А. Скоркина показано, что в рамках решения движения без ударной волны не существует). Только после выхода решения на поршень можно определить размерные значения функций. К сожалению, алгоритма, выходящего на заданное значение скорости поршня, построить не удалось (был применён «метод стрельбы»).

Для выхода решения в ближайшую окрестность особой точки производные функций получены предельным переходом уравнений упругого режима движения:

$$\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}\lambda} = \frac{1}{\lambda} \bullet \frac{4T(U-\lambda) + 2URB - 4/3\, U}{R(U-\lambda)^2 - R\beta - 4/3},$$

$$\frac{\mathrm{d}R}{\mathrm{d}\lambda} = \frac{R}{\lambda} \bullet \frac{4U - 2(U-\lambda)^2 UR - 4T(U-\lambda)}{(U-\lambda)\left(R(U-\lambda)^2 - R\beta - 4/3\right)},$$

$$\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}\lambda} = \frac{1}{\lambda} \bullet \frac{4T(U-\lambda) + 3URB - UR(U-\lambda)^2}{(U-\lambda)\left(R(U-\lambda)^2 - R\beta - 4/3\right)},$$

$$P = \beta(R-1).$$

В результате получаем:

$$\left.\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}\lambda}\right|_{\lambda_k} = \frac{2/3 - \beta}{\beta + 4/3};$$

$$\left.\frac{\mathrm{d}R}{\mathrm{d}\lambda}\right|_{\lambda_k} = \frac{2/3 - \beta}{\left(\beta + 4/3\right)^{3/2}};$$

$$\left.\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}\lambda}\right|_{\lambda_k} = \frac{\beta - 2/3}{\left(\beta + 4/3\right)^{3/2}};$$

Успех пришёл, когда первый шаг по выходу из особой точки был взят на последних цифрах числа с двойной точностью (для используемой ЭВМ это была величина порядка $\Delta\lambda = 10^{-15}$). Для различных сред удалось снизить минимальную скорость поршня до 50–120 м/с. В последующем В.В. Башуровым [2] было предложено получить предельные значения функций, исходя из наличия в окрестности особой точки слабой упругой ударной волны, указав выражения для оценки предельных значений функций:

$$U(\lambda) = \frac{2\lambda_k^2 \varepsilon_0}{\lambda_k^2 - 2/3} \bullet e^{\left(1-\frac{4}{3\lambda_k^2}\right)(\Delta\lambda+\varepsilon_0)};$$

$$T(\lambda) = -\frac{2\lambda_k \varepsilon_0}{\lambda_k^2 - 2/3} \bullet e^{\left(1-\frac{4}{3\lambda_k^2}\right)(\Delta\lambda+\varepsilon_0)};$$

$$R(\lambda) = 1 + U(\lambda).$$

В итоге решение зависит не только от величины первого шага, но и интенсивности ударной волны $0 < \varepsilon_0 << 1$. Комбинация предельно малого первого шага интегрирования со слабой интенсивностью упругой ударной волны позволило получать размерные скорости поршня порядка 10–30 м/с, а в одном случае (мягкий грунт типа торфа) была получена скорость 0,8 м/с.

Заключение. Данная статья является кратким извлечением из работы, инициированной В.В. Башуровым, которая была прервана его уходом из жизни в 2014 году.

Библиографический список

1. Башуров, В.В. Задача о сферическом поршне в упруго-пластической среде / В.В. Башуров, Н.А. Скоркин // Сб. ЧМСС. – Новосибирск: изд-во ВЦ СО АН СССР, 1974. – Т. 5. – № 5. – С. 5–19.

2. Башуров, В.В. Расчёт сопротивления деформируемых сред проникании в них твёрдых тел / В.В. Башуров, В.Ф. Степанов, Н.А. Скоркин // Препринт № 30. – г. Снежинск: Изд-во Всероссийский НИИ технической физики им. акад. Е.И. Забабахина, 1994. – 20 с.

К содержанию

УДК 659.11

БРЕНД ГОРОДА КАК ЕГО ФИРМЕННЫЙ ЗНАК

Р.Ф. Шартдинова

Работа посвящена вопросу маркетинга территории с целью ее развития. Дается определение понятию бренда. Приводятся примеры бренда некоторых городов.

Ключевые слова: маркетинг территории, бренд, город, уникальность, неповторимость.

Каким Вы хотите видеть Ваш город через 15–20 лет? В современных условиях удобное географическое положение, наличие полезных ископаемых не могут гарантировать территории конкурентные преимущества и экономический успех. Как в такой ситуации городам не остаться на обочине экономического развития, а сохранить население и найти свою экономическую и культурную нишу? Освоение маркетинговых технологий и внедрение маркетинга территорий в сферу управления городом является не модным излишеством, а залогом успешного будущего.

Маркетинг территории – это комплекс действий местного сообщества, направленный на выявление и продвижение интересов территории для решения конкретных задач развития. Обычно содержание маркетинга отождествляется со сбытом и его стимулированием. Говоря о маркетинге территории, следует выделить один из его терминов – «бренд». Бренд – единое обозначение, название, символ, лозунг, стиль, термин, идея, узнаваемое потребителем концептуально выработанного набора товаров и услуг, обычно объединенных в направлении деятельности компании или объединения, которым принадлежит. Бренд – это более чем реклама. Это все, что приходит в голову человеку относительно продукта, когда он видит его логотип или слышит название.

Бренды существуют в виде сознания конкретных людей или общества. Сознание людей или общества, как способность идеально воспроизводить действительность, предметы, явления, процессы и связи окружающего мира, осуществляется в виде чувственных или умственных образов, в роли которых выступают ощущения, восприятие, понятия, мысли. Восприятие окружающего пространства, его неповторимости и уникальности. Бренд места – эффект всеобщей позитивной узнаваемости, признак уникальности. Для чего необходима узнаваемость, уникальность места? Приведем несколько примеров.

Рядом с британским городом Гейтсхед (северо-восточная часть Англии) стоит 20-ти метровый ангел с распростертыми крыльями, похожими на настоящие крылья самолета. «Ангел Севера» – таким красивым именем зовется это самое большое и необычное изваяние Великобритании. Ангел

Севера – детище известного модерниста Энтони Гормли. Место, где установлена статуя, выбрано не случайно. Раньше здесь были шахты. Автор задумал изобразить торжество небесных сил над низменными.

Стоит отметить, что не все оценили модернистскую красоту Ангела Севера, очень многие искусствоведы обвиняли автора в отсутствии вкуса. Кто-то назвал его грудой стиля, а кто-то ржавым чудовищем. Однако на это Энтони Гормли только усмехался – Эйфелеву башню также в свое время называли самым ужасным и некрасивым сооружением, однако теперь это самый главный символ Парижа и всей Франции. Действительно, через две недели после возведения статуи о ней узнали все журналисты, Ангел Севера стал новой достопримечательностью Великобритании. Многие туристы стали приезжать из соседних городов. Это место стало обрастать кафе, ресторанами, отелями и приносить неплохой доход.

Скандинавы продолжают удивлять весь мир своими ноу-хау. Неподалеку от шведского городка Кируна, где только снег и лед, построили ледяной отель «IceHotel». Как видно, название не отличается оригинальностью, «IceHotel» размещен на шести тысячах квадратных метров, а внутри отеля туристы смогут найти комфортные номера с современным интерьером и хорошей мебелью. Интересно, что столы, стулья и кровати в «IceHotel», как и стены, выполнены изо льда. Кровати специально оборудованы утепленными материалами, чтобы постояльцам было тепло и уютно. Придумали миф о том, что ночь новобрачных, проведенных в этом отеле, обеспечит долгую семейную жизнь и здоровых детей. Стоит отметить, что ночь в отеле самая дорогая.

Лох-Несс – небольшое глубокое пресноводное озеро в Шотландии, растянувшееся на 37 км к юго-западу от Инвернесса. Весной 1933 года журналистом Алексом Кэмпбеллом была опубликована в прессе статья о том, как Джон Маккей и его жена, стоя на берегу, наблюдали странное животное, высунувшееся из воды. С этого-то все и началось. Сам Алекс Кэмпбелл стал проводить на берегу озера много времени, и якобы не единожды наблюдал удивительного обитателя озера. Да и кроме него очевидцев было немало.

Интересно, что некоторые очевидцы смогли представить фотоснимки, а фирма «Кодак» подтвердила подлинность негативов. Чудовище получило ласковую кличку «Несси» и стало объектом интереса профессионалов, которые вдоль и поперек стали бороздить озеро в поисках подтверждения существования Несси. Применялись различные методики исследований, но ни одна из них не дала достоверных результатов. Это не мешает любопытным туристам ехать к озеру Лох-Несс и пристально вглядываться в его воды, в надежде увидеть над поверхностью симпатичную морду Несси. Существуют многочисленные коммерческие маршруты по озеру для туристов, желающих насладиться живописной природой и, возможно, увидеть мифического монстра.

Великий Устюг – старинный русский северный город, в котором бережно сохраняют и развивают новые интересные туристические направления, город, в котором придумали деда Мороза. Проект «Великий Устюг – родина деда Мороза» существует и развивается с ноября 1998 года. За эти годы он прошел путь от фантастической идеи до общероссийского национального бренда. Сотни тысяч детей и взрослых приезжают в гости или пишут письма деду Морозу. В Великом Устюге открыт офис деда Мороза, куда входят тронный зал, музей, мастерские, почта деда Мороза и сувенирная лавка.

Подобных примеров множество. В последнее время все больше городов задумываются о собственной уникальности, идентичности, которая позволила бы привлечь в город как можно больше денег и дала бы повод для гордости и самоидентификации жителям. Городская идентичность – это смысл города, чувство социальной общности.

Самый популярный вопрос, который возникает у жителей: «Зачем нам бренд города, если у нас плохие дороги?». Хороший бренд поможет преобразить город. Он дает воодушевление, положительную реакцию мира и становится инструментом для бизнеса. Уникальность, неповторимость территории способны производить впечатление. Впечатление – самый главный «двигатель» развития туристического бизнеса. Как бы то ни было, туризм все равно остается на первом плане, поскольку люди привозят сами свои деньги в город.

Еще одним примером успешного города-бренда является город Мышкин Ярославской области. Там была отвратительная дорога, но в середине 90-х годов в городе был образован комплекс музеев Мышкинский народный музей, включающий музей мыши – символа города. Начали съезжаться туристы, город начал зарабатывать и дорогу построили.

Как разработать бренд города? Сначала нужно исследовать город, причем очень важно понять его идентичность. Для этого нужно проводить множество опросов и других мероприятий. Затем разрабатывается ряд концепций, из которых в итоге выбирается одна, близкая всем горожанам.

Заняться вопросом брендинга могут как чиновники, так и сами жители. Во втором случае администрации нужно только сказать «мы согласны». Можно, например, создать инициативную группу и обратиться к власти. Если в бюджете нет на это денег, могут найтись и спонсоры – предприятие или ряд предприятий, которым брендинг пойдет на пользу, скажем, поможет продвигать продукцию.

Библиографический список

1. Сити-менеджер. – 2012. – № 9(13). – ООО «Ситименеджер», г. Екатеринбург.

К содержанию

УДК 69.05(076.5)

ОСОБЕННОСТИ ОХРАНЫ ТРУДА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Ж.А. Янголь

Работа посвящена основным проблемам охраны труда в строительстве. Дается краткая характеристика особенностей строительного производства с вытекающими проблемами в области безопасности труда, приведены способы контроля и защиты со стороны государства.

Ключевые слова: строительство; охрана труда; контроль; строительные нормы и правила.

Строительство относится к одной из важнейших отраслей экономики. Спецификой строительного производства является выполнение работ в сложных природно-климатических условиях, на открытом воздухе, на высоте, с применением различных средств механизации и электрооборудования, в стесненных условиях городской застройки или на действующем предприятии. В этих условиях к строительной индустрии предъявляют особые требования, в том числе и в вопросах охраны труда.

Также к особенностям можно отнести собственно организацию строительных работ. На одном объекте одновременно работают несколько подрядных организаций, а рабочие могут свободно перемещаться, меняя деятельность, как внутри строительной площадки, так и между другими площадками. Как следствие, создание безопасных условий труда, исключающих травматизм и профессиональные заболевания, обеспечивающих оптимальные санитарно-гигиенические условия, является важной государственной задачей.

На производстве строительные рабочие подвергаются широкому кругу вредных воздействий, что может спровоцировать ряд профессиональных заболеваний. У рабочих, занятых производством цемента, возможны пневмокониозы, пылевой бронхит, дерматозы, бронхиальная астма. При производстве железобетонных изделий, изделий из стекла, кирпича и керамики, материалов на основе асбоцемента отмечаются случаи вибрационной болезни, невриты, дерматоз, пневмокониоз и бронхиальная астма. У машинистов, управляющих строительной техникой, возникает вибрационная болезнь, нейросенсорная тугоухость, у отделочников – отравления и заболевания кожного покрова, у сварщиков – заболевания глаз. Особо высоки риски травмирования у представителей всех строительных профессий, что ведет за собой вероятность инфицирования столбняком. Несмотря на механизацию процессов в строительстве, ручной труд до сих пор востребован. Вследствие поднятия тяжестей у рабочих развивается ревматизм и возможны различные мышечные травмы.

Как и представители других профессий, строительные рабочие подвергаются следующим видам опасности: химической, физической (воздействие окружающей среды), биологической и социальной (психофизиологической). К химической опасности относится контакт с жидкостями (растворители, лаки, кислоты, щелочи) и порошками (стеклянная, асбестовая, цементная пыль). Физическая опасность представляет собой повышенную и пониженную температуру окружающей среды, давление, влажность, а также шумы, вибрацию, радиацию. Зачастую на строительной площадке работы ведутся в условиях снега, дождя, тумана, ветра, темного времени суток. Не исключаются экстремальные условия строительства: сухой и жаркий климат, в зоне вечномерзлых грунтов, сейсмических зонах, в условиях высокогорья, болотистой местности, под водой, под землей и т.д. Биологическая опасность заключается в возможном воздействии инфекционных микроорганизмов, токсических веществ биологического происхождения и укусов животных. Социальная опасность связана с организацией трудового дня. В целях увеличения производительности труда часто применяется вахтовый метод работы, когда рабочие проживают в трудовых лагерях вдали от дома, от семьи, лишаясь надежной социальной поддержки.

В нашей стране создана система охраны труда, включающая службы техники безопасности и промышленной санитарии по отраслям народного хозяйства, проектно-конструкторские организации, государственные органы технического надзора.

Строительная отрасль имеет систему строительных норм и правил (СНиП). К числу базовых нормативных документов по охране труда в строительстве относятся:

– СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования»;

– СНиП 12-04-2002 «Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство».

Для обеспечения безопасности строительства еще на стадии организационной подготовки разрабатывается проект организации строительства (ПОС), который предусматривает общие мероприятия по технике безопасности. Эти мероприятия включают в себя возведение временных зданий и сооружений для обеспечения санитарно-гигиенического и бытового обслуживания рабочих, размещение складов, установок и механизмов, представляющих основные источники опасности. На технической стадии разрабатывается проект производства работ (ППР). В данном проекте предусматриваются меры по обеспечению безопасности отдельных видов работ в определенных условиях, разрабатывается техническая и инвентарная оснастка для производства работ, также указываются места размещения объектов санитарно-гигиенического обслуживания рабочих, складских помещений, противопожарных устройств, временных дорог, выбираются сис-

темы освещения, методы ограждения опасных зон. Вопросы техники безопасности включаются в технологические карты на отдельные виды работ и в строительные генеральные планы для разных этапов строительства.

В соответствии с действующим законодательством РФ обязанности по обеспечению безопасных условий для охраны труда возлагаются на работодателя. В организации назначаются лица, ответственные за обеспечение охраны труда в пределах порученных им участков работ. Формы проведения контроля за состоянием охраны и условиями безопасности труда, предусмотренные в СНиП 12-03-2001:

– постоянный контроль работниками за оборудованием, инструментом и средствами защиты;

– периодический оперативный контроль, проводимый руководителями работ и подразделений;

– выборочный контроль состояния условий и охраны труда в подразделениях предприятия, проводимый службой охраны труда согласно утвержденным планам.

Работодатель обязан перед допуском работников к работе, а в дальнейшем периодически проводить обучение и проверку знаний правил охраны и безопасности труда. Также работодатель обязан обеспечить работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами индивидуальной защиты.

В соответствии с законодательством работодатель обязан организовать проведение расследования несчастных случаев на производстве и по результатам должны быть разработаны и выполнены профилактические мероприятия по предупреждению производственного травматизма и профессиональных заболеваний.

В организациях в качестве центров пропаганды охраны и безопасности труда организуются уголки или кабинеты охраны труда.

Вопрос охраны труда является важнейшим и требующим тщательной доработки, чтобы исключить или свести к минимуму риски травмирования и профессиональных заболеваний у рабочих строительной индустрии. Улучшение условий труда – это не только здоровье рабочих, но и мощный экономический фактор, влияющий на производительность и качество продукции.

Библиографический список

1. СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования» // КонсультантПлюс.

2. СНиП 12-04-2002 «Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство» // КонсультантПлюс.

К содержанию

Наука ЮУрГУ

Материалы 67-й научной конференции

СЕКЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Текстовое электронное издание

55,5 Мб
1 оптический компакт-диск

Компьютерная верстка электронной версии *Е.В. Федоровой*
Дизайн обложки диска *А.С. Шахрай*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано к использованию 03.07.2015.
Тираж 100 экз. Заказ 368.

454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76