

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Южно-Уральский государственный университет  
Высшая школа электроники и компьютерных наук  
Кафедра информационно-аналитического обеспечения управления  
в социальных и экономических системах

65(07)  
М34

Буркова И.В., Гельруд Я.Д., Логиновский О.В., Шестаков А.Л.

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ  
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ**

Учебное пособие

Челябинск  
Издательский центр ЮУрГУ  
2018

УДК 005.8 (075.8)  
М34

*Рецензенты:*

*Е.Б. Кибалов, доктор экономических наук, профессор,  
Г.Г. Куликов, доктор технических наук, профессор*

**Математические методы и модели управления проектами:**  
М34 учебное пособие / И.В. Буркова, Я.Д. Гельруд., О.В. Логиновский,  
А.Л. Шестаков — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. —  
193 с.

ISBN 978-5-696-04953-3

Учебное пособие содержит краткий курс лекций, контрольное задание по основным разделам дисциплины и пример его выполнения. Предназначено для студентов, обучающихся по магистерской программе направления 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника».

УДК 005.8 (075.8)

ISBN 978-5-696-04953-3

© Издательский центр ЮУрГУ, 2018

## ВВЕДЕНИЕ

Методы и модели управления процессом создания проектов применяются при планировании и управлении:

- разработкой крупных народнохозяйственных комплексов;
- научными исследованиями;
- конструкторской и технологической подготовкой производства;
- освоения новых видов изделий;
- строительством и реконструкцией, капитальным ремонтом основных фондов.

Первоначально методы проектного управления базировались на применении так называемых *сетевых моделей* комплекса взаимосвязанных работ, направленных на достижение определенной цели.

Сетевые методы появились в конце 50-х годов XX века и получили названия СРМ (английская аббревиатура *метода критического пути*) и PERT (*метод оценки и обзора программы*). Система СРМ была впервые применена при управлении строительными работами, метод PERT — при разработке ракетных систем «Поларис» [19, 21].

В России методы сетевого планирования и управления (СПУ) начали использоваться в 60-х годах прошлого столетия. Тогда эти методы нашли применение в строительстве и научных разработках. В дальнейшем сетевые методы стали широко применяться и в других областях народного хозяйства. С 1980-х годов СПУ, интегрируясь с мировыми тенденциями, стало называться Управление проектами (УП).

УП позволяет:

- формировать календарный план реализации некоторого комплекса работ;
- выявлять и мобилизовывать резервы времени, трудовые, материальные и денежные ресурсы;
- осуществлять управление комплексом работ с прогнозированием и предупреждением возможных срывов в ходе работ;
- повышать эффективность управления в целом при четком распределении ответственности между руководителями разных уровней и исполнителями работ.

Диапазон применения методов УП весьма широк: от задач, касающихся деятельности отдельных лиц, до проектов, в которых участвуют сотни организаций и десятки тысяч людей.

При осуществлении достаточно сложных масштабных проектов и деятельности в процессе управления ими могут одновременно принимать участие разные заинтересованные стороны (*стейхолдеры*), каждая из которых может иметь свою команду управления проектом во главе с собственным руководителем, наделенным соответствующими полномочиями и представляющим в проекте интересы данной стороны.

Выбор методов и средств управления проектами в значительной мере определяется тем, какая из заинтересованных сторон проекта рассматривается в качестве субъекта управления проектной деятельностью в каждом конкретном случае.

В части 1 описана эволюция этапов развития методов управления проектами, показаны достоинства и недостатки используемых сетевых моделей и алгоритмов.

В части 2 представлено структурирование особенностей ключевых стейкхолдеров и с их учетом приведены математические модели проектного управления для инвестора, заказчика, команды проекта, основных исполнителей, поставщиков, регулирующих органов и коммерческой службы.

Математические модели проектного управления для разных заинтересованных сторон и сетевые модели служат основой для проектирования интегрированной информационно-аналитической системы управления сложным проектом на всех стадиях его осуществления. Описание структуры и функций интегрированной информационно-аналитической системы управления сложным проектом приведено в третьей части учебного пособия.

В приложении дано краткое описание современных программных продуктов, используемых в проектном управлении.

Для обозначения формул, рисунков и таблиц принята трехиндексная система: номер части — номер главы — порядковый номер в главе.

Учебное пособие предназначено для студентов старших курсов, магистрантов, аспирантов, специализирующихся в области управления сложными комплексными проектами.

# **ЧАСТЬ 1. ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ОСНОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ**

## **Глава 1. Эволюция развития проектного управления**

### **1.1. Объективные предпосылки возникновения УП и основные особенности концепции**

В современных системах организации и управления сложными проектами центральное место занимают задачи календарного планирования. Результаты решения этих задач необходимы для нахождения оптимальных планов реализации проектов. В соответствии с классификацией, предложенной в [2], календарное планирование реализует одну из базовых функций управления проектом — управление временем. Управление временем включает в себя определение продолжительности, сроков начала и завершения проекта, его частей, важнейших (контрольных) событий и каждой из выполняемых работ; оптимизацию временных характеристик; разумное использование резервов времени; прогнозирование сроков завершения работ, этапов и проекта в целом; контроль развития проекта; принятие решений по ликвидации нежелательных отклонений от сроков выполнения как отдельных работ и частей проекта, так и сроков завершения проекта в целом.

Календарный план выполнения работ проекта предопределяет распределение во времени всех ресурсных потоков и является основой для управления не только производством работ, но и управления всеми обеспечивающими процессами: материально-техническим снабжением, обеспечением трудовыми ресурсами, машинами и механизмами, финансированием проекта и т.п.

С другой стороны, во многих случаях, календарное планирование работ должно осуществляться с учетом ресурсных возможностей или иных требований к динамике потребления ресурсов. В широком смысле календарное планирование может трактоваться не только как составление расписания работ проекта, но и включать в себя календарное планирование потребностей в ресурсах.

Таким образом, календарный план представляет собой «предстоящий образ действий», а параметры, характеризующие этот план, определяют «заданное состояние» объекта управления. В качестве объекта управления здесь выступает процесс реализации проекта, являющийся сложной техни-

ческой, организационно-экономической системой с динамическим поведением в условиях воздействий внутреннего и внешнего окружения.

Рассмотрим содержательные аспекты постановки задач планирования работ при управлении проектами и их характеристики, присущие проекту как управляемой системе, а также требующие учета в результате внешних воздействий среды.

Эти характеристики могут быть сведены в группы, отражающие различные аспекты объекта моделирования:

- технологические;
- организационные;
- экономические;
- стохастические.

#### *Технологические аспекты объекта моделирования*

Технологические зависимости (связи) между составляющими процесса реализации проекта имеют сложную природу и включают в себя:

- частичное или полное совмещение различных работ (этапов процесса реализации проекта) во времени;
- непрерывность и поточность их выполнения;
- технологические или организационные перерывы выполнения работ или их частей;
- различные отношения предшествования работ («не ранее», «не позднее») и т.п.

Кроме того, при реализации проекта зачастую задаются явные и неявные, внешние и внутренние цели проекта (по классификации [12]), в частности, сроки реализации проекта или его отдельных частей, сроки завершения отдельных работ, допустимые временные интервалы выполнения работ (например, исключая сезоны дождей для проекта в тропической зоне), сроки поставок ресурсов и т.п.

Также реализация работ или их отдельных частей может происходить с переменной интенсивностью.

#### *Организационные аспекты объекта моделирования*

Эффективное управление проектом требует учета организационных факторов. Многоуровневая организационная структура внутреннего и внешнего окружения проекта тесно связана со всеми этапами его разработки от формирования первоначальных идей до завершения всех работ над проектом.

Важным организационным аспектом является проблема распределения и перераспределения ресурсов, находящихся, как правило, в едином «резервуаре» и необходимых для выполнения различных работ одного или нескольких проектов.

В момент назначения временных оценок продолжительности работы неизвестно, когда эта работа должна будет выполняться, какие другие работы проекта, потребляющие тот же вид ресурса, будут вестись одновременно. Более того, как правило, одни и те же ресурсы могут потребоваться одновременно на разных проектах. Поэтому не исключено, что суммарная потребность в том или ином ресурсе в отдельные моменты времени может превосходить их наличный уровень. В этих случаях придется или уменьшать интенсивность потребления ресурсов на отдельных работах, либо отложить выполнение ряда работ на более поздние сроки. Это приводит в процессе выполнения проекта к частым корректировкам исходного плана, иными словами, к неустойчивости плана.

Очевидно, если заранее при планировании процесса выполнения проекта учесть ограниченность ресурсов и динамику их потребления, то можно получить гораздо более надежный план. Динамика потребности в ресурсах относительно хода отдельной работы проекта объективно может быть различна для разных ресурсов. Например:

- равномерно и синхронно с ходом выполнения работы;
- равномерно, но с определенным временным опережением;
- весь объем ресурса к началу работы;
- весь объем ресурса за некоторый период времени до начала работы;
- весь объем ресурса к концу работы (например, денежные ресурсы при оплате за законченную работу) и т.д.

Сложные задачи учета ресурсов при календарном планировании возникают в случае параллельной разработки нескольких проектов (мультипроектирование), руководство которыми осуществляется одной организацией при использовании единого резервуара некоторых ресурсов.

К организационным аспектам следует также отнести необходимость фиксации сроков свершения некоторых событий сетевой модели. Например, событие, отражающее пуск отопительной системы здания, должно свершиться до наступления холодов, иначе последующие работы по отделке здания не смогут быть начаты. Или, наоборот, какие-то работы должны быть завершены в холодное время года, пока не наступила распутица и есть возможность завозить ресурсы по «зимникам» и т.п.

### *Экономические аспекты объекта моделирования*

Проблемы определения стоимости проекта возникают на различных стадиях от оценки новых проектов (прогнозирование стоимости, определение уровня ассигнований) до завершения работ (контроль расходования выделенных бюджетных средств) [13].

Расчет затрат и определение динамики потребности в финансовых ресурсах имеют чрезвычайно важное значение при управлении проектами.

Существенным экономическим аспектом является динамика потребности в денежных средствах, зависящая от календарного расписания работ и способов оплаты за их выполнение (предоплата, равномерная оплата, оплата по завершению комплекса работ или проекта в целом).

### *Стохастические аспекты объекта моделирования*

Многие параметры проекта являются случайными величинами в силу вероятностного характера процессов реализации проектов, как с точки зрения параметров отдельных операций, так и возможно альтернативных организационно-технологических схем самого процесса реализации (случайными величинами могут являться не только, скажем, продолжительности операций, но и само наличие в схеме операции, т.е. выполнение отдельной операции может быть осуществлено с некоторой вероятностью  $p$ , отличной от единицы).

Обычно предполагается, что случайные величины подчинены принятым в данной системе Управления проектом законам распределения, причем тип распределения может быть разным для различных параметров. Например, сроки окончания этапов могут быть распределены по нормальному закону, а продолжительности работ, их стоимости подчиняться бета-распределению.

Кроме того, одной из главных особенностей процесса управления проектом (особенно при разработке нового сложного комплекса) является его стохастический характер в связи с высокой степенью неопределенности в способах реализации проекта (имеются в виду различные аспекты способов реализации — технические, организационные, экономические и т.п.). То есть процессу управления проектом присуще наличие такого рода промежуточных событий, после которых возникает вопрос, по какому из возможных путей следует продолжать разработку, чтобы наилучшим образом достичь цели. Характерным признаком процесса реализации проекта является тот факт, что в своем развитии отдельные направления разработки ветвятся на поднаправления, образуя несколько исходов. В местах раз-

ветвлений возникают альтернативные события, в которых приходится принимать решение о выборе дальнейшего направления разработки из некоторого множества возможных исходов. (Все исходы из подобных альтернативных событий могут произойти с некоторыми вероятностями, в сумме равными единице).

## 1.2. Общий обзор критериев эффективности и областей их целесообразного применения

Для каждого проекта может быть построено множество взаимосвязанных целей, отражающих структуру самого проекта и его участников [12]. Для возможности определения степени достижения целей проекта выбираются соответствующие критерии (критерии оптимальности календарного плана). На основе этих критериев оцениваются альтернативные решения по достижению целей проекта.

В данном учебном пособии выделены основные элементы модели, связи и ограничения, которые представляются необходимыми и достаточными, исходя из сформированных ниже критериев оптимальности. Вследствие разнообразия производственных условий число вариантов постановок задач календарного планирования процесса реализации сложного проекта очень велико.

Критерии оптимальности календарного плана можно разделить на две группы в зависимости от того, заданы директивные сроки завершения проекта и его отдельных этапов или нет.

К первой группе относятся критерии, отражающие соответствие сроков выполнения работ директивным срокам:

- минимизация суммарного, либо максимального, либо среднего отставания от заданных сроков;
- минимизация издержек, связанных с невыполнением этапов работ в срок (штрафы за несвоевременную поставку изготовленных на промежуточных этапах изделий, потери при простоях станков или оборудования, материальный ущерб из-за ухудшения репутации фирмы, чрезвычайные транспортные расходы при срочной доставке запаздывающих изделий и т.п.);
- оптимизация некоторого показателя качества использования ресурсов (неравномерность их потребления, издержки, связанные с дефицитом или излишками основных ресурсов);

- минимизация числа отстающих работ и т.д.

Критерии второй группы формулируются при отсутствии директивных сроков и основаны, как правило, на общей продолжительности процесса реализации проекта:

- минимизация продолжительности жизненного цикла проекта;
- минимизация простоев исполнителей;
- минимизация средних сроков реализации отдельных контролируемых заказчиком (и оплачиваемых) этапов работ;
- максимизация некоторого показателя использования оборудования (и других ресурсов);
- минимизация издержек на незавершенное производство;
- минимизация стоимости переналадок оборудования и т. д.

Наряду с перечисленными распространенными критериями применяются и такие, как средняя продолжительность жизненного цикла проекта (то есть промежуток времени между разработкой концепции проекта и его завершением), а также среднее число проектов в производстве, средняя длительность ожидания в очередях и т.п. Встречаются совсем специальные критерии, например, применительно к условиям свертывания производства, минимизируется продолжительность ликвидационного промежутка, в течение которого завершается обработка всех проектов и рабочая сила (и оборудование) полностью освобождаются для иных применений.

Иногда критерием оптимальности служит сумма затрат, включающая затраты на предпроектную подготовку, затраты на содержание запасов, потерь из-за дефицита, нормальной и сверхурочной заработной платы, причем рассматриваются *дисконтированные затраты*, т.е. приведенные на начало (или к концу) планового периода.

Описанные выше критерии оптимальности относятся к общей проблеме календарного планирования в производстве. Для управления проектами характерно наличие директивных сроков завершения проекта и затраты на его реализацию.

Конкретный функциональный вид критериев оптимальности, реализующих перечисленные выше условия, приводится ниже при описании комплекса моделей оптимизации управления процессом реализации проектов.

### 1.3. История развития УП

О сложности проблемы календарного планирования свидетельствует история его разработки. Первые неудачные попытки оптимизации календарных планов производства математическими средствами имели место еще в 1911 г. (расчеты Бабкока). Но лишь в 1925 г. была опубликована работа Ф. Г. Гарриса, определяющая оптимальную периодичность запуска изделий в производство. Затем на протяжении почти тридцати лет прогресс в рассматриваемой области был ничтожен, формула Гарриса обрела усложнениями, которые впоследствии отпали. Лишь к началу 50-х годов, когда к разработке методов «исследования операций» в экономике уже были привлечены многочисленные математики, а повсеместное распространение компьютерной техники многократно увеличило вычислительные возможности, исследовательская работа по оптимизации календарных планов пошла широким фронтом. Наряду с оригинальными решениями (задача Джонсона) и классическими приемами анализа были привлечены такие эффективные математические средства, как линейное и нелинейное программирование, статистическое моделирование с применением процедуры Монте-Карло, теория массового обслуживания, динамическое и стохастическое программирование [15, 11, 10].

Упомянутые выше подходы в основном относились к проблеме календарного планирования массового производства изделий, каждое из которых требовало выполнения сравнительно небольшого количества операций, выполняемых на оборудовании определенного вида.

Создание сложных единичных (уникальных) объектов, требующих выполнения большого количества операций при сложных технологических взаимозависимостях между операциями, обуславливает необходимость разработки качественно иных моделей и методов управления этими процессами. Это направление исследований и их практических приложений легло в основу современных управленческих концепций, объединяемых понятием «Управление проектами» (Project management).

Развитие современных методов управления проектами началось в конце 50-х годов с появлением первых работ по сетевому моделированию, введших в обиход так называемые *традиционные* (или *классические*) *сетевые модели* [19]. В основе первых систем управления проектами с использованием сетевых моделей (PERT, СРМ) лежал разработанный и описан-

ный в вышеуказанной литературе «метод критического пути» (СРМ — Critical-Path Method) — действенный, но в основе своей весьма простой метод анализа, планирования и календарного распределения работ при выполнении сложных проектов. Этот метод дает возможность ранжировать все работы по степени их влияния на общую продолжительность выполнения проекта с выделением так называемых *критических работ* и их последовательностей (*критических путей*).

Упорядоченная таким образом информация дает удобную основу для принятия решений на этапе планирования по «приведению критического пути к заданному сроку», а также при контроле за ходом реализации проекта — концентрировать внимание проект-менеджера на «узких местах», т.е. тех «критических» и «подкритических» зонах, от которых в наибольшей степени зависит выполнение всего проекта (или отдельных его частей) в заданный срок. Это метод целенаправленного управления (цель — выполнить проект в заданный срок). При этом формализация задачи на оптимум не производится.

Следующим этапом развития сетевого моделирования и методов принятия решений были постановки оптимизационных задач: минимизация стоимости проекта (PERT — COST), а также задачи оптимального распределения ресурсов [9]. В основе этих разработок лежал понятийный и языковой аппарат классических сетевых моделей.

К концу 60-х годов относится разработка В. И. Воропаевым и возглавляемым им коллективом *обобщенных сетевых моделей* [1, 3, 4], принципиальным отличием которых является возможность задавать более широкий спектр технологических зависимостей, чем это позволяют классические модели, причем технологически зависимыми событиями могут выступать не только начала и окончания работ, что присуще традиционным сетевым моделям, а и любые промежуточные состояния работы (операции). Большим достижением разработчиков обобщенной сетевой модели явилось сведение ее к расчетному виду, принятому в традиционной сетевой модели, что позволило использовать накопленный к тому времени богатый арсенал алгоритмических средств. Обобщенные сетевые модели обеспечивают более адекватное моделирование технологических процессов при управлении сложным проектом, чем традиционные сетевые, при этом они позволяют существенно укрупнять моделируемый объект без потери значимости и достоверности информации. Тем самым обеспечивается возможность «обслуживать» различные иерархически структурированные ка-

тегории: организационную структуру управления проектом, структуру самого проекта, структуру процессов, структуру ресурсов, при этом разрешается пользоваться различными единицами измерения ресурсов и времени. Особенно большое значение такие модели приобретают при решении задач оптимизации планов по различным критериям, связанным с использованием ресурсов и соблюдением специальных технологических и организационных требований, чтобы интервал времени между заданными параметрами состояний работ был не более некоторой заданной величины. К таким требованиям относится, например, условие непрерывности выполнения работ исполнителями на данном проекте, непрерывность или ограничение перерывов между работами, абсолютные ограничения сроков выполнения некоторых работ и т.д.

К этому же времени относится разработка *вероятностных сетевых моделей* и соответствующих статистических методов для решения задач календарного планирования на базе традиционных сетевых моделей при вероятностном характере параметров объекта управления [17].

Следует отметить, что и в первых традиционных сетевых моделях (PERT) учитывался вероятностный характер продолжительности работы, но при этом строились детерминированные модели за счет ввода в них математических ожиданий продолжительностей работ (в предположении, что они удовлетворяют  $\beta$ -распределению). Естественный на первый взгляд путь анализа вероятностных задач — замена случайных параметров их средними значениями и вычисление оптимальных планов полученных таким образом детерминированных задач, — не всегда оправдан. При усреднении параметров условий задачи нарушается адекватность модели изучаемому объекту управления. Полученное решение детерминированной задачи с усредненными параметрами зачастую не удовлетворяет условиям задачи при различных реализациях параметров ограничений. Поэтому при использовании вероятностных сетевых моделей ищется такое решение, чтобы вероятность его попадания в допустимую область превышала некоторое заранее заданное число  $\alpha > 0$  (в общем случае  $\alpha$  представляет собой вектор границ доверительных интервалов для реализации тех случаев, когда возможные невязки в отдельных ограничениях вызывают различный ущерб).

Следующим этапом развития модельного и методического обеспечения систем Управления проектами являются *стохастические сетевые модели*, в которых работы и события не носят фиксированного характера и содер-

жат логические отношения весьма сложной структуры, являются средством отражения как широкого спектра связей между работами и событиями, так и многоальтернативного характера ветвящихся направлений реализации проекта. Также предполагается наличие случайных воздействий, обстоятельств и помех [5, 16, 8, 6]. Стохастическая сетевая модель отображает процесс разработки с множеством исходов, на основе которой может быть решена одна из наиболее сложных проблем прогнозирования — прогнозирование развития отдельных направлений разработки большого проекта с оценкой вероятности каждого направления и времени его реализации.

Следует отметить, что до настоящего времени широкое практическое применение нашли только методы детерминированного сетевого моделирования, некоторые эвристические методы оптимального распределения ресурсов и параметрические методы оценки затрат (преимущественно в сфере воздушных и космических полетов). Хотя точное решение стоимостных задач календарного планирования на основе классических сетевых моделей теоретически найдено [9], но его практическое использование сопряжено с трудностью получения фактических данных о зависимостях «время-стоимость».

Каждая из описанных выше моделей имеет свою предметную область, по-своему (более или менее полно) реализует базовые функции управления проектом, но только синтез анализируемых моделей и методов позволяет построить модель, адекватно отражающую процесс реализации сложного проекта в условиях неопределенности, и при этом получить приемлемое в практическом отношении решение сформулированной задачи.

В настоящее время наблюдается несоответствие традиционных методологических подходов и их инструментария сложности (комплексности) мира и скорости его изменений.

Помимо комплексности и нелинейности окружающей среды, в которой реализуются сегодня проекты, известно множество факторов, снижающих эффективность проектного управления, но необходимо выделить главные из них и найти способы снижения их влияния.

Одна из основных причин неуспешности проектного управления состоит в том, что верхние уровни управления слабо вовлечены в эту деятельность, а современная методология и технология проектного управления не учитывает в должной мере их интересы. Нужно менять привычную

парадигму проектного управления — вместо взгляда на управление «снизу вверх» смотреть «сверху вниз».

При осуществлении достаточно сложных масштабных проектов и деятельности в процессе управления ими могут одновременно принимать участие разные заинтересованные стороны (*стейкхолдеры*), каждая из которых может иметь свою команду управления проектом во главе с собственным руководителем, наделенным соответствующими полномочиями и представляющим в проекте интересы данной стороны.

Разные заинтересованные стороны в проекте отличаются разными ожиданиями, ролями, мерой ответственности и действиями. Это вызвано следующим: несмотря на то, что в проекте они являются партнерами, работающими на общий результат, у них могут быть различные цели в проекте, разные критерии успеха и оценки степени достижения своих целей, разные ценности и стратегии достижения целей. Эти различия существенно влияют на постановку ими задач проекта, используемые методы, инструменты и технологии решения управленческих задач, ориентированные на их специфические потребности.

## **Глава 2. Анализ этапов развития сетевых моделей, их содержание и классификация**

### **2.1. Детерминированные классические модели**

Наиболее часто используемым частным случаем общей модели управления проектом является классическая сетевая модель, которая содержит информацию о детерминированных параметрах работ и их логической взаимосвязи. Причем логические взаимосвязи также детерминированы и включают технологические зависимости между работами «конец-начало» только типа «не ранее».

Классическая (детерминированная) сетевая модель есть конечный граф  $G = (\Omega, A)$ , где  $\Omega$  — есть множество вершин, отождествляемых с событиями, а технологическая матрица (матрица смежности)  $A = \{p_{ij}\}$  задает множество ориентированных дуг, отождествляемых с работами ( $p_{ij} = 1$  определяет работу  $(i, j)$ ; если события  $i$  и  $j$  дугой не связаны, то  $p_{ij} = 0$ ). Каждой дуге  $(i, j)$  поставлен в соответствие количественный параметр  $t_{ij}$ , который определяет время выполнения работы  $(i, j)$ .

Система сетевого планирования и управления, основанная на применении детерминированных сетевых моделей, позволяет:

— формировать календарный план реализации некоторого комплекса работ;

— выявлять и мобилизовывать резервы времени, трудовые, материальные и денежные ресурсы;

— осуществлять управление комплексом работ с прогнозированием и предупреждением возможных срывов в ходе работ;

— повышать эффективность управления в целом при четком распределении ответственности между руководителями разных уровней и исполнителями работ.

Диапазон применения методов классического сетевого моделирования весьма широк: от задач, касающихся деятельности отдельных лиц, до проектов, в которых участвуют сотни организаций и десятки тысяч людей.

Важнейшими понятиями сетевой модели являются понятия полного и критического пути. Полный путь — любой путь, начало которого совпадает с начальным событием сети, а конец — с завершающим. Наиболее продолжительный полный путь называется критическим. Критическими называются также работы и события, расположенные на этом пути.

Временные параметры сети состоят из временных параметров событий ( $T_j$ ) и временных параметров работ.

$T_j$  ( $j \in \Omega$ ) — сроки свершения событий, должны удовлетворять соотношению:

$$T_i + t_{ij} \leq T_j \text{ для всех дуг } (i, j). \quad (1.2.1)$$

Различают ранние ( $T_j^0$ ) и поздние ( $T_j^1$ ) сроки свершения событий.

Так как в классической сетевой модели событие не может наступить прежде, чем завершатся все предшествующие работы, то ранний ( $T_j^0$ ) срок свершения  $j$ -го события определяется продолжительностью максимального пути, предшествующего этому событию.

Для вычисления  $T_j^0$  необходимо сначала рассмотреть все события  $i$ , соединенные дугой  $(i, j)$  с данным событием  $j$  (это обозначается  $\forall i \prec j$ ), вычислить для них ранние времена и при этом на каждом шаге использовать формулу

$$T_j^0 = \max_{\forall i \prec j} \{ T_i^0 + t_{ij} \} \quad (1.2.2)$$

Вычисления начинаются с начального события (ранний срок свершения которого приравнивается к нулю) и продолжаются до тех пор, пока не будет достигнуто завершающее событие всей сети.

Задержка свершения любого события не отразится на сроке завершения всего проекта, пока максимальный из последующих за этим событием путей в сумме со сроком свершения не превысит длины критического пути. Поэтому поздний ( $T_j^1$ ) срок свершения  $j$ -го события определяется разностью между длиной критического пути и продолжительностью максимального пути, следующего за данным событием.

Вычисление позднего допустимого срока свершения события производится от завершающего события  $n$  (принимается  $T_n^1 = T_n^0$ ) к начальному с использованием на каждом шаге формулы:

$$T_i^1 = \min_{\forall j \gg i} \{ T_j^1 - t_{ij} \} \quad (1.2.3)$$

Критическим временем выполнения комплекса работ называют раннее время наступления завершающего события  $n$ , очевидно, оно совпадает с длиной критического пути.

Критический путь имеет особое значение в системах сетевого планирования и управления. Действительно, срыв сроков выполнения какой-либо работы критического пути влечет срыв срока выполнения всего комплекса в целом, и, с другой стороны, для сокращения продолжительности проекта необходимо в первую очередь сокращать продолжительность работ, лежащих на критическом пути.

Различают несколько разновидностей резервов времени работ, мы рассмотрим два основных вида: полный резерв и свободный резерв. Полный резерв работы ( $i, j$ ) определяется по формуле:

$$R_{ij}^n = T_j^1 - T_i^0 - t_{ij} . \quad (1.2.4)$$

$R_{ij}^n$  показывает, на сколько можно увеличить время выполнения данной работы при условии, что срок выполнения всего комплекса работ не изменится. Полный резерв критических работ равен 0. Увеличение продолжительности некритической работы за счет использования всего ее полного резерва влечет появление нового критического пути, частью которого является эта работа.

Опоздание начала некритической работы ( $i, j$ ) по сравнению с  $T_i^0$  на всю величину ее полного резерва влечет за собой необходимость начинать все работы, выходящие из события  $j$  в наиболее позднее допустимое время  $T_j^1$  наступления этого события.

Свободный резерв времени  $R_{ij}^c$  работы (i, j) представляет часть полного резерва времени, на которую можно увеличить продолжительность работы, не изменив при этом раннего срока ее конечного события. Этим резервом можно располагать при выполнении данной работы в предположении, что ее начальное и конечное события свершаются в свои самые ранние сроки.

$$R_{ij}^c = T_j^0 - T_i^0 - t_{ij}. \quad (1.2.5)$$

Таким образом, свободный резерв времени может быть использован на увеличение продолжительности данной работы без нарушения резерва времени последующих работ.

При временном расчете параметров сетевых моделей определяются сроки выполнения отдельных работ и выявляются наиболее важные (критические и подкритические) цепочки работ, от которых зависит своевременное окончание проекта (ввод объекта в эксплуатацию). Таким образом, характерной особенностью временного анализа проекта является классификация информации о работах по степени ее важности с точки зрения завершения всего комплекса работ в установленный срок.

Количественной мерой важности работ являются их резервы времени или коэффициенты напряженности:

$$K_{ij}^H = 1 - \frac{R_{ij}^H}{T_n^0 - T^{kp}(i,j)}, \quad (1.2.6)$$

где  $R_{ij}^H$  — полный резерв работы (i,j),  $T_n^0$  — критическое время выполнения проекта,  $T^{kp}(i,j)$  — продолжительность совпадающего с критическим путем отрезка максимального пути, содержащего работу (i,j).  $0 \leq K_{ij}^H \leq 1$ , причем, чем ближе  $K_{ij}^H$  к 1, тем относительно меньше резерва в запасе у работы (i,j), следовательно, выше риск ее невыполнения в заданные сроки. Работы могут обладать одинаковыми полными резервами, но степень напряженности сроков их выполнения может быть различна. И наоборот, различным полным резервам могут соответствовать одинаковые коэффициенты напряженности. Имея информацию, классифицированную подобным образом, руководитель проекта в каждый момент времени может определить, на каком участке следует сосредоточить внимание (и ресурсы) для ликвидации намечающихся отклонений от заданного срока завершения всех работ.

Результатом выполняемых на сетевой модели расчетов временных параметров проекта может являться календарный график (план), где каждая работа поставлена в ранний или поздний срок ее начала. При построении

подобного календарного графика не учитывается наличие ресурсов, хотя одновременное выполнение некоторых работ из-за возможных на практике ограничений, связанных с рабочей силой, оборудованием, материальными и другими видами ресурсов, может оказаться невозможным.

#### *Учет ограничений по ресурсам и оптимизация их использования*

В 2.1 была рассмотрена классическая детерминированная сетевая модель без учета ограниченности ресурсов, т.е. задача наилучшего распределения ресурсов, как таковая, не ставилась.

Задавая временную оценку продолжительности какой-либо работы, предполагалось использование для выполнения этой работы определенных ресурсов с определенной интенсивностью (интенсивность потребления ресурса — это количество ресурса, потребляемое в единицу времени).

Наличный уровень ресурсов и возможные сроки завершения проекта взаимосвязаны. Время завершения всего проекта будет зависеть от того, когда и какое количество ресурсов будет выделено на каждую работу, а это в значительной мере определяется их предполагаемым наличием в каждый момент времени.

Таким образом, процесс производственного планирования сводится к решению задачи об эффективном использовании ресурсов в сетевой постановке.

Критерии эффективности могут быть различны, на этом важном моменте планирования (выборе и обосновании критерия) мы остановимся ниже при рассмотрении конкретных задач.

В силу разного механизма удовлетворения потребности в ресурсах их принято разделять на две группы: накапливаемые (складируемые) и ненакапливаемые (нескладируемые). Вторую группу ресурсов часто называют «ресурсы типа мощности».

Пусть  $r_{ij}^k$  — интенсивность потребления  $k$ -го ресурса на работе  $(i,j)$ . Тогда величину  $v_{ij}^k = r_{ij}^k t_{ij}$  назовем объемом работы. Обозначим  $\varepsilon^k$  — множество работ, потребляющих ресурс  $k$ , а  $\varepsilon_t^k$  — множество работ, потребляющих ресурс  $k$  в момент времени  $t$  ( $\varepsilon^k = \bigcup_{\forall t} \varepsilon_t^k$ ), тогда общая потребность на всю программу в  $k$ -м ресурсе равна

$$V^k = \sum_{(i,j) \in \varepsilon^k} v_{ij}^k = \sum_{(i,j) \in \varepsilon^k} r_{ij}^k t_{ij}.$$

Пусть наличие ресурсов в каждый момент времени задано функцией  $A^k(t)$ . Если наличие ресурсов во времени неизменно, т.е.  $A^k(t) = A^k$ , то вели-

чина  $V^k/A^k$  — определяет минимальное время выполнения программы с точки зрения обеспеченности ресурсами.

Обозначим  $F^k(t) = \sum_{(i,j) \in \varepsilon_t^k} r_{ij}^k$  — потребность в ресурсе  $k$  в момент времени  $t$ .

Исходя из двух возможных целевых установок при управлении проектом, описанным сетевой моделью, возможны два основных типа постановки задач. Первый тип ориентирован на жесткое соблюдение ограничений по ресурсам, тогда как второй тип предполагает строгое выполнение сроков завершения проекта.

*Формулировка первого типа постановки задачи («калибровка»)*

При заданных ограничениях в потреблении ресурсов найти такое их распределение с учетом технологической последовательности ведения работ, определенной топологией сетевой модели, которое обеспечивает завершение всей программы за минимальное время.

Математическая постановка этой задачи имеет вид:

Найти такие сроки свершения событий  $i$  и  $j$ :  $T_i^*$  и  $T_j^*$ , что

$$T_j^* - T_i^* - t_{ij} \geq 0, \text{ для всех работ } (i, j); \quad (1.2.7)$$

$$A^k(t) \geq F^k(t), \text{ для всех } t \text{ и } k; \quad (1.2.8)$$

$$T_n^* \rightarrow \min. \quad (1.2.9)$$

Первое ограничение отображает требование соблюдения технологической последовательности работ.

Второе ограничение учитывает ограниченность ресурсов, т.е. в каждый момент времени потребность в ресурсе не должна превышать его наличия.

$T_n^*$  — срок свершения завершающего события.

Учитывая, что время выполнения программы не может быть меньше критического ( $T_n^0$ ), вычисленного без учета ограниченности ресурсов, то получаем оценку нижней границы времени, искомого в задачах «калибровки»:

$$T \geq \max\{T_n^0, \max_k\{V^k/A^k\}\}. \quad (1.2.10)$$

Аналогичная постановка задачи для накапливаемых ресурсов отличается от предыдущей только видом ограничения (1.2.8), которое принимает вид:

$$\sum_{t=1}^{\tau} A^k(t) \geq \sum_{t=1}^{\tau} F^k(t), \text{ для всех } \tau \text{ и } k; \quad (1.2.11)$$

т.е. суммарная потребность в накапливаемом ресурсе от начала планового периода к любому моменту  $\tau$  не должна превышать суммарного объема поставок этого же вида ресурса за соответствующий период.

*Формулировка второго типа постановки задачи («сглаживание»)*

При соблюдении заданной продолжительности выполнения программы требуется так распределить ресурсы по отдельным работам, чтобы их потребление было оптимальным (в смысле некоторого критерия качества равномерности потребления ресурсов). Вопрос о выборе критерия оптимальности для этой постановки будет нами рассмотрен специально. Оптимальное распределение ресурсов при заданном времени — «сглаживание», является задачей, в некотором смысле обратной к рассмотренной выше. В большинстве случаев в качестве критерия оптимальности принимают меру неравномерности потребления ресурсов. Если  $T$  — заданное время выполнения программы, то  $R^{kcp} = V^k/T$  — среднее потребное количество ресурса  $k$  в единицу времени. В качестве меры неравномерности потребления ресурса могут быть выбраны различные функции, например:

$$\phi_1 = \sum_{\forall t} |F^k(t) - R^{kcp}|, \quad (1.2.12)$$

$$\phi_2 = \sum_{\forall t} (F^k(t) - R^{kcp})^2, \quad (1.2.13)$$

$$\phi_3 = \max_t |F^k(t) - R^{kcp}|, \quad (1.2.14)$$

$$\phi_4 = \max_t F^k(t), \quad (1.2.15)$$

$$\phi_5 = \sum_{\forall t} (F^k(t) - A^k(t))^2, \quad (1.2.16)$$

$$\phi_6 = \sum_{\forall t} (F^k(t) - A^k(t))\xi, \quad (1.2.17)$$

где  $\xi = \begin{cases} \xi_1 & \text{если } (F^k(t) - A^k(t)) > 0, \\ -\xi_2 & \text{если } (F^k(t) - A^k(t)) < 0. \end{cases}$

$\xi_1$  — удельные затраты, связанные с превышением потребности над наличием (для ресурсов типа «мощности» — стоимость сверхурочного времени),  $\xi_2$  — удельные затраты, связанные с избыточным наличием ресурса (для ресурсов типа «мощности» — стоимость простоя исполнителей или оборудования).

Выбор критерия связан со спецификой конкретной системы управления проектом и будет рассмотрен подробнее ниже.

Таким образом, математическая модель задачи «сглаживания» имеет вид:

Найти такие сроки начала и окончания работ  $(i, j)$   $T_i^*$  и  $T_j^*$ , что

$$T_j^* - T_i^* - t_{ij} \geq 0, \text{ для всех работ } (i, j); \quad (1.2.18)$$

$$T_n^* \leq T; \quad (1.2.19)$$

$$\phi_i \rightarrow \min. \quad (1.2.20)$$

Рассматриваемый ниже алгоритм носит эвристический характер, и основная его идея заключается в следующем (для упрощения примем  $k = 1$  и  $A^k(t) = A$ , т.е. ресурс один и его наличие постоянно во времени):

*Процедура 1.* Производится расчет временных параметров сетевой модели и составляется линейная диаграмма, при этом начала работ  $(i, j)$  ставятся в ранние сроки свершения событий  $i$ .

*Процедура 2.* Последовательно (начиная с  $t = 0$ ) проверяем соотношение (1.2.8) модели. Если оно выполняется (ресурса хватает на все работы, попавшие в данный интервал), то переходим к следующему интервалу времени и так до конца, в противном случае — к процедуре 3.

*Процедура 3.* Все работы, на которые в интервале  $\tau$  не хватило ресурса, упорядочиваем в соответствии с  $K_{ij}^H$  (вычисленные по (1.2.6), корректируя при этом полный резерв в (1.2.4) ранее начатых работ на число дней от их начала до  $\tau$ ). Сдвигаем работы по календарной шкале вправо в порядке возрастания  $K_{ij}^H$  (устанавливаем начало на  $\tau+1$  или прерываем работу в интервале  $\tau$ , если разрыв возможен), пока суммарная потребность в ресурсе оставшихся в данном интервале работ не придет в соответствие с его наличием. После этого производим пересчет временных параметров работ, расположенных в правой от  $\tau$  части линейной диаграммы, возвращаемся к процедуре 2, и процесс решения продолжается с интервала  $\tau+1$ .

Подробные описания этого алгоритма в литературе по календарному планированию на основе классических сетевых моделей приведены в [9], здесь мы приводим лишь принципиальную схему его работы и, далее, иллюстрируем его применение на примере, в связи с тем, что он положен в основу алгоритма, входящего в состав описанных далее средств оптимизации решений на основе циклических альтернативных сетевых моделей. Это замечание относится и ко всем другим алгоритмам, проанализированным в настоящей главе.

**Пример.** Имеется сетевая модель (рис.1.2.1).

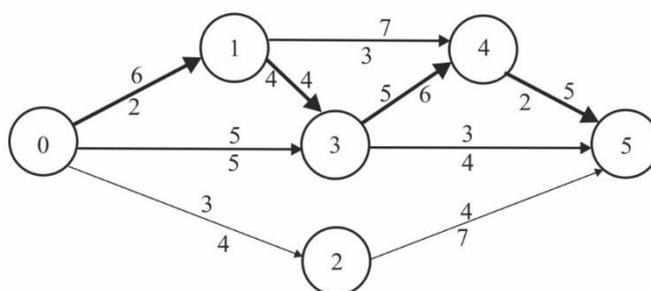


Рис.1.2.1. Пример детерминированной сетевой модели

Цифра под стрелкой означает временную оценку ( $t_{ij}$ ), цифра над стрелкой задает объем необходимого ресурса в единицу времени ( $r_{ij}$ ). Пусть  $A^k(t)=A=12$ .

Найдем суммарную трудоемкость всех работ:

$V = \sum v_{ij} = \sum r_{ij}t_{ij} = 6*2+5*5+3*4+7*4+4*4+5*6+5*2+3*4+4*7 = 173$ , откуда получаем оценку для  $T$ :  $T \geq \max\{T_n^0, V/A\} = \max\{14, 173/12\} = 15$ .

Применяя описанный выше алгоритм, получим время выполнения проекта  $T = 17$ . Окончательный результат представлен на рис. 1.2.2-1.2.3. Как мы видим, совсем без резервов остались работы (1,4) и (4,5), у остальных работ, даже работ бывшего критического пути, появились резервы времени.

Алгоритм решения задачи «калибровка» для накапливаемых ресурсов в принципе проще предыдущего и здесь не приводится.

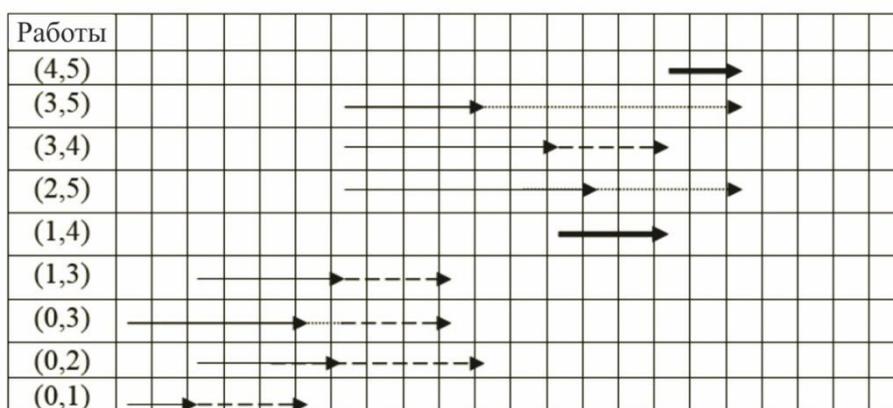


Рис.1.2.2. Откорректированный график выполнения работ

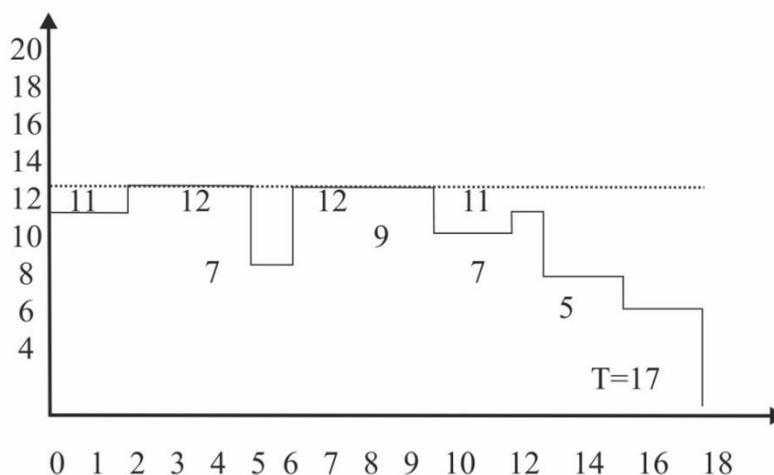


Рис. 1.2.3. Откорректированная эпюра потребности в ресурсе

Рассмотрим идею алгоритма минимизации максимального потребления ресурса (критерий ф4 (1.2.15), см. процедуру «уплотнения» в [9]).

*Процедура 1.* Расчет временных параметров сетевой модели и составление линейной диаграммы по ранним срокам. Построение эпюры потребности в ресурсе. Вычисление уровня  $F = \max_t F^k(t)$ .

*Процедура 2.* Понижаем уровень  $F$  на 1. В интервалах времени, где наблюдается превышение потребности над уровнем  $F$ , пытаемся сдвинуть работы в пределах их резервов. Работы для сдвига выбираем в порядке возрастания коэффициентов напряженности.

Если подобным образом удалось ликвидировать все превышения над уровнем  $F$ , повторяем процедуру 2 сначала, иначе — стоп, получен оптимальный план.

Оптимизация сетевого графика методом «время– стоимость».

Обозначим  $a_{ij}$  — минимально возможное время выполнения работы  $(i,j)$ , которому соответствуют затраты  $c_{ij}^a$ ;  $b_{ij}$  — максимально возможное время выполнения работы  $(i,j)$ , которому соответствуют затраты  $c_{ij}^b$ . Предполагается, что ускорение работы связано с дополнительными затратами (на привлечение дополнительной рабочей силы и оборудования, сверхурочные доплаты и т.п.). Имеем:

$$\begin{aligned} a_{ij} &\leq t_{ij} \leq b_{ij}, \\ c_{ij}^b &\leq c_{ij} \leq c_{ij}^a; \end{aligned} \quad (1.2.21)$$

$c_{ij}$  — затраты, соответствующие времени выполнения  $t_{ij}$ .

Пусть зависимость затрат от времени выполнения линейная, т.е.  $c_{ij} = z_{ij} - y_{ij}t_{ij}$ , откуда, используя (1.2.21), получаем выражение для коэффициента пропорциональности

$$y_{ij} = (c_{ij}^a - c_{ij}^b)/(b_{ij} - a_{ij}) = \Delta c_{ij}/\Delta t. \quad (1.2.22)$$

Таким образом,  $y_{ij}$  характеризует затраты, связанные с сокращением продолжительности работы  $(i,j)$  на единицу времени.

Будем называть  $y_{ij}$  — «ценой» сокращения работы  $(i,j)$  на единицу времени.

Если на всех работах принять  $t_{ij} = a_{ij}$ , то будет получено наименьшее критическое время  $T_{\min}^{kp}$ . Этому времени соответствуют наибольшие затраты, равные  $C^a = \sum_{\forall(i,j)} c_{ij}^a$ ;

Если на всех работах принять  $t_{ij} = b_{ij}$ , то мы получим сетевой график, которому соответствуют наименьшие затраты, равные  $C^b = \sum_{\forall(i,j)} c_{ij}^b$ , и наибольшее критическое время  $T_{\max}^{kp}$ .

При наименьшем критическом времени  $T_{\min}^{\text{кр}}$  можно уменьшить затраты, если «удлинить» не критические работы за счет их резервов времени. Ведь увеличение  $t_{ij}$  на единицу снижает ее стоимость на  $y_{ij}$ . Обозначим эти затраты через  $C^d$ , тогда можем утверждать, что для  $T = T_{\min}^{\text{кр}}$  минимальная стоимость равна  $C^d$ , и, в общем случае, для любого  $T \in [T_{\min}^{\text{кр}}, T_{\max}^{\text{кр}}]$  существует план с минимальными затратами  $C(T)$ . График функции  $C(T)$  приведен на рис. 1.2.4. Имея график зависимости стоимости проекта от продолжительности его выполнения можно, с одной стороны, определять минимальную стоимость проекта при любом возможном сроке его выполнения, а с другой стороны, находить минимальную продолжительность выполнения проекта при заданной его стоимости. С помощью функции  $C(T)$  можно также оценить дополнительные затраты, связанные с сокращением сроков завершения проекта.

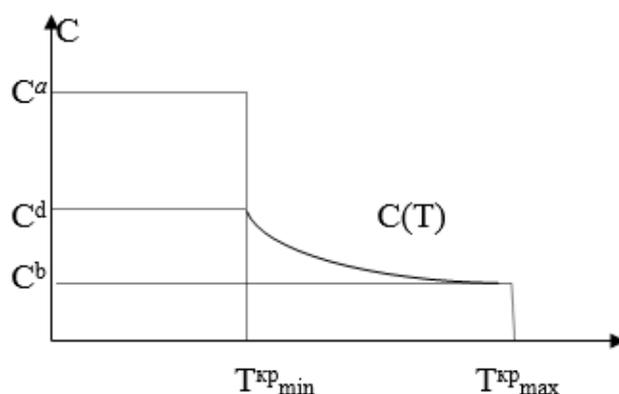


Рис. 1.2.4. Затраты и продолжительность работ

Если затраты линейно зависят от продолжительности работ, то нахождение  $C(T)$  можно свести к решению задачи линейного программирования вида:

Найти такие продолжительности работ  $t_{ij}$ , что

$$T_j - T_i - t_{ij} \geq 0, \text{ для всех работ } (i, j); \quad (1.2.23)$$

$$a_{ij} \leq t_{ij} \leq b_{ij}, \quad (1.2.24)$$

$$T_n^0 \leq T, \quad (1.2.25)$$

$$C(T) = \sum_{\forall(i,j)} c_{ij} = \sum_{\forall(i,j)} (z_{ij} - y_{ij}t_{ij}) \rightarrow \min, \quad (1.2.26)$$

что эквивалентно

$$\sum_{\forall(i,j)} y_{ij}t_{ij} \rightarrow \max. \quad (1.2.27)$$

Эта задача решается методом Келли на основе теоремы о минимальном разрезе и максимальном потоке [18].

Мы рассматривали зависимости между затратами и временем выполнения работы, имея в виду лишь прямые затраты, поскольку выявить из-

менение косвенных (накладных) расходов от изменения продолжительности отдельной работы весьма затруднительно.

Косвенные затраты существенно зависят от времени завершения всей программы в целом, причем известно, что с увеличением срока выполнения проекта косвенные затраты возрастают.

В предположении линейной зависимости косвенных затрат от срока завершения проекта (что отображено на рис. 1.2.5 прямой LN) оптимальному плану (с учетом прямых и косвенных затрат) будет соответствовать точка М.



Рис. 1.2.5. Косвенные затраты и продолжительность проекта

С помощью вышерассмотренной модели «затраты — время» можно решить иную по сути, но аналогичную по математической постановке задачу минимизации общего числа исполнителей, необходимых при выполнении проекта при заданном сроке его окончания.

Будем трактовать  $c_{ij}^a$  как количество исполнителей, необходимое для выполнения работы (i, j) в минимально возможное время  $a_{ij}$ ; соответственно  $c_{ij}^b$  — количество исполнителей, необходимое для выполнения работы (i, j) в максимально возможное время  $b_{ij}$ .

Имеем аналогичные (1.2.21) соотношения

$$\begin{aligned} a_{ij} &\leq t_{ij} \leq b_{ij}, \\ c_{ij}^b &\leq c_{ij} \leq c_{ij}^a, \end{aligned}$$

где  $c_{ij}$  — количество исполнителей, соответствующее времени выполнения  $t_{ij}$ .

В рассматриваемой задаче «цена» сокращения  $u_{ij}$  вычисляется также по формуле (1.2.22) и показывает, сколько исполнителей надо добавить, чтобы сократить время выполнения работы на единицу времени.

Расчеты детерминированной сетевой модели отличаются простотой, но в то же время дают весьма важную информацию для календарного планирования сложных проектов. Вследствие этого классические сетевые мето-

ды пользуются большой популярностью на практике. Эффективность этих методов обеспечивается благодаря наличию широкого спектра программных средств на ЭВМ, позволяющих строить, анализировать и корректировать сетевые модели проектов.

*Многопроектные задачи детерминированного сетевого планирования с учетом ограниченности ресурсов и сроков*

Выше мы рассматривали задачи календарного планирования для одного проекта, тогда как крупная организация может одновременно выполнять несколько проектов, располагая единым резервуаром ресурсов. При этом возникают задачи оптимальной очередности проектов, когда их последовательность не ограничена или частично ограничена.

В общем виде задача оптимальной очередности проектов формулируется следующим образом. Требуется найти такую последовательность выполнения проектов, которой соответствует непротиворечивый календарный план, доставляющий экстремум целевой функции при соблюдении заданных ограничений.

В зависимости от вида целевой функции и ограничений задача очередности может иметь различные постановки, учитывающие специфику конкретных условий проектной организации.

Например, для строительной организации в качестве критериев оптимальности для многопроектных задач используют минимум общей продолжительности строительства комплекса объектов, его пусковых очередей или этапов работ; минимум простоев бригад и механизмов или перерывов работ на объектах; минимум отклонений расчетных сроков выполнения работ от директивных и др.

Ограничения в многопроектных задачах сетевого планирования формулируются как требования к использованию общего резервуара накапливаемых и ненакапливаемых ресурсов, соблюдение заданных сроков или продолжительности выполнения отдельных проектов или их групп, соблюдение объемов незавершенного производства выделенным объемам инвестиций. Таким образом, при формировании математической модели задачи оптимальной очередности проектов могут быть применены следующие критерии:  $f = f_1 + f_2 \omega \rightarrow \min$ , где  $\omega$  — коэффициент взвешивания цели;  $\omega$  предполагается существенно меньшим единицы.

Первое слагаемое целевой функции  $f_1$  определяет меру соответствия полученных при временном расчете сроков ввода объектов директивным срокам для объектов  $z \in M_1$  — подлежащих вводу в планируемый период.

Второе слагаемое  $f_2$  определяет меру соответствия выполнения объемов работ по задельным объектам  $z \in M_2$  согласно выделенным ассигнованиям.

При достаточно малом значении взвешивающего коэффициента  $\omega$  ( $\omega \ll 1$ ) влияние второго слагаемого целевой функции на расписание работ по объектам  $z \in M_1$  неощутимо, что соответствует принципу концентрации ресурсов на сдаточных объектах.

Второе слагаемое вводится в выражение целевой функции для определения приоритетности работ по задельным объектам при включении их в расписание.

Пусть  $T_z^*$  — расчетный срок ввода объекта  $z$ ,  $T_z^{\text{дир}}$  — директивный срок, тогда мера соответствия расчетных сроков ввода объектов директивным может быть выражена с помощью следующих функций:

$$f_1 = \sum_{z \in M_1} [T_z^* - T_z^{\text{дир}}], \quad (1.2.28)$$

$$f_1 = \sum_{z \in M_1} [T_z^* - T_z^{\text{дир}}]^2, \quad (1.2.29)$$

$$f_1 = \sum_{z \in M_1} |T_z^* - T_z^{\text{дир}}|, \quad (1.2.30)$$

$$f_1 = \sum_{z \in M_{11}} [T_z^* - T_z^{\text{дир}}], \quad (1.2.31)$$

где  $M_{11} \subset M_1$  — множество объектов, для которых получено  $T_z^* > T_z^{\text{дир}}$ ,

$$f_1 = \sum_{z \in M_1} [T_z^* - T_z^{\text{дир}}] \xi^z, \quad (1.2.32)$$

где  $\xi^z = \begin{cases} \xi_1^z & \text{для } z \in M_{11}, \\ \xi_2^z & \text{для } z \in M_{12}, \end{cases}$

( $M_{12} \subset M_1$  — множество объектов, для которых получено  $T_z^* < T_z^{\text{дир}}$ ),

$$f_1 = \max_{z \in M_1} [T_z^* - T_z^{\text{дир}}]. \quad (1.2.33)$$

Коэффициенты  $\xi_1^z$ ,  $\xi_2^z$  характеризуют соответственно потери или прибыль от задержки или досрочного ввода объекта в эксплуатацию.

В случае критерия (1.2.28) оптимальный план, которому соответствует минимальная алгебраическая сумма отклонений, допускает форсирование строительства одних объектов за счет других.

Критерий (1.2.29) является одной из лучших мер равномерности. Однако, использование этой функции не всегда целесообразно, так как она в равной мере оценивает как досрочный ввод, так и превышение директивного срока, что не всегда соответствует действительности.

Все, сказанное относительно (1.2.29), справедливо и для (1.2.30), причем при сложении абсолютных значений отклонений двухмесячное отклонение по одному объекту эквивалентно месячным отклонениям по двум объектам, что еще менее адекватно требованиям строительного производства.

Функции (1.2.31) присущи те же недостатки, что и (1.2.30), но в существенно меньшей степени, что определяет допустимость использования такого критерия для решения практических задач.

Функция (1.2.32) наилучшим образом отвечает специфике строительного производства. Однако, использование критерия такого вида предполагает обоснованное определение для каждого объекта коэффициентов  $\xi_1^z, \xi_2^z$ .

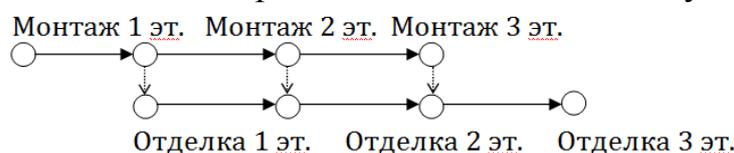
Функция (1.2.33) достаточно хорошо характеризует степень достижения основных целей строительной организации. И хотя экономическое «содержание» этой функции беднее, чем у (1.2.32), сравнительная простота алгоритмов решения задач на минимум максимального превышения расчетных сроков над директивными предопределяет ее выбор для практического использования.

Функция  $f_2$  может принимать выражения, аналогичные (1.2.28) — (1.2.33), где множество  $M_1$  заменено на  $M_2$ ,  $T_z^*$  — на  $T_z^{**}$  ( $T_z^{**}$  срок завершения фрагмента сети, состоящей из работ объекта  $z$ , упорядоченных по возрастанию поздних сроков их начала, суммарная сметная стоимость которых равна выделенным ассигнованиям на данный объект),  $T_z^{дир}$  на  $T^{пл}$ . В силу принятых обозначений условие выполнения заданного объема работ в стоимостном выражении по объекту  $z \in M_2$  в течение планируемого периода может быть представлено как  $T_z^{**} \leq T^{пл}$ .

## 2.2. Обобщенные сетевые модели

Рассмотренные выше детерминированные сетевые модели обладают рядом недостатков: они предполагают строгое предшествование работ, поэтому в таких сетевых моделях адекватно можно отобразить только независимо или последовательно выполняемые работы. Другие схемы выполнения работ (например, обязательно параллельное или частично совмещенное их выполнение) не поддаются точному описанию. Чтобы отобразить подобные ситуации в традиционных сетевых моделях, прибегают к раздроблению работ. Например, работу «монтаж коробки здания» разбивают на работы «монтаж 1-го этажа», «монтаж 2-го этажа» и т.д., работу «отделка здания» на «отделку 1-го этажа», «отделку 2-го этажа» и т.д.

Фрагмент сетевой модели представляется тогда в следующем виде:



Такой прием усложняет построение модели, увеличивает число работ сети, делает модель менее гибкой по отношению, например, к последовательности раздробленных работ или к изменению их продолжительностей. Кроме того, не исключено появление календарного плана, при котором работа «отделка здания» ведется с перерывами, что может быть неприемлемым в связи с требованием использования какого-либо ресурса (бригады, механизма) без простоя.

Традиционные сетевые модели, отражая одновариантную технологию и организацию работ, обладают низкой «устойчивостью» по отношению к изменениям, происходящим в объекте моделирования в процессе его функционирования, т.к. даже незначительные изменения в технологии выполнения работ требуют внесения существенных изменений в топологию сети.

Обобщенные сетевые модели (ОСМ), разработанные В.И.Воропаевым в конце 60-х годов, лишены перечисленных выше недостатков.

Основные отличия обобщенных сетевых моделей от традиционных заключаются в следующем:

- вводится возможность задавать соотношения на сроки свершения событий не только «не ранее», но и «не позднее»;
- события (вершины) в ОСМ соответствуют факту начала или окончания работы (или ее части), а не возможности начала исходящих из них работ, как это принято в традиционных сетях;
- вводятся дуги отрицательной длины;
- разрешается наличие циклов (правда, для обеспечения непротиворечивости модели, только отрицательной длины);
- можно задавать «абсолютные» ограничения на сроки свершения любых событий.

Обобщенная сетевая модель представляет собой ориентированный граф  $G = (\Omega, A)$ , который описывается системой неравенств:

$$T_j \geq T_i + \psi_{ij} \quad (1.2.34)$$

для любой дуги графа и

$$l_i \leq T_i \leq L_i, \quad (1.2.35)$$

где  $T = \{T_i\}$  – искомые сроки свершения событий,  $\psi_{ij}$  — произвольные действительные числа,  $l_i$  и  $L_i$  — «абсолютные ограничения» (на тех событиях, где они не заданы, принимается  $l_i = -\infty$ ,  $L_i = +\infty$ ).

Как и в детерминированных сетевых моделях  $\Omega$  есть множество вершин (событий), а матрица смежности  $A$  содержит только булевы значения (0 или 1).

Если событие  $i$  определяет момент начала работы  $(i, j)$ , а событие  $j$  момент ее окончания, то неравенство (1.2.34) при положительном значении  $\psi_{ij}$  совпадает по смыслу с аналогичным неравенством в традиционных сетях (1.2.1), причем  $\psi_{ij}$  равно минимальной продолжительности этой работы  $t_{ij}^{\min}$ . Максимальную продолжительность работы  $(i, j)$  задают с помощью отрицательного параметра  $\psi_{ji}$ , равного  $(-t_{ij}^{\max})$ . Требование непрерывности выполнения работы  $(i, j)$  реализуется заданием параметров  $\psi_{ij} = -\psi_{ji}$ .

Если события  $i$  и  $j$  принадлежат разным работам и связаны дугой  $(i, j)$ , то она интерпретируется как технологическая зависимость:

- при положительном значении  $\psi_{ij}$  событие  $j$  может свершиться не ранее чем через  $\psi_{ij}$  единиц времени после свершения события  $i$ ;
- при отрицательном  $\psi_{ij}$  событие  $i$  должно наступить не позднее чем через  $|\psi_{ij}|$  единиц времени после свершения события  $j$  (такие дуги называются «обратными»).

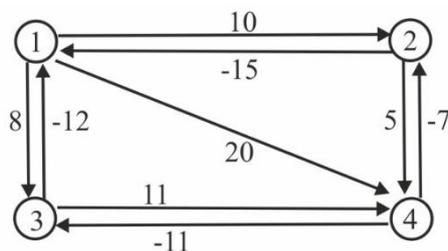


Рис. 1.2.6. Обобщенные сетевые модели (фрагмент)

На приведенном фрагменте обобщенной сетевой модели (рис.1.2.6) заданы две работы  $(1, 2)$  и  $(3, 4)$ , причем продолжительности работ удовлетворяют требованиям:  $10 \leq t_{1,2} \leq 15$  и  $t_{3,4} = 11$  (работа  $(3, 4)$  должна выполняться без перерыва). Начинать работу  $(3,4)$  можно не ранее чем через 8 дней, но и не позднее чем через 12 после начала работы  $(1, 2)$ . Закончена работа  $(3, 4)$  должна быть не ранее чем через 5 дней и не позднее чем через 7 после окончания работы  $(1, 2)$ , кроме того окончание работы  $(3, 4)$  технологически связано с началом работы  $(1, 2)$  — между этими событиями должно пройти не менее 20 дней.

Как мы видим даже на этом маленьком примере, обобщенные сетевые модели способны обеспечивать более адекватное моделирование техноло-

гических процессов при управлении проектами, чем традиционные сетевые модели.

Особенно большое значение такие модели приобретают при решении задач оптимизации планов по различным критериям, связанным с использованием ресурсов и соблюдением специальных технологических и организационных требований. К таким требованиям относится, например, условие непрерывности выполнения работ исполнителями на одном или разных проектах, непрерывность или ограничение перерывов между работами, ограничение сроков выполнения некоторых комплексов работ и т.п.

Эти требования также реализуются заданием соотношений типа (1.2.34)–(1.2.35) для соответствующих событий сети.

### *Методы расчета параметров обобщенных сетевых моделей*

Обобщенные сетевые модели позволяют без существенных изменений использовать основные понятия традиционного сетевого моделирования, такие как ранние и поздние сроки, резервы времени, критический путь и др. Вычисление этих параметров производится с помощью некоторым образом модифицированных алгоритмов, рассмотренных нами выше для традиционных сетей.

Принципиальное отличие расчета ОСМ от традиционных сетей связано с наличием в ОСМ контуров. Прежде всего, доказывается теорема, утверждающая, что для того, чтобы обобщенная сетевая модель была технологически непротиворечивой (т.е. существовал хотя бы один допустимый план), необходимо и достаточно, чтобы сеть с условиями (1.2.34)–(1.2.35) не имела контуров положительной длины [3].

Модификация алгоритма Форда для расчета временных характеристик ОСМ получила название алгоритма «Маятник» и основана на разбиении сети  $G$  на две сети  $G_1$ ,  $G_2$  без контуров и упорядочении вершин выделенных подсетей [4].

Идея алгоритма «Маятник» для расчета плана ранних сроков состоит в том, что на первом этапе расчета находят значения  $T_j^0 = \max_{i \ll j} \{T_i^0 - \psi_{ij}\}$ , двигаясь по дугам сети  $G_1$ . Возвращаются «назад» по дугам сети  $G_2$  и корректируют полученные раннее значения. Вычисления идут до тех пор, пока результаты какого-либо этапа не совпадут с результатами предыдущего этапа. При этом число этапов не менее двух и не более, чем общее число дуг в сети  $G_2$ . Аналогичная идея лежит и в методе расчета плана поздних сроков  $T_j^1$ . Важная особенность ОСМ заключается в том, что оп-

ределяются (и используются при дальнейшей оптимизации планов) резервы времени событий, а не работ, как в традиционных сетях, т.к. события в ОСМ соответствуют началам и окончаниям работ, поэтому вычисление временных параметров событий соответственно определяет временные параметры работ.

Полные резервы времени событий определяются по формуле

$$R_i = T_i^1 - T_i^0, \quad (1.2.36)$$

а частные по формуле

$$r_i = \min_k (T_k^0 - \psi_{ik}) - T_i^0. \quad (1.2.37)$$

Справедливо соотношение  $R_i \geq r_i \geq 0$ .

Таким образом, различные состояния обобщенной работы могут иметь разные резервы времени, минимальный из которых показывает, на сколько можно отложить выполнение данной работы, не меняя продолжительности ее частей. Разность между резервами «смежных» событий одной работы показывает, насколько можно сократить (или увеличить, в зависимости от знака этой разницы) продолжительность выполнения данной части работы.

*Алгоритм решения задачи распределения ограниченных ресурсов  
при минимизации времени выполнения проекта  
(описанного обобщенной сетевой моделью)*

Алгоритм «калибровка», используемый для решения аналогичной задачи при традиционном сетевом описании проекта, не применим к ОСМ, поэтому был разработан эвристический алгоритм, который учитывает особенности ОСМ [3]. Специфика ОСМ, связанная с наличием контуров, не позволяет произвольно растягивать план, поэтому принципиальным отличием этого алгоритма от традиционной «калибровки» является разделение фронта работ  $\Phi$ , подлежащих включению в план в рассматриваемое время  $t_{\text{тек}}$ , на так называемые «обязательные» и «необязательные» работы. Для «обязательных» работ выполняется условие

$$\min\{T_i^{n3}, T_i^{n2}\} = t_{\text{тек}} \quad (1.2.38)$$

где параметр  $T_i^{n3}$  есть поздний срок начала работы (i,j) с учетом уже включенных в план работ, т.е. он учитывает влияние «обратных» зависимостей ОСМ. Параметр  $T_i^{n2} = T_i^1 + \Delta\mu$ , где  $\Delta\mu$  есть величина разрешенной задержки, на которую можно отложить выполнение работ проекта  $\mu$  по сравнению с его поздним сроком.

«Необязательные» работы упорядочиваются в порядке возрастания  $\min\{T_i^{n3}, T_i^1\}$ , что также связано с обеспечением требования минимизации

сроков выполнения работ. Кроме того, обеспечивается возможность задания приоритетов работ по желанию пользователя. Затем выполняются процедуры назначения ресурсов, проверки допустимости, пересчет временных характеристик, подобные описанным выше, при этом учитывается обобщенный характер сетевой модели, т.е. возможность наличия в ОСМ «обратных» зависимостей, идущих от не включенных в расписание работ к включенным, которые нельзя сдвигать.

*Задача минимизации показателя качества потребления ресурсов  
при заданном времени выполнения проекта*

Задана ОСМ, которая описана системой неравенств (1.2.34)–(1.2.35). Для каждой работы  $(i, j)$  с продолжительностью  $t_{ij}$  задано количество  $v_{ij}^k$  потребления используемых ею нескладируемых ресурсов вида  $k$ , и пусть  $V^k(t) = \sum v_{ij}^k / t_{ij}$ , где суммирование ведется по всем работам  $(i, j)$ , выполняемым в момент времени  $t$ . Предполагается, что работы выполняются без перерывов с постоянной интенсивностью. Пусть  $R^k(t)$  — желаемая величина потребления  $k$ -го вида ресурса в момент времени  $t \in [T^H, T^O]$ . Она может быть равна величине наличных ресурсов или величине среднего за период  $[T^H, T^O]$  количества потребления ресурсов

$$V_{cp}^k = \sum_{t \in [T^H, T^O]} V^k(t) / (T^O - T^H). \quad (1.2.39)$$

Требуется найти такой допустимый план, чтобы отклонение потребляемых ресурсов  $V^k(t)$  от желаемой величины  $R^k(t)$  было минимальным.

В качестве критерия неравномерности отклонения  $V^k(t)$  от  $R^k(t)$  наиболее часто используются следующие критерии:

$$f_1(T^*) = \min_{T^* \in T} \sum_k \lambda_k \max_{t \in [T^H, T^O]} |V^k(t) - R^k(t)|, \quad (1.2.40)$$

где  $\lambda_k$  — весовой коэффициент, характеризующий важность  $k$ -го вида ресурса, или

$$f_2(T^*) = \min_{T^* \in T} \sum_{t \in [T^H, T^O]} \sum_k \lambda_k (V^k(t) - R^k(t))^2. \quad (1.2.41)$$

Для решения сформулированных задач разработаны ряд алгоритмов типа «Сглаживание» [7], суть которых заключается в сочетании метода статистических испытаний и метода локального спуска. Сначала с помощью датчика случайных чисел «разыгрывается» некоторое количество вариантов плана  $T_s^0 \in T$ . В каждом варианте плана времена начал работ  $(i, j)$  должны находиться в интервале  $[T_i^0, T_i^1]$ . Для каждой работы генерируется равномерно распределенная на отрезке  $[0, 1]$  случайная величина  $\xi$ .

Затем вычисляется возможная координата начала этой работы по формуле  $T_i^H = T_i^0 + \xi(T_i^1 - T_i^0)$ , которая добавляется к абсолютным ограниче-

ниям системы 1.2.34–1.2.35, после чего производится пересчет временных параметров ОСМ с учетом дополнительных абсолютных ограничений алгоритмом «Маятник». Полученный  $s$ -й случайный план является допустимым по построению, затем он улучшается методом локального спуска, т.е. находится вектор  $T_s^1$  такой, что  $f(T_s^1) < f(T_s^0)$ , где  $f$  — значение выбранного критерия.

Локальный спуск при каждой критерии имеет свою специфику, так, для случая минимизации максимума отклонения ( $f_1$ ) находится момент времени  $t^{\text{пик}}$ , в котором функционал  $f_1$  принимает максимальное значение. Множество работ, стоящих в расписании во время  $t^{\text{пик}}$ , упорядочивают по приоритетам, причем в качестве приоритетов могут по желанию пользователя выступать:

- величина полных или частных резервов времени работы;
- интенсивность потребления работой различных видов ресурсов;
- величина, обратно пропорциональная числу работ, связанных с данной работой и т.п.

Последовательно в порядке убывания приоритетов работы сдвигаются с момента времени  $t^{\text{пик}}$  влево или вправо, если резерв времени позволяет это сделать, при этом пересчитывается значение функционала  $f_1$ , и данная процедура выполняется до тех пор, пока происходит уменьшение  $f_1$ .

После нахождения локального оптимума  $T_s^1$  опять возвращаются к первому этапу, т.е. моделируется методом статистических испытаний новый вектор плана  $T_{s+1}^0$  ( $s+1$  шаг), из которого ищется новый локальный оптимум  $T_{s+1}^1$ . Полученное таким итеративным способом решение и представляет собой близкий к глобальному оптимуму план.

В случае минимизации среднеквадратического отклонения (критерий  $f_2$ ) поиск локального оптимума производится пошаговым единичным сдвигом влево и вправо каждой работы. Очередь работ при этом либо соответствует порядковому номеру работы, либо представляет случайную последовательность.

Высокая степень гибкости и устойчивости обобщенных сетевых моделей при практически том же порядке трудоемкости подготовки исходных данных по сравнению с традиционными сетевыми моделями позволяет использовать их в качестве основы для развития и широкого внедрения методов моделирования и оптимизации в системах управления проектом различного назначения.

### 2.3. Вероятностные сетевые модели

Выше рассматривались постановки задач календарного планирования, не учитывающие вероятностный характер процесса проектирования. Однако во многих случаях при планировании и управлении созданием нового проекта продолжительность работ сетевого графика является случайной величиной, подчиненной некоторому закону распределения. Что касается параметров распределения, то последние задаются для каждой работы их ответственными исполнителями на основе либо нормативных данных, либо априорных соображений, либо своего производственного опыта.

В первых вероятностных сетевых моделях (PERT) для каждой работы задавались три оценки продолжительности выполнения:

- наиболее вероятное время выполнения  $m$ ;
- оптимистическая оценка времени  $a$ ;
- пессимистическая оценка времени  $b$ .

Наиболее вероятное время определяется как время выполнения работы при нормальных условиях. Оптимистическая и пессимистическая оценки задают размах колебаний продолжительности работы под влиянием неопределенности.

Вероятностная сетевая модель типа PERT предполагает, что продолжительность любой работы  $t$  есть случайная величина, распределенная по закону бета-распределения на отрезке  $[a, b]$  с плотностью

$$\varphi(t) = C(t - a)^{p-1}(b - t)^{q-1}. \quad (1.2.42)$$

Ожидаемая продолжительность работы приближенно определяется как  $\mu = (a + 4m + b)/6$ . Среднеквадратическое отклонение от среднего значения  $\sigma = (b - a)/6$ .

#### *Вероятностные методы, применяемые в системе PERT*

В системе PERT с помощью заданных пользователем трех оценок продолжительности всех работ по вышеприведенным формулам вычисляется средняя продолжительность  $\mu$  и ее дисперсия  $\sigma^2$ . Рассматривая среднее значение как фактическую (детерминированную) продолжительность работы, определяют все временные характеристики сети (и критический путь). При этом продолжительность всего проекта определяется как случайная величина, математическое ожидание которой есть сумма средних продолжительностей работ, находящихся на критическом пути, а дисперсия, аналогично, равна сумме всех дисперсий, при допущении, что продолжительности всех работ независимы.

В общем случае ожидаемое время  $Mt(i)=M(i)$  свершения любого  $i$ -го события определяется как сумма математических ожиданий времени выполнения работ, лежащих на максимальном пути  $L$  между исходным ( $0=i_0$ ) и  $i$ -м событиями:

$$M(i) = \sum_{v=1}^n Mt(i_{v-1}, i_v), \quad (1.2.43)$$

если  $L = i_0 \rightarrow i_1 \rightarrow i_2 \rightarrow \dots \rightarrow i_n = i$  и  $Mt(L) \geq Mt(L')$ , где  $L'$  любой другой путь между  $0$  и  $i$ -м событиями. Аналогично определяется и дисперсия времени свершения  $i$ -го события:

$$D(i) = \sigma^2(i) = Dt(L) = \sum_{v=1}^n Dt(i_{v-1}, i_v). \quad (1.2.44)$$

Предполагая выполненными условия центральной предельной теоремы, закон распределения времени окончания проекта (в общем случае, любого события  $i$ ), можно считать близким к нормальному, вследствие чего допустимо использовать интегральную формулу Муавра-Лапласа. Таким образом, оценка  $p_i$  вероятности свершения  $i$ -го события в запланированный срок  $t^{пл}(i)$  вычисляется по формуле:

$$P\{t(i) \leq t^{пл}(i)\} = (1/2)\{\Phi[(t^{пл}(i) - M(i)) / \sigma(i)] + 1\}, \quad (1.2.45)$$

где  $\Phi$  — функция Лапласа (таблица ее значений приведена во всех справочниках по теории вероятности).

Вероятность отсутствия резерва времени для момента окончания работы  $(i, j)$  оценивается по формуле:

$$P_1(j) = 1 - \Phi[(T_j^1 - T_j^0) / \sigma(j)]. \quad (1.2.46)$$

#### *Двухоценочная методика*

После анализа большого количества сетевых проектов был построен закон распределения продолжительности выполнения работ с плотностью, зависящей лишь от двух параметров [7]:

$$p(x) = [12 / (b - a)^4] (x - a)(b - x)^2.$$

Это распределение относится к классу бета-распределений и имеет следующие параметры:

- математическое ожидание  $M(x) = (3a + 2b)/5$ ; (1.2.47)
- моду  $m = (2a + b)/3$ ;
- дисперсию  $D(x) = \sigma^2(x) = 0.04(b - a)^2$ .

Методика оценки параметров распределения на основании двух задаваемых временных оценок отличается рядом преимуществ по сравнению с трехоценочной методикой системы PERT, прежде всего, за счет уменьшения объема информации, который требуется от исполнителя работы. Эту методику можно с одинаковым успехом применять как при расчете детер-

минированных (или близких к ним) сетей, так и при моделировании стохастических сетевых проектов.

К недостатку двухоценочной методики следует отнести тот гипотетический факт, что при отказе от использования наиболее вероятной оценки  $m$  для некоторых видов работ может деформироваться закон распределения продолжительности этих работ в сторону большего отклонения от действительного. Однако статистический анализ, проведенный в [7], показал несущественность подобных расхождений. Причем производилось сравнение двух эмпирических совокупностей, полученных по двух и трехоценочной методикам с помощью критерия Вилькоксона, а также с эмпирическим распределением реальных продолжительностей работ на основе статистических критериев согласия Пирсона и Колмогорова.

Изложенная выше двух и трехоценочная методика расчета временных параметров вероятностных сетевых моделей обладает рядом недостатков и может быть применима для достаточно узкого класса сетевых моделей, что подробно проанализировано в [14].

#### *Аналитические методы оценки вероятностных параметров проекта*

В работе [17] описаны аналитические методы уточнения оценки математического ожидания самых ранних сроков свершения событий, входящих в сетевую модель. Суть предлагаемых методов заключается в следующем. Ищется нижняя оценка  $\eta_i$  математического ожидания  $\mu_i$  самого раннего срока свершения события  $i$ , удовлетворяющая соотношению  $g_i \leq \eta_i \leq \mu_i$ , где  $g_i$  — оценка для  $\mu_i$ , полученная по методике PERT.

Если обозначить через  $B_i$  — совокупность работ, непосредственно предшествующих событию  $i$ ,  $t_{B_i}$  — случайный вектор длительностей этих работ с совместным распределением  $p(t_{B_i})$ ,  $A_i$  — совокупность номеров событий, непосредственно предшествующих событию  $i$  (при топологически упорядоченной сетевой модели), то, полагая  $\eta_1 = 0$ , для  $i=2,3,\dots,n$   $\eta_i$  вычисляются по рекуррентной формуле

$$\eta_i = \sum_{\forall B_i} p(t_{B_i}) \max_{\forall j \in A_i} \{ \eta_j + t_{ji} \}. \quad (1.2.48)$$

Оценки, полученные по формуле (1.2.48), на 15–20% имеют меньшую систематическую погрешность, нежели оценка для  $\mu$ , полученная по методике PERT, но они не могут использоваться для получения какой-либо информации о законе распределения ранних сроков. Аналитический метод решения этой задачи приведен в [17]. Однако для расчета параметров крупных сетей аналитические методы практически нереализуемы, т.к. при операции свертки получаются интегралы очень большой размерности.

### *Метод статистического моделирования*

Метод статистического моделирования, предложенный в [7], позволяет получать оценки временных параметров сети, сравнимые по погрешности с аналитическими методами. При этом метод прост в вычислительном аспекте и легко реализуем на ЭВМ.

Предполагая использование метода статистического моделирования для решения поставленной в настоящей работе задачи, разберем его подробнее.

Метод статистических испытаний для оценки временных параметров сетевой модели состоит в имитации продолжительности выполнения всех входящих в сеть работ с последующим расчетом для теперь уже детерминированной сетевой модели значений искомых параметров, в многократном повторении процедуры такого «розыгрыша» и, в заключение, в оценке вероятностных характеристик полученного эмпирического распределения этих параметров.

«Розыгрыш» значения продолжительности выполнения каждой из работ  $(i, j)$  сводится к генерации случайной величины, распределенной по закону, принятому для данной работы.

Разработаны и программно реализованы процедуры для генерации случайной величины, распределенной равномерно, нормально и по закону бета-распределения, при двух и трехочечной методике. Кроме того, модифицированный метод Неймана является универсальным, и применим для реализации произвольных законов распределения.

Повторяя  $N$  раз «розыгрыш» значений  $t(i, j)$ , получают набор значений  $T_{1, \dots, N}^h$ ,  $h$ -го временного параметра сети, относящегося или к отдельной работе (ранние и поздние сроки начала и окончания, резервы), или к событиям (ранние и поздние сроки свершения), или сетевой модели в целом (длина критического пути и т.п.). Значения  $T_{1, \dots, N}^h$  имеют эмпирическое распределение и с помощью гистограммы этого распределения находят  $r$ -квантили каждого  $h$ -го временного параметра  $W_p^h$ . Таким образом, с вероятностью  $p$  реальное значение  $h$ -го временного параметра не превышает величины  $W_p^h$ .

Вводится понятие  $r$ -квантильного коэффициента напряженности пути  $L$ , определяемого по формуле:

$$k_p^h(L) = W_p\{k^h(L)\}, \quad (1.2.49)$$

где  $k^h(L)$  — коэффициент напряженности пути  $L$  в детерминированной сети (см. 1.1),

$$k^H(L) = (t(L) - t'_{кр}(L)) / (t_{кр} - t'_{кр}(L)). \quad (1.2.50)$$

Здесь  $t'_{кр}(L)$  обозначает продолжительность участка критического пути, совпадающего с путем  $L$ ,  $t(L)$  — длина пути  $L$ , а  $t_{кр}$  — длина критического пути в сети.

Значение  $p$ -квантильного коэффициента напряженности для работы  $(i, j)$  оценивается по формуле:

$$k_p^H(i, j) = W_p\{K_{ij}^H\}, \quad (1.2.51)$$

где  $K_{ij}^H$  определяется по формуле (1.2.6) для детерминированных моделей.

Используя  $p$ -квантильные коэффициенты напряженности, осуществляется разбиение входящих в сетевую модель работ на критическую, промежуточную и резервную зоны:

- $p$ -квантильная критическая зона содержит работы с  $W_p\{K_{ij}^H\} > p_1$ , где значение  $p_1$  близко к единице ( $p_1 \approx 0.8 \div 0.9$ );

- $p$ -квантильная зона резервов объединяет работы со значениями  $W_p\{K_{ij}^H\} < p_2$ , где  $p_2$  близко к нулю ( $p_2 \approx 0.2$ );

- $p$ -квантильная промежуточная зона содержит работы с  $p_2 \leq W_p\{K_{ij}^H\} \leq p_1$ .

В [7] описан другой алгоритм расчета вероятностных коэффициентов напряженности, основанный на оценке вероятности попадания работы в критические зоны в случае конкретной реализации сетевого проекта.

Описанные выше  $p$ -квантильные значения параметров вероятностной сетевой модели являются теоретико-вероятностными аналогами соответствующих параметров, определяемых в детерминированных сетях с фиксированными временными оценками.

#### *Характеристика области использования вероятностных моделей*

Рассмотренные нами вероятностные модели и методы определения их временных характеристик использовались большей частью для временного анализа сети и иногда для решения оптимизационных задач типа «время-стоимость».

Основные результаты, получаемые в процессе статистического моделирования вероятностных сетей, следующие:

- получение с определенным уровнем достоверности минимального и максимального времени выполнения проекта;
- получение также с некоторым уровнем уверенности минимального и максимального времени свершения наиболее важных событий;

- оценка вероятности попадания некоторого события на критический путь;
- оценка вероятности попадания работы на критический путь;
- выделение с некоторым уровнем доверительности критического и резервного подграфов.

Имитационные методы представляют собой более надежную базу (по сравнению с аналитическими) для анализа характеристик вероятностной сетевой модели, поскольку они не связаны с конкретным распределением, позволяя сравнивать между собой большое количество разных распределений. Кроме того, они позволяют просмотреть гораздо большее число возможных реализаций даже по одним и тем же распределениям.

#### 2.4. Альтернативные сетевые модели

До сих пор мы рассматривали модели с детерминированной топологией сети. При моделировании сложного проекта нередко наиболее гибкими и полезными оказываются сетевые модели с альтернативной структурой. Альтернативную сеть определяют как сеть, содержащую альтернативные узлы (состояния), при этом дуги (работы) характеризуются не только вероятностным распределением продолжительности, но и вероятностью их выполнения (GERT-сеть [6, 20–21]).

Альтернативная сетевая модель с множеством возможных исходов, являясь дальнейшим развитием традиционных сетей, дает возможность полнее отобразить процесс разработки и создания сложного проекта. Применяемый для анализа альтернативных сетевых моделей математический аппарат позволяет вычислять вероятности различных альтернативных исходов, оценивать время их возможной реализации.

Альтернативная сетевая модель есть конечный граф  $G = (\Omega, A)$ , где  $\Omega$  — есть множество детерминированных и альтернативных вершин, отождествляемых с событиями, а технологическая матрица  $A = \{p_{ij}\}$  задает множество ориентированных дуг, отождествляемых с работами (или связями). Для альтернативных сетей  $0 \leq p_{ij} \leq 1$ , причем  $p_{ij} = 1$  определяет работу  $(i, j)$  аналогично принятым в традиционных сетях определениям, а  $0 < p_{ij} < 1$  соответствует альтернативному событию  $i$ , из которого с вероятностью  $p_{ij}$  «выходит» работа  $(i, j)$ . Другими словами  $p_{ij}$  — вероятность того, что работа  $(i, j)$  будет выполнена при условии, что узел  $i$  выполнен.

Пусть  $\varphi(t_{ij})$  — плотность распределения времени выполнения работы  $(i, j)$ .

$M[x]$  — математическое ожидание случайной величины  $x$ . Вводится условная производящая функция моментов случайной величины  $t_{ij}$  как  $M_{ij}(s) = M[e^{st_{ij}}]$ :

$$\left[ \begin{array}{l} M_{ij}(s) = \int_0^\infty e^{st_{ij}} \varphi(t_{ij}) dt_{ij} \quad (\text{для непрерывной случайной величины}), \\ \sum e^{st_{ij}} \varphi(t_{ij}) \quad (\text{для дискретной случайной величины}). \end{array} \right.$$

В частности,  $M_{ij}(s) = M[e^{sa}] = e^{sa}$  при  $t_{ij} = a = \text{const}$ ,  $M_{ij}(0) = 1$ .

Для каждой дуги  $(i, j)$  определяется  $\Psi$ -функция как

$$\Psi_{ij}(s) = p_{ij} M_{ij}(s). \quad (1.2.52)$$

Исходная сеть преобразуется в эквивалентную, используя три базисных преобразования:

- последовательные дуги,
- параллельные дуги,
- петли.

Для последовательных дуг (рис.1.2.7)

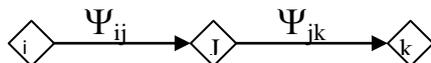


Рис. 1.2.7

$$\Psi_{ik}(s) = \Psi_{ij}(s) \Psi_{jk}(s). \quad (1.2.53)$$

Для параллельных дуг (рис.1.2.8)

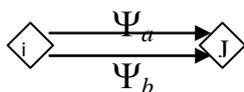


Рис. 1.2.8

$$\Psi_{ij}(s) = \Psi_a(s) + \Psi_b(s). \quad (1.2.54)$$

Для петель вида (рис. 1.2.9)

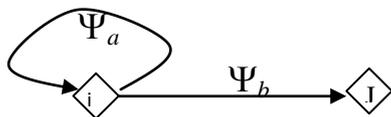


Рис. 1.2.9

$$\Psi_{ij}(s) = \Psi_b(s) / [1 - \Psi_a(s)]. \quad (1.2.55)$$

Комбинируя базисные преобразования, любую сеть можно преобразовать в эквивалентную сеть, состоящую из одной дуги (E-дуги).

Цель временного анализа альтернативной сети состоит в вычислении математического ожидания и дисперсии времени выполнения сети (или

любого ее фрагмента) и вероятности выполнения заключительного (или любого другого события) сети.

Здесь используется теория замкнутых потоковых графов, где введенная выше  $\Psi$ -функция трактуется как соответствующий коэффициент пропускания дуги. Для применения результатов этой теории к открытой сети с искомым параметром  $\Psi_E(s)$  вводится дополнительная дуга с параметром  $\Psi_A(s)$ , соединяющая конечное событие (сток) с начальным (источником).

Затем используется топологическое уравнение для замкнутых графов, известное как правило Мейсона [16], следующего вида:

$$1 - \sum T(L_1) + \sum T(L_2) - \sum T(L_3) + \dots + (-1)^m \sum T(L_m) + \dots = 0, \quad (1.2.56)$$

где  $\sum T(L_m)$  — сумма эквивалентных коэффициентов пропускания для всех возможных петель  $m$ -го порядка.

Эквивалентный коэффициент пропускания для петли  $m$ -го порядка равен произведению коэффициентов пропускания  $m$  не связанных между собой петель первого порядка, т.е.

$$T(L_m) = \prod_{k=1}^m T_k. \quad (1.2.57)$$

Непосредственно из правила Мейсона следует, что  $1 - \Psi_A(s)\Psi_E(s) = 0$  или  $\Psi_A(s) = 1/\Psi_E(s)$ . Используя данный результат, в топологическом уравнении (1.2.56)  $\Psi_A(s)$  заменяется на  $1/\Psi_E(s)$  и затем оно решается относительно  $\Psi_E(s)$ , тем самым получается эквивалентная  $\Psi$ -функция для исходной альтернативной сети.

Поскольку  $\Psi_E(s) = p_E M_E(s)$ , а  $M_E(0) = 1$ , то  $p_E = \Psi_E(0)$ , откуда следует, что

$$M_E(s) = \Psi_E(s) / p_E = \Psi_E(s) / \Psi_E(0). \quad (1.2.58)$$

После получения аналитического выражения для  $M_E(s)$ , вычисляют первую и вторую частную производную по  $s$  функции  $M_E(s)$  в точке  $s=0$ , т.е.

$$\mu_{1E} = \partial/\partial s [M_E(s)]_{s=0} \quad (1.2.59)$$

$$\mu_{2E} = \partial^2/\partial s^2 [M_E(s)]_{s=0} \quad (1.2.60)$$

Первый момент  $\mu_{1E}$  относительно начала координат есть математическое ожидание времени выполнения сети (преобразованной в эквивалентную ей  $E$ -дугу), а дисперсия времени выполнения сети равна разности между вторым моментом  $\mu_{2E}$  и квадратом первого, т.е.

$$\sigma^2 = \mu_{2E} - (\mu_{1E})^2. \quad (1.2.61)$$

Таким образом, описанный выше аппарат позволяет вычислять временные параметры любых интересующих пользователя событий альтернативной сети, а также определять вероятность их наступления.

Используя полученную информацию, можно с помощью неравенства Чебышева оценивать вероятность любых доверительных интервалов времени окончания проекта при произвольных законах распределения времени выполнения отдельных операций. В рассматриваемом примере могут быть получены более сильные утверждения. При достаточно большом числе работ в сети и выполнении некоторых условий (в частности, независимость работ) можно использовать предельную теорему Ляпунова и считать результирующее время выполнения проекта нормально распределенной случайной величиной с характеристиками, вычисленными по выше описанной методике. Это позволяет получить вероятностные оценки времени выполнения проекта, используя интегральную теорему Муавра-Лапласа.

Таким образом, альтернативная сетевая модель включает все случайные отклонения и неопределенность, возникающие непосредственно во время выполнения каждой отдельной работы.

В качестве параметра дуги мы рассматривали время выполнения операции (работы). Можно рассматривать также любой характерный параметр, который обладает аддитивностью по дугам любого пути. Это может быть стоимость работы, количество потребного накапливаемого ресурса и т.п.

### **Задание на контрольную работу**

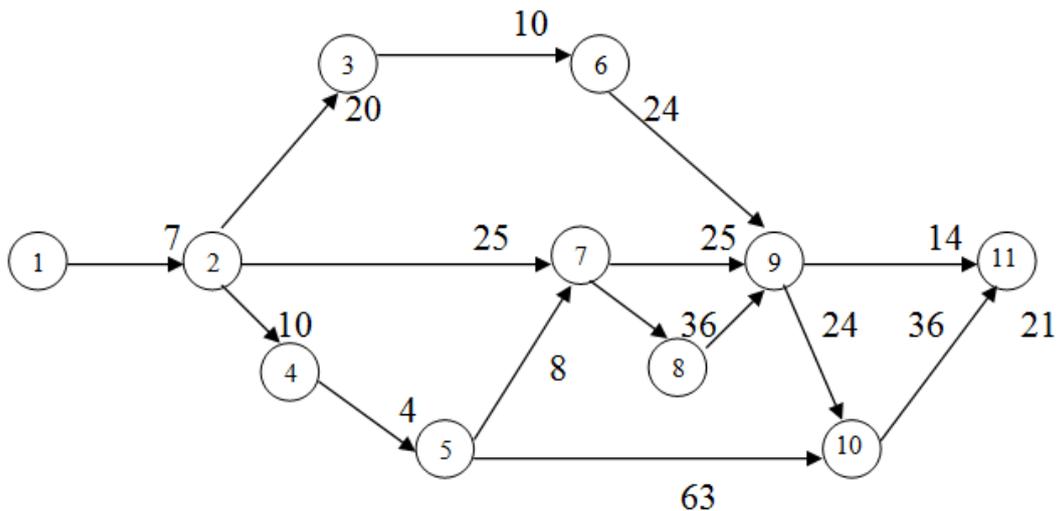
1. Составить сетевую модель процесса реализации проекта.
2. Дать минимальную и максимальную оценку продолжительности всех работ, среднее количество необходимых работников для выполнения каждой работы.
3. Провести временной расчет сетевой модели.
4. Минимизировать время выполнения проекта за счет перераспределения исполнителей с работ резервной и промежуточной зон на работы критической зоны.
5. Задать оценки стоимости работ, выполняемых в нормальном и экстренном режиме.
6. Сократить на 10% продолжительность выполнения проекта, используя экстренный режим для некоторых работ, обеспечив при этом минимальное увеличение стоимости проекта.
7. Выровнять потребность в используемых работниках (использовать процедуру «Сглаживание»).

*Рекомендации:*

1. Проект придумать самому или взять из литературы.
2. В сетевой модели должно быть не менее 25 работ.
3. Коэффициент сложности (отношение числа работ к числу событий) не должен быть менее 1,4.

***Пример выполнения контрольной работы***

*n1. Сетевой график разработки нового изделия*



*n2. Состав работ сетевого графика*

| Код работы | Наименование работы  | Продолжительность |      | Кол-во исполнителей |
|------------|--|-------------------|------|---------------------|
|            |  | мин               | макс |                     |
| 1          | 2  | 3                 | 4    | 5                   |
| 1,2        | Разработка ТЗ на изделие                                   | 5                 | 10   | 4                   |
| 2,3        | Анализ требуемых характеристик                             | 14                | 28   | 5                   |
| 2,4        | Составление спецификаций на необходимые материалы и детали | 7                 | 14   | 3                   |
| 2,7        | Разработка эскизного проекта                               | 20                | 32   | 5                   |
| 3,6        | Разработка методики испытаний                              | 8                 | 12   | 5                   |
| 4,5        | Оформление заказов на необходимые материалы и детали       | 3                 | 5    | 2                   |
| 5,7        | Ожидание информации о деталях                              | 7                 | 10   |                     |
| 5,10       | Поставка необходимых материалов и деталей                  | 45                | 90   | 4                   |
| 6,9        | Составление программы испытаний                            | 20                | 30   | 5                   |
| 7,8        | Разработка технического проекта                            | 30                | 45   | 9                   |
| 7,9        | Проектирование оснастки                                    | 22                | 30   | 7                   |
| 8,9        | Разработка рабочей документации                            | 20                | 30   | 8                   |
| 9,10       | Изготовление всех составляющих                             | 30                | 45   | 9                   |
| 9,11       | Составление инструкций по испытаниям                       | 10                | 20   | 3                   |
| 10,11      | Монтаж и наладка изделия                                   | 15                | 30   | 9                   |

Ожидаемая продолжительность выполнения работ вычисляется по формуле (1.2.47).

*п3. Временной расчет сетевого графика*

| Код работы | Ожидаемая продолжительность | Сроки начала |         | Сроки окончания |         | Резервы работ |           | Коэф. напряженности |
|------------|-----------------------------|--------------|---------|-----------------|---------|---------------|-----------|---------------------|
|            |                             | ранний       | поздний | ранний          | поздний | полный        | свободный |                     |
| 1,2        | 7                           | 0            | 0       | 7               | 7       | 0             | 0         | 1                   |
| 2,3        | 20                          | 7            | 38      | 27              | 58      | 31            | 0         | 0,635               |
| 2,4        | 10                          | 7            | 10      | 17              | 20      | 3             | 0         | 0,88                |
| 2,7        | 25                          | 7            | 7       | 32              | 32      | 0             | 0         | 1                   |
| 3,6        | 10                          | 27           | 58      | 37              | 68      | 31            | 0         | 0,635               |
| 4,5        | 4                           | 17           | 20      | 21              | 24      | 3             | 0         | 0,88                |
| 5,7        | 8                           | 21           | 24      | 29              | 32      | 3             | 3         | 0,88                |
| 5,10       | 63                          | 21           | 65      | 84              | 128     | 44            | 44        | 0,636               |
| 6,9        | 24                          | 37           | 68      | 61              | 92      | 31            | 31        | 0,635               |
| 7,8        | 36                          | 32           | 32      | 68              | 68      | 0             | 0         | 1                   |
| 7,9        | 25                          | 32           | 32      | 92              | 92      | 35            | 35        | 0,417               |
| 8,9        | 24                          | 68           | 68      | 92              | 92      | 0             | 0         | 1                   |
| 9,10       | 36                          | 92           | 92      | 128             | 128     | 0             | 0         | 1                   |
| 9,11       | 14                          | 92           | 92      | 149             | 149     | 43            | 43        | 0,246               |
| 10,11      | 21                          | 128          | 128     | 149             | 149     | 0             | 0         | 1                   |

1. Ранний срок начала работы равен раннему сроку свершения ее начального события;

2. Поздний срок начала работы равен разности между поздним сроком свершения ее конечного события и ожидаемой продолжительностью работы;

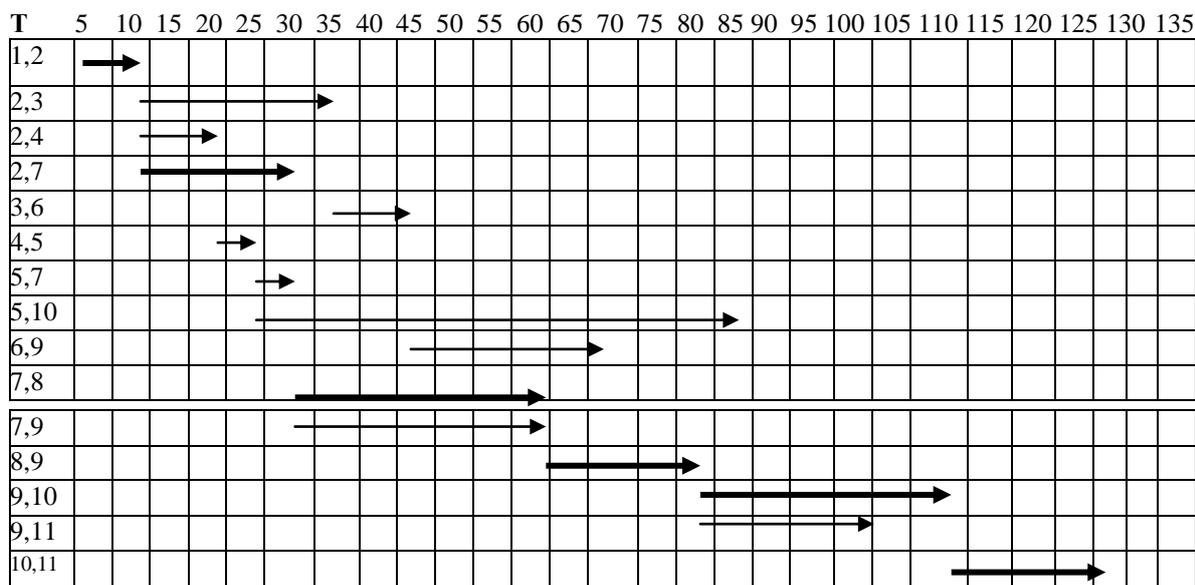
3. Ранний срок окончания работы равен сумме раннего срока свершения ее начального события и ожидаемой продолжительностью работы;

4. Поздний срок окончания работы равен позднему сроку свершения ее конечного события;

5. Полный и свободный резервы вычисляются по формулам (1.2.4-1.2.5);

6. Коэффициент напряженности работы вычисляются по формуле (1.2.6).

*п4. График выполнения работ в минимально возможные сроки (без привлечения дополнительных ресурсов)*



- работу (1,2) сократить нельзя;
- работу (2,7) сокращаем на 5 дней за счет перераспределения одного исполнителя с работы (2,3);
- работу (7,8) сокращаем на 6 дней за счет перераспределения 1,5 исполнителя с работы (7,9);
- работу (8,9) сокращаем на 4 дня за счет перераспределения одного исполнителя с работы (6,9);
- работу (9,10) сокращаем на 6 дней за счет перераспределения 1,5 исполнителя с работы (5,10);
- работу (10,11) сокращаем на 2 дня за счет перераспределения одного исполнителя с работы (9,11).

Итого критический путь сокращается на 23 дня.

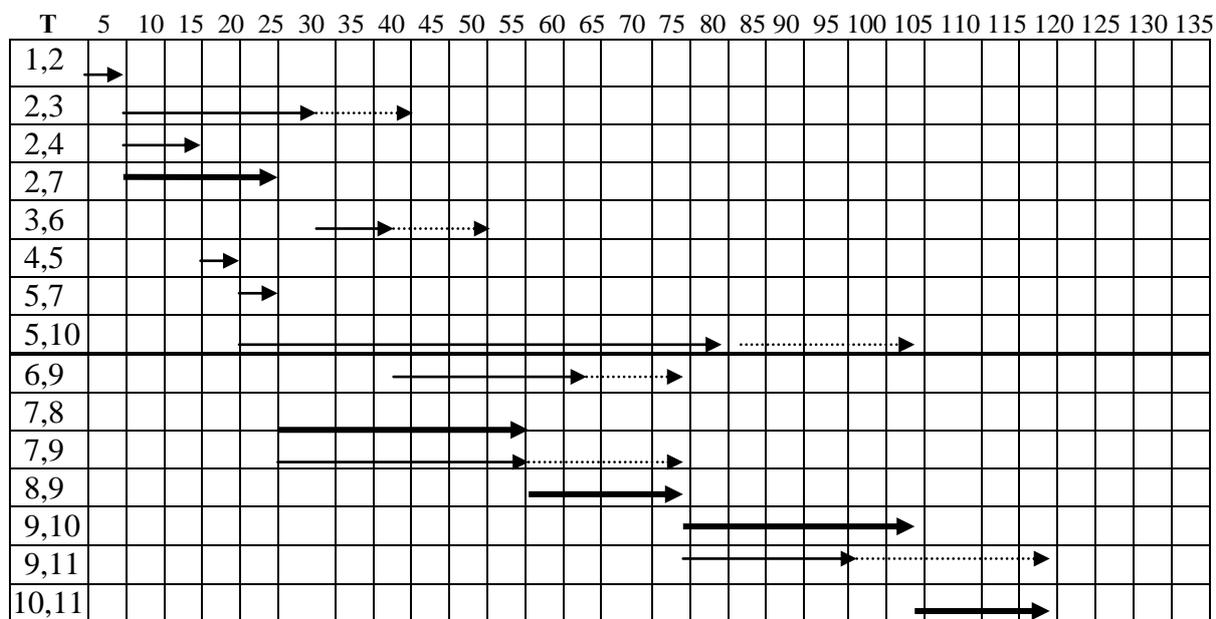
*п5. Оценки стоимости работ сетевого графика (тыс.руб.)*

| Код работы | Наименование работы  | Стоимость |       | Цена сокращения |
|------------|--|-----------|-------|-----------------|
|            |  | норм      | экстр |                 |
| 1          | 2  | 3         | 4     | 5               |
| 1,2        | Разработка ТЗ на изделие                                   | 5         | 7     | 1               |
| 2,3        | Анализ требуемых характеристик                             | 14        | 19    | 0,833           |
| 2,4        | Составление спецификаций на необходимые материалы и детали | 7         | 10    | 1               |
| 2,7        | Разработка эскизного проекта                               | 20        | 30    | 2               |
| 3,6        | Разработка методики испытаний                              | 8         | 10    | 1               |
| 4,5        | Оформление заказов на необходимые материалы и детали       | 3         | 5     | 2               |

| 1     | 2   | 3  | 4  | 5     |
|-------|---|----|----|-------|
| 5,7   | Ожидание информации о деталях             | 0  | 0  |       |
| 5,10  | Поставка необходимых материалов и деталей | 45 | 60 | 0,882 |
| 6,9   | Составление программы испытаний           | 20 | 25 | 1,25  |
| 7,8   | Разработка технического проекта           | 30 | 50 | 3,333 |
| 7,9   | Проектирование оснастки                   | 22 | 30 | 2,667 |
| 8,9   | Разработка рабочей документации           | 20 | 30 | 2,5   |
| 9,10  | Изготовление всех составляющих            | 30 | 45 | 2,5   |
| 9,11  | Составление инструкций по испытаниям      | 10 | 15 | 1,25  |
| 10,11 | Монтаж и наладка изделия                  | 15 | 20 | 0,833 |

Цена сокращения вычисляется по формуле (1.2.22).

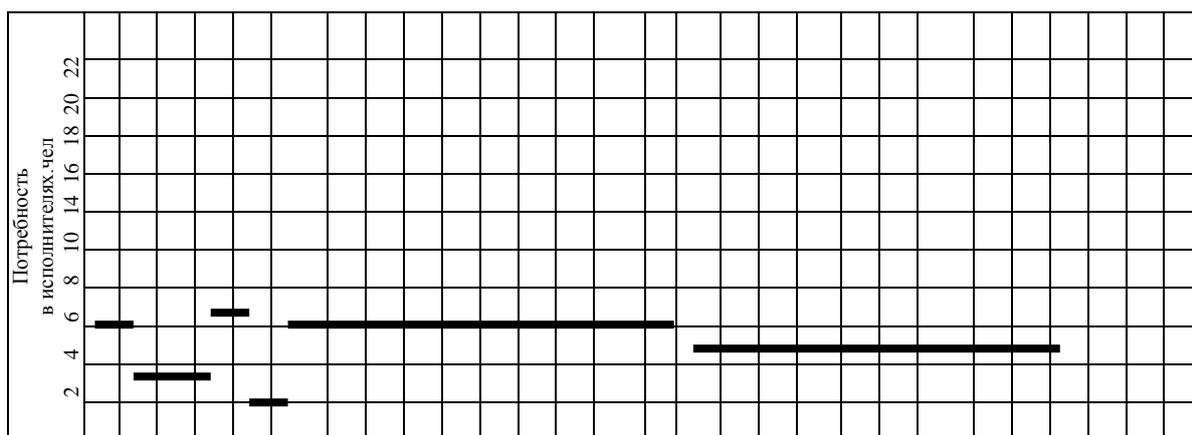
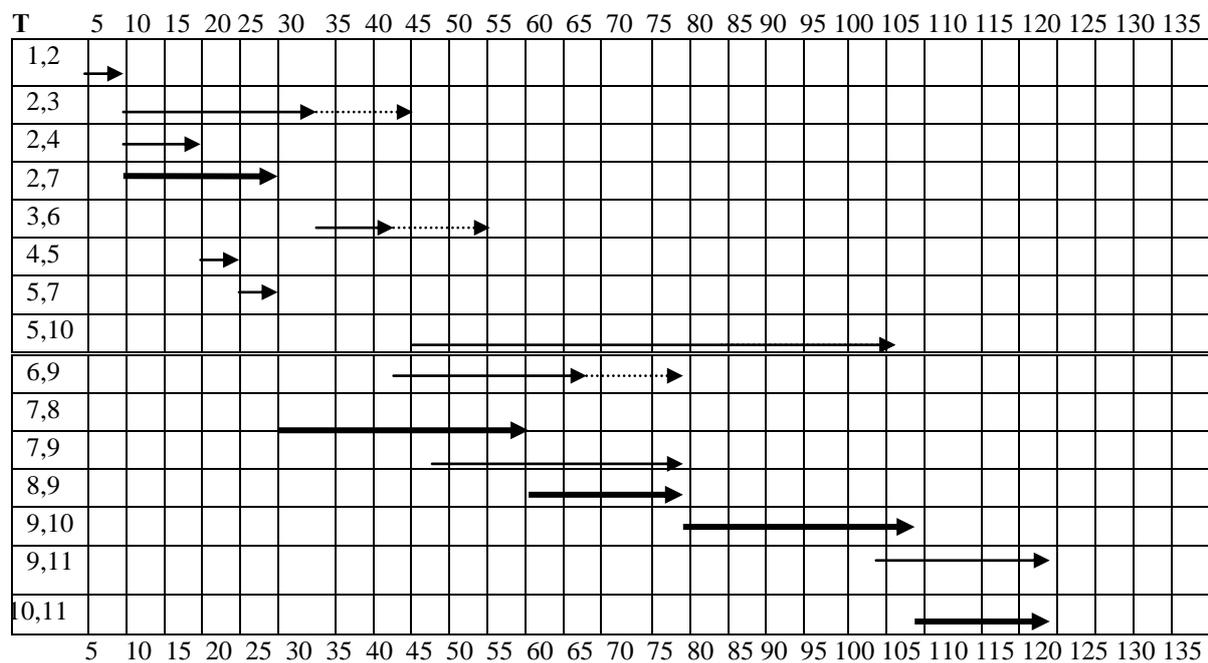
*пб. График выполнения работ в минимально возможные сроки (с привлечением дополнительных ресурсов)*



- работу (1,2) можно сократить на 2 дня, увеличив затраты на 2 тыс. руб.;
- работы (2,7), (7,8), (8,9) и (9,10) уже сокращены до минимума за счет внутренних резервов;
- работу (10,11) можно сократить еще на 4 дня, увеличив затраты на 3,333.

Итого критический путь сокращается на 6 дней, при этом увеличиваются затраты на 5,333 тыс. руб.

*п7. Линейная диаграмма и выровненная эюра потребности в инженерно-технических работниках*



Вправо в пределах полного резерва сдвигаем работы (7,9), (5,10) и (9,11).

## Библиографический список к введению и части 1

1. Баркалов С.А. Математические основы управления проектами: Учебное пособие / С.А. Баркалов, В.И. Воропаев, Г.И. Секлетова и др. Под ред. В.Н. Буркова. — М.: Высшая школа, 2005. — 423 с.
2. Воропаев В.И. Управление проектами в современном обществе / Журнал: «Управление проектами и программами», №1. — 2005 . — С. 82–95.
3. Воропаев В.И. и др. Методические рекомендации по ресурсному анализу календарных планов на основе обобщенных сетевых моделей. — М.: ЦНИИЭУС, 1990. — 86 с.
4. Воропаев В.И. Обобщенные сетевые модели в задачах теории расписаний / В.И. Воропаев, Б. Я. Лебедь, Т.Я. Орел // Методология развития АСУ в строительстве: сборник научных работ ЦНИИЭУС. — М., 1989. — 95 с.
5. Воропаев В.И. Обобщенные стохастические сетевые модели для управления комплексными проектами / В.И. Воропаев, Я.Д. Гельруд // Управление проектами и программами. 2008. — № 1. — С. 18–27, № 2. — С. 114–125.
6. Гельруд Я.Д. Обобщенные стохастические сетевые модели для управления комплексными проектами / Я.Д. Гельруд // Вестник НГУ. Серия: математика, механика, информатика. — 2010. — № 4. — С. 36–51.
7. Гельруд Я.Д. Управление проектами: методы, модели, системы: монография / Я.Д. Гельруд, О.В. Логиновский; под редакцией доктора технических наук, профессора А.Л. Шестакова. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. — 331 с.
8. Д.И. Голенко-Гинзбург. Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками. — Воронеж. Научная книга. 2010. — 410 с.
9. Зуховицкий С. Математические методы сетевого планирования / С. Зуховицкий, И.А. Радчик. — М.: Наука, 1965. — 296 с.
10. Казиев, В.М. Введение в анализ, синтез и моделирование систем: Учебное пособие / В.М. Казиев. — М.: Бинوم, 2014. — 244 с.
11. Кремер Н.Ш. Исследование операций в экономике: учебное пособие для вузов /Н.Ш. Кремер, БА. Путко, И.М. Тришин, М.Н. Фридман; Под ред. проф. Н.Ш. Кремера. — М.: ЮНИТИ, 2005. — 407 с.

12. Н. Лебедева. Правила постановки целей. Журнал «Кадровое дело». — № 12. — 2004. — Режим доступа: <http://www.ipnpou.ru/article.php?idarticle=000873>.
13. Матвеев А.А. Модели и методы управления портфелями проектов / А.А. Матвеев, Д.А. Новиков, А.В. Цветков. — М.: ПМСОФТ, 2005. — 206 с.
14. Мегапроекты: история недостроев, перерасходов и прочих рисков строительства / Бент Фливбьорг, Нильс Брузелиус, Вернер Ротенгаттер; [Пер. с англ. А.А.Исаева]. — М.: ООО «Вершина», 2005. — 224 с.
15. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций, 7-е издание.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. — 912 с: ил.
16. Управление проектом. Основы проектного управления: учебник / кол. авторов под ред. М.Л. Разу. — М.: КНОРУС, 2007. — 768 с.
17. Филлипс, Д. Методы анализа сетей / Д.Филлипс, А.Гарсиа-Диас. — М.: Мир. 1984. — 496 с.
18. Форд Л.Р. Потоки в сетях / Л.Р. Форд, Д.Р. Фалкерсон. — М.: Мир, 1965. — 277 с.
19. Kelly J. E. (1961). Critical Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis. *Operations Research*. — Vol. 9(3). — pp. 296–320.
20. Pritsker, A.A.V. (1984) Applications of simulation, in *Proceedings of the Tenth International Conference on Operational Research*, Brans, J.P. (ed), Elsevier Science Publishers BV, Amsterdam, — pp. 908-920.
21. Projectmanagement — Fachmann, GPM und RRW, Eschbom Deutschland, 1991, B.1, 2. — 1130 p.

## ЧАСТЬ 2. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ С ПОЗИЦИЙ РАЗЛИЧНЫХ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ СТОРОН

### Глава 3. Обоснование концепции проектного управления, учитывающей интересы различных стейкхолдеров

#### 3.1. Ключевые определения

*Заинтересованные стороны (стейкхолдеры)* — физические и юридические лица, как непосредственно участвующие в проекте или в отдельных фазах его жизненного цикла (участники проекта), так и те, чьи интересы могут быть затронуты процессами осуществления проекта и его результатами. Термин был принят ISO (International Organization for Standardization) и адаптирован для IPMA ICB.

*Инвестор* — юридическое или физическое лицо, вкладывающее собственные, заемные или иные привлеченные средства в проектную деятельность.

*Заказчик* — юридическое или физическое лицо, в интересах которого выполняется проект, как правило, будущий владелец продукта проекта.

*Руководитель и команда управления проектом* (возможно, компания, управляющая реализацией проекта) — специфическая организационная структура, возглавляемая руководителем проекта и создаваемая для всеобъемлющего руководства и координации работ на протяжении всего жизненного цикла проекта до достижения определенных в проекте целей и результатов при соблюдении сроков, бюджета и качества.

*Генконтрактор* (генеральный контрактор, генеральный подрядчик) — участник проекта, несущий ответственность за организацию выполнения всего комплекса подрядных работ по проекту, включенных в контракт.

*Поставщик* — компания, управляющая процессом обеспечения поставок и закупок по контрактам.

*Регулирующие органы* — международные, государственные, местные органы власти, осуществляющие надзорные и разрешительные функции в отношении различных работ в составе проекта.

*Коммерческая служба* — организация или часть организации, отвечающая за реализацию продукта проекта клиенту (конечному потребителю) и обеспечение денежного потока в виде выручки от реализации.

Каждый стейкхолдер исполняет свои функции на разных уровнях управления проектной деятельностью. Инвестор действует на стратегическом уровне, Заказчик, Регулирующие и надзорные органы (органы власти) могут исполнять свои функции на стратегическом и тактическом уровнях, Генеральный подрядчик — на тактическом уровне. Модели для этих стейкхолдеров будут укрупненными и с возможностью средней детализации. Группа стейкхолдеров, исполняющих свои функции в проектной деятельности на оперативном уровне, включает Поставщика, Команду управления проектом (проектный офис) и Коммерческую службу. Важнейшей компетенцией руководителя проекта должна быть способность выявлять интересы всех стейкхолдеров и умение добиваться результатов, соответствующих ожиданиям или превышающих их. В существующих стандартах и методологиях сегодня уделено особое внимание процессам, методам и инструментам вовлечения заинтересованных сторон и управления их ожиданиями [6–7, 10–11, 14, 18]. В обязанности руководителя проекта входит выявление всех заинтересованных сторон проекта, их заинтересованности и ожиданий, оценка и ранжирование стейкхолдеров по степени вовлеченности и силе влияния, планирование способов и методов взаимодействия. Руководитель проекта должен отслеживать изменения ожиданий и интересов стейкхолдеров в ходе осуществления проектной деятельности, анализировать их причины и возможные последствия, а также при необходимости своевременно и адекватно на них реагировать.

### 3.2. Состав и содержание компетенций управления проектами для заинтересованных сторон

Состав и содержание компетенций управления проектами для заинтересованных сторон подразделяются на две группы — базовые и специальные: *базовые компетенции* определяют единые для всех заинтересованных сторон требования к составу, содержанию и уровню способностей, знаний, навыков и личных качеств; *специальные компетенции* определяют специфические для определенной заинтересованной стороны проекта требования к составу, содержанию и уровню способностей, знаний, навыков и личных качеств с учетом ее (стороны) роли, интересов и выполняемых функций.

В табл. 2.3.1 приведены примеры специфических характеристик, компетенций и параметров управления проектами в интересах выбранных нами стейкхолдеров. Таким образом, таблица не претендует на исчерпывающую

Таблица 2.3.1

## Пример специфических характеристик и компетенций управления проектами

| Основные заинтересованные стороны | Специфические характеристики управления проектами разными заинтересованными сторонами  |   |   |  |  |   |  |  |
|-----------------------------------|--|---|---|--|--|---|--|--|
|                                   | Ожидания   | Видение проекта   | Цель в проекте  | Критерии   | Ограничения  | Стратегия   | Основные риски   | Основные инструменты УП  |
| 1                                 | 2  | 3   | 4   | 5  | 6  | 7   | 8  | 9  |
| Инвестор                          | Возврат вложений с максимумом прибыли  | Процесс движения денег, динамика в центрах затрат и доходов | Получение прибыли путем инвестирования проекта                                    | Максимизация прибыли   | Объемы средств, сроки, кредитные ставки  | Планирование, контроль, прогноз, регулирование деятельности в проекте   | Невозврат кредитов, недополучение прибыли  | План по вехам, бизнес-план, бюджет, план финансирования, сводная отчетность  |
| Заказчик                          | Готовый продукт, принятый при условии  | Процесс создания продукта                                   | Конкурентно способный продукт, приносящий определенную прибыль                    | Минимум отклонений по конфигурации и качеству продукта, получение продукта в срок с минимумом затрат               | Конфигурация и качество продукта, технические требования, сроки, бюджет                            | Обеспечение выполнения функций заказчика с соблюдением его интересов  | Низкое качество продукта, нарушение сроков, превышение стоимости   | Комплексный управленческий план, мониторинг, управление конфигурацией и изменениями, текущая отчетность, оптимизация налогов |
| Руководитель и команда проекта    | Удовлетворение ожиданий клиентов и заинтересованных сторон, максимальные выгоды для команды, приглашение в следующие проекты | Процесс управления созданием продукта                       | Результат требуемого качества, в рамках бюджета, удовлетворение клиента и команды | Показатели соответствия стратегии и ожиданиям клиента и команды проекта (продукт, сроки, бюджет, качество, выгоды) | Стандарт УП, результаты, качество, сроки, бюджет, другие условия контракта и этические ограничения | Выполнение в полном объеме установленных профессионального УП с соблюдением интересов клиента и команды проекта | Низкий уровень взаимопонимания, взаимодействие, недолжное выполнение обязательств и руководителей, большой объем изменений | Корпоративный стандарт и передовая практика управления проектами   |

## Продолжение таблицы 2.3.1

| 1                   | 2   | 3   | 4  | 5   | 6  | 7  | 8   | 9  |
|---------------------|---|---|--|---|--|--|---|--|
| Генконтрактор       | Успешная продажа услуг  | Процесс выполнения работ по контракту   | Выполнение обязательств по проекту с максимальной выгодой для исполнителя  | Минимизация производственных потерь при соблюдении требований и условий контракта | Условия контракта, технические требования к выполнению работ и их безопасности | Детальное планирование и оперативное управление выполнением работ с соблюдением требований заказчика и интересов исполнителя | Высокая себестоимость работ, низкая квалификация рабочих, низкое качество работ, срыв сроков, высокий уровень травматизма | Детальный план, оперативный учет, отчетность и регулирование выполнения работ, оптимизация налогов                   |
| Генпоставщик        | Заработок на поставках  | Процесс обеспечения поставок по контрактам  | Обеспечение нужных поставок, в нужное время по выгодной для поставщика цене                                      | Минимизация рисков и потерь, максимизация выгоды                                  | Спецификации, сроки, цены и место поставок                                     | Оптимизация управления процессом поставок и закупок с соблюдением интересов клиента и поставщика                             | Несвоевременность поставки, высокая себестоимость и возможные штрафы  | План поставок, контракты на закупки и поставки, мониторинг и контроль  |
| Регулирующие органы | Решение проблем в пределах своих полномочий и сбор налогов в бюджет | Процесс осуществления разрозненных и функциональных функций, выполнения региональных требований и условий проекта | Решение вопросов проекта и соблюдение условий его выполнения с максимальной выгодой для территории и государства | Максимизация сбора налогов, оптимизация выгод и потерь для территории             | Требования законодательных и нормативных актов                                 | Активное участие в проекте для оказания содействия в рамках властных полномочий и соблюдения государственных интересов       | Невыполнение социальных и экологических требований, недополучение налогов, нарушение налоговой дисциплины                 | План социально-экономического развития зоны влияния проекта, бюджет, нормативные акты, план налогообложения, санкции |

## Окончание таблицы 2.3.1

|                     |   |  |  |   |  |   |   |  |
|---------------------|---|--|--|---|--|---|---|--|
| <b>1</b>            | <b>2</b>  | <b>3</b>   | <b>4</b>   | <b>5</b>  | <b>6</b>   | <b>7</b>                                    | <b>8</b>  | <b>9</b>   |
| Коммерческая служба | Успешная реализация плана продаж продукта конечному потребителю (клиенту) и обеспечение входящего денежного потока в виде выручки от реализации | Процесс осуществления поиска и привлечения клиента, продажа продукта проекта и получение выручки | Получение дохода и направление поступающих денежных средств на нужды проекта | Максимизация выручки от продаж<br>Выполнение плана продаж | Покупательская способность клиента, объем реализованных единиц продукта проекта, качество продукта проекта | Маркетинговые мероприятия, активные продажи | Невыполнение плана продаж, неспособность обеспечить денежного потока в виде выручки от реализации, в силу рисков внутри самого проекта — невыполнение обязательств перед клиентом | Маркетинговая стратегия, план продаж, план по ведам, бизнес — план, бюджет проекта, мониторинг, управление взаимоотношениями с клиентами (CRM), текущая отчетность |

полноту, а лишь служит носителем исходных данных для примеров соответствующих моделей постановки задач УП. В данной части рассмотрен широкий спектр возможных ролей и функций каждой заинтересованной стороны и приведены описания сформированной системы взаимосвязанных математических моделей управления проектом для заинтересованных сторон с учетом зафиксированных в таблице 2.3.1 специфических характеристик и параметров. Для некоторых моделей приводятся соответствующие им задачи и способы их решения.

## **Глава 4. Модели и методы проектного управления для инвестора**

### **4.1. Основные понятия**

В настоящей главе предлагаются математические модели, предназначенные для управления проектной деятельностью на всех стадиях, с участием одной из заинтересованных сторон — инвестора проекта. Для каждого предлагаемого варианта рассматриваются специфические условия, которым адекватна данная модель, при этом анализируются методы решения, которые также могут быть многовариантны. Использование данных моделей направлено на повышение эффективности деятельности инвестора, обеспечивает реализацию его компетенций и достижение поставленных целей при различных условиях осуществления проекта.

*Инвестор* — это лицо, вкладывающее собственные, заемные или иные привлеченные средства в проектную деятельность. Инвесторы осуществляют капитальные вложения на территории Российской Федерации в соответствии с законодательством страны (Федеральный закон от 25 февраля 1999 г. № 39-ФЗ «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений» и ГК РФ). Инвесторами могут быть физические и юридические лица, создаваемые на основе договора о совместной деятельности и не имеющие статуса юридического лица объединения юридических лиц, государственные органы, органы местного самоуправления, а также иностранные субъекты предпринимательской деятельности. Инвестор самостоятельно определяет объемы, направления, размеры и эффективность инвестиций и по своему усмотрению привлекает на договорной основе физических лиц или юридические лица, необходимые ему для реализации инвестиций.

Важнейшая предпосылка финансового успеха инвестора — тщательный отбор проектов для инвестирования. По оценкам американской инвестиционно-консалтинговой компании Vaganov International Group, только одно из десяти бизнес-предложений получает финансирование. В силу малого числа отечественных инвесторов в России доля получающих инвестиции проектов еще меньше. Процедура анализа и отбора проектов может сильно варьироваться в зависимости от пристрастий и привычек конкретных инвесторов. Основными источниками информации о проектах становятся описания, включающие прогнозные значения прибыли (по годам, по векам) и возможные риски инвестора.

Все инвестиции, так или иначе, направлены на получение прибыли с низкой степенью риска (чаще всего низкая степень риска не обеспечивает высокой прибыльности). Кроме того, инвестор стремится обеспечить высокую степень ликвидности вложений. Степень ликвидности зависит от того, как легко и быстро инвестор сможет найти покупателя на свою долю проекта (при желании досрочного расторжения договора с заказчиком).

Пример специфических характеристик и параметров управления проектами в интересах инвестора приведен в табл. 2.3.1 (строка 1).

#### 4.2. Вербальная постановка задач инвестора

В литературе достаточно подробно исследована проблема оптимального распределения средств между несколькими инвестиционными предложениями — оптимизация инвестиционного портфеля [4, 10, 15, 20, 22]. Каждый из инвестиционных проектов с финансовой точки зрения описывается как временной ряд чистых денежных потоков, связанных с проектом. Обычно, кроме того, каждый из инвестиционных проектов (инвестиционных замыслов) имеет время актуальности, т.е. его реализация может быть начата в определенном интервале времени (дат). Таким образом, с математической точки зрения задача оптимизации инвестиционного портфеля сводится, во-первых, к выбору подмножества проектов, подлежащих реализации, а во-вторых, к определению временного графика их осуществления. Основную проблему, которую необходимо решать при формировании инвестиционного портфеля, составляет распределение инвестором некоторой суммы денег по различным альтернативным вложениям, включая и долевое участие в инвестиционных проектах, так, чтобы наилучшим образом достичь своих целей.

В первую очередь инвестор стремится к получению максимальной прибыли от инвестированных средств. В то же время любое вложение капитала связано не только с ожиданием получения дохода, но и с постоянной опасностью проигрыша, а, значит, в оптимизационных задачах по формированию инвестиционного портфеля необходимо учитывать и риски. Смысл портфеля — улучшить условия инвестирования, придав совокупности проектов такие инвестиционные характеристики, которые недостижимы с позиции отдельно взятого проекта и возможны только при их комбинации.

В данном параграфе мы рассматриваем проблему финансирования одного, но сложного проекта, представленного планом по вехам (пусковым комплексам). При этом возникают разные варианты реализации проекта, отличающиеся сроками ввода в эксплуатацию отдельных пусковых комплексов, объемами их финансирования (в заданных пределах), потоками прогнозируемой прибыли, оценками ликвидности проекта и степени риска недополучения прибыли. Методы формирования временного ряда чистых денежных потоков для разных типов инвестиционных проектов различны, также различны и способы оценки рисков.

Риск, или вариация доходности, может быть рассчитан с помощью такого статистического показателя, как среднеквадратическое отклонение. При формировании инвестиционной стратегии будем рассматривать динамические прогнозы движения денежных и материальных потоков, бизнес-планы по вехам с конкретными оценками будущих денежных потоков. В данной главе примем эти параметры заданными для каждого варианта реализации рассматриваемого проекта в планируемый интервал времени, причем для общности моделей будем считать их зависимыми от начального момента инвестиций. В дальнейшем изложении будем использовать как известные подходы к оптимизации инвестиционного портфеля, так и оригинальные модели применительно к сложному проекту, представленному совокупностью возможных вариантов его реализации.

Следует отметить, что исходный для рассматриваемых ниже моделей план по вехам формируется командой проекта на основе анализа его стохастической сетевой модели. Также при расчете многих показателей проекта, входящих в ограничения представленных моделей, учитывается их стохастический характер.

#### 4.3. Базовая математическая модель деятельности инвестора

Задаются следующие исходные данные:

$I_t^k$  — требуемый объем инвестиций в  $k$ -й вариант проекта в период  $t$ ;

$V_t^k$  — прогноз прибыли от реализации  $k$ -го варианта проекта в период  $t$ ;

$B_t^{\max}(r)$  — максимально возможный объем кредитования в период  $t$  по ставке  $r$ ;

$B_t^\tau$  — план погашения в период  $t$  кредита (основного долга и процентов), взятого в период  $\tau$  в объеме  $B_\tau$ ;

$Q_t$  — собственные средства инвестора, которые он может вложить в проект в период  $t$ ;

$r_{\min}$  — минимально возможная ставка кредитования;

$d$  — ставка дисконтирования.

Чистый дисконтированный доход (NPV)  $k$ -го варианта проекта при объеме финансирования его собственными силами в объеме  $x_t^k$  будет вычисляться по формуле:

$$NPV^k = \sum_{t=1}^n \frac{V_t^k - x_t^k - \sum_{\tau=0}^{t-1} B_t^\tau}{(1+d)^{-t}}. \quad (2.4.1)$$

Вербальная постановка задачи: найти такие объемы финансирования проекта собственными силами и объемы кредитования по периодам, которые удовлетворяют ограничениям по необходимому объему инвестиций, по собственным средствам и по возможным объемам кредитования, максимизируя при этом чистый дисконтированный доход проекта.

Тогда математическая модель данной задачи будет выглядеть следующим образом: найти  $\{x_t^k\}$  — объемы финансирования проекта собственными силами,  $B_t(r)$  — объемы кредитования в период  $t$  по ставке  $r$  и наиболее эффективный вариант  $k_3$ , при котором:

$$NPV^{k_3} = \max_k NPV^k; \quad (2.4.2)$$

$$I_t^k = x_t^k + B_t(r) \quad (2.4.3)$$

— обеспечение необходимого объема инвестиций;

$$x_t^k \leq Q_t \quad (2.4.4)$$

— ограничение по собственным средствам;

$$B_t(r) \leq B_t^{\max(r)} \quad (2.4.5)$$

— ограничение по возможным объемам кредитования;

$$r \geq r_{\min}.$$

Данная модель реализует многие компетенции, входящие в состав специфических характеристик управления проектам со стороны инвестора. Действительно, ожидания (возврат вложений с максимально возможной прибылью), цель в проекте (получение прибыли путем инвестирования) и критерии (максимизация прибыли) задаются целевой функцией (2.4.2), видение проекта (процесс движения денег, динамика в центрах затрат и доходов), ограничения (объемы средств, сроки, кредитные ставки), элементы стратегии (планирование и прогноз) учитываются в формулах (2.4.3)–(2.4.5).

Такие элементы стратегии как контроль и регулирование реализуются за счет получения данных о фактических объемах инвестирования (включая объемы кредитования), корректировки прогнозной информации и пересчета задачи по предложенной модели (при необходимости).

Риски невозврата кредитов и недополучения прибыли могут быть учтены в дополнительном ограничении:

$$V_t^k \geq V_t^{\min}, \quad (2.4.6)$$

где  $V_t^{\min}$  — минимально допустимый объем прибыли, гарантирующий возврат кредитов и получение минимально желаемой нормы прибыли.

Предложенная модель использует все основные инструменты УП, соответствующие данной заинтересованной стороне: план по вехам, бизнес-план, бюджет, план финансирования. В процессе функционирования модели формируется сводная отчетность. Таким образом, использование данной модели обеспечивает реализацию всех основных функций управления проектом, что способствует повышению эффективности деятельности инвестора.

#### 4.4. Многокритериальная математическая модель деятельности инвестора с детерминированными объемами финансирования (минимизация риска и максимизация ожидаемой прибыли)

Пусть инвестор обладает финансовыми средствами в объеме  $Q = \sum_{t=0}^T Q^t$  на интервале  $[0, T]$ . Эти финансовые средства он может использовать для вложения в один из вариантов проекта  $k$  ( $k = 1, \dots, n$ ), требующий финансирования в период  $t$  в объеме  $V_k^t$ . Пусть чистый дисконтированный доход варианта проекта  $k$  на начало периода  $t$  составляет  $NPV_k^t$ , а прогнозируемая оценка риска недополучения прибыли составляет  $r_k^t$ . Необходимо выбрать такой вариант реализации проекта и такие объемы инвестиций, которые обеспечивали бы максимальную ожидаемую доходность для некоторого

уровня риска или минимальный риск для некоторого значения ожидаемой доходности.

Проблема выбора варианта реализации проекта может быть сформулирована как следующая двухкритериальная задача целочисленного программирования с булевыми переменными. Найти:

$$x_k = \begin{cases} 1, & \text{если инвестируем в вариант проекта } k, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

При ограничениях:

$$\sum_{k=1}^n V_k^t \cdot x_k \leq Q^t, \forall t \in [0, T] \quad (2.4.7)$$

Целевые функции:

— максимизация ожидаемой доходности:

$$F_1 = \sum_{t=0}^T (\sum_{k=1}^n x_k \cdot NPV_k^t) (1 + d)^{-t} \rightarrow \max; \quad (2.4.8)$$

— минимизация риска:

$$F_2 = \sum_{t=0}^T (\sum_{k=1}^n x_k \cdot r_k^t) (1 + d)^{-t} \rightarrow \min. \quad (2.4.9)$$

Оценку риска  $r_k^t$  рассматриваем как среднеквадратичное отклонение ожидаемого чистого дисконтированного дохода инвестиции  $k$ , начатой в период  $t$  в объеме  $V_k^t$  от всех возможных реализаций данного проекта, начатых в тот же период. Эти оценки имеют ту же размерность, что и  $V_k^t$  и  $NPV_k^t$ . Коэффициент дисконтирования  $d$  принимаем как минимально желаемый уровень доходности наших инвестиций. Поскольку в дальнейшем не будет производиться какой-либо свертки критериев, а будет использован метод последовательных уступок, то коэффициент дисконтирования  $d$  может быть применен и для второй целевой функции в качестве меры эквивалентности значений для среднеквадратичного отклонения доходности разных временных периодов.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать метод последовательных уступок, заключающийся в следующем: на первом этапе решаем задачу (2.4.7)–(2.4.8) без учета второго критерия (2.4.9). Получаем решение  $\{x_k(1)\}$  со значением первой целевой функции  $F_1^1$ . Вычисляем значение второго критерия  $F_2^1$  при данном решении. Делаем уступку по первому критерию (например, в размере 5%) –  $F_1^2 = 0,95F_1^1$  и переводим первый критерий в ограничение:

$$\sum_{t=0}^T (\sum_{k=1}^n x_k \cdot NPV_k^t) (1 + d)^{-t} \geq F_1^2. \quad (2.4.10)$$

Затем решаем исходную задачу (2.4.7)–(2.4.8) с дополнительным ограничением (2.4.10), минимизируя вторую целевую функцию (2.4.9). Получаем новое решение  $\{x_k(2)\}$  со значением первой целевой функции  $F^2_1 \leq F^1_1$  и второго критерия  $F^2_2 \geq F^1_2$ . Продолжаем этот пошаговый процесс, получая последовательно решения  $\{x_k(1)\}, \{x_k(2)\}, \dots, \{x_k(N)\}$  с соответствующими значениями критериев.

Любое из полученных решений является Парето-оптимальным и может быть принято к реализации. При этом мы получаем упорядоченную последовательность вариантов проекта — при убывающей прибыльности убывает и риск ее недополучения. Полученные варианты наглядно демонстрируют взаимосвязь между прибыльностью и риском и позволяют принять осознанный вариант проекта.

В предложенной выше постановке выбор варианта проекта позволяет однозначно определить объем инвестиций в него по годам —  $V^t_k$ .

#### 4.5. Многокритериальная математическая модель деятельности инвестора с переменными объемами финансирования

Усложним задачу, допустив, что объемы инвестиций в проекты  $k$  ( $k=1, \dots, n$ ) в период  $t$  могут варьироваться в пределах от  $V^t_{kmin}$  до  $V^t_{kmax}$ . При этом чистый дисконтированный доход варианта проекта  $i$  на начало периода  $t$  при минимальном и максимальном объеме инвестиций составляет соответственно  $NPV^t_{kmin}$  и  $NPV^t_{kmax}$ , а прогнозируемая оценка риска —  $r^t_{kmin}$  и  $r^t_{kmax}$ . Статистический анализ показывает, что чистый дисконтированный доход имеет постоянную эластичность при частично инвестируемом проекте, следовательно, он может быть описан степенной функцией  $X^\alpha$ , где  $X$  — объем инвестиций. Найдем  $\alpha$ .

Имеем  $NPV^t_{kmax} = NPV^t_{kmin} \left( \frac{V^t_{kmax}}{V^t_{kmin}} \right)^\alpha$ , откуда:

$$\alpha = \frac{\ln(NPV^t_{kmax}) - \ln(NPV^t_{kmin})}{\ln(V^t_{kmax}) - \ln(V^t_{kmin})}. \quad (2.4.11)$$

Прогнозируемая оценка риска выражается функцией  $X^\beta$ , где:

$$\beta = \frac{\ln(r^t_{kmax}) - \ln(r^t_{kmin})}{\ln(V^t_{kmax}) - \ln(V^t_{kmin})}. \quad (2.4.12)$$

Математическая модель выбора варианта проекта в этом случае примет следующий вид.

Найти:

$$x_k = \begin{cases} 1, & \text{если инвестируем в вариант проекта } k, \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (2.4.13)$$

$V_k^t$  — объемы инвестирования в  $k$ -й вариант проекта в период  $t$ .

При ограничениях:

$$V_{kmin}^t \leq V_k^t \leq V_{kmax}^t, \quad (2.4.14)$$

$$\sum_{k=1}^n V_k^t \cdot x_k \leq Q^t, \forall t \in [0, T]. \quad (2.4.15)$$

— максимизация ожидаемой доходности:

$$F_1 = \sum_{t=0}^T (\sum_{k=1}^n x_k \cdot (V_k^t)^\alpha) (1+d)^{-t} \rightarrow \max; \quad (2.4.16)$$

— минимизация риска:

$$F_2 = \sum_{t=0}^T (\sum_{k=1}^n x_k \cdot (V_k^t)^\beta) (1+d)^{-t} \rightarrow \min, \quad (2.4.17)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  вычисляются по формулам (2.4.11) и (2.4.12).

Представленная модель позволяет находить объемы частичного инвестирования пусковых комплексов в допустимых пределах, при этом весь проект будет обладать максимальной доходностью при заданном (приемлемом) уровне риска.

#### 4.6. Математическая модель деятельности инвестора, максимизирующая степень ликвидности проекта

Специфика проекта определяет зависимость степени ликвидности проекта от определяющих ее факторов. В данной модели в качестве таких факторов рассмотрим объемы финансирования отдельных этапов и проекта в целом, сроки реализации проекта и его отдельных пусковых комплексов.

Пусть  $F(K, T)$  — функция зависимости степени ликвидности проекта от вектора  $K$  (объемы финансирования проекта и отдельных его этапов) и вектора  $T$  (сроки реализации проекта и его отдельных пусковых комплексов). Эта функция определяется экспертно, чаще всего на дискретном наборе значений факторов  $P(K, T)$  (задаются наиболее возможные варианты плана финансирования проекта и его частей и соответствующие сроки реализации). Каждый из множества возможных (допустимых) вариантов плана реализации проекта  $k \in P(K, T)$  должен удовлетворять ограничениям модели, которые состоят из ресурсных (2.4.14–2.4.15) и временных:

$$t_{ij}^k \leq T_j^k - T_i^k,$$

где  $t_{ij}^k$  — продолжительность работы  $(i, j)$  укрупненного сетевого графика  $k$ -го варианта проекта,

$T_i^k$  — срок свершения  $i$ -го события укрупненного сетевого графика  $k$ -го варианта проекта.

Функция  $F(K, T)$  может носить весьма специфический характер в зависимости от типа проекта. В дальнейшем авторы планируют разработать методические рекомендации по формированию данной функции для проектов разного вида и сложности. Кроме того, необходимо учесть дополнительные временные ограничения, налагаемые на сроки выполнения отдельных комплексов работ.

Целевой функцией в данной модели является  $F(K, T)$ , т.е. необходимо максимизировать степень ликвидности проекта при соблюдении временных и ресурсных ограничений.

#### 4.7. Многокритериальная математическая модель деятельности инвестора

К модели, рассмотренной в предыдущем разделе, добавим целевые функции (2.4.16) и (2.4.17). Таким образом, формируется математическая модель задачи по выбору варианта финансирования проекта, удовлетворяющего временным и ресурсным ограничениям, при этом максимизирующего прибыльность, минимизирующего риски и имеющего максимальную степень ликвидности. Множество альтернатив  $P(K, T)$  формирует команда проекта (см. главу 7), используя при этом стохастическую и альтернативную природу сетевой модели проекта, параллельно формируются и варианты планов обеспечения проекта необходимыми ресурсами и варианты планов налогообложения. Данные варианты планов при согласовании с поставщиком и заказчиком могут, в свою очередь, получать оценки степени ликвидности, связанные с возможностями поставщика и требованиями заказчика. В этих случаях целесообразно включать в модель и данные критерии отбора вариантов. Возникает многокритериальная задача по выбору варианта реализации проекта. В общем виде задача не имеет решения, т.е. не существует плана реализации проекта, удовлетворяющего всем перечисленным критериям, но в теории и практике решения подобных задач имеются методологические подходы, обеспечивающие выбор приемлемых вариантов. Подробно они будут рассмотрены в п. 5.5.

## Глава 5. Модели и методы проектного управления для заказчика

### 5.1. Основные понятия

В данной главе рассматриваются математические модели, предназначенные для управления проектной деятельностью на всех фазах жизненного цикла с участием одной из заинтересованных сторон — заказчика проекта. Впервые в явном виде сформулирована и поставлена задача управления конфигурацией проекта и продукта. Использование данных моделей направлено на повышение эффективности деятельности заказчика, обеспечивает реализацию его компетенций и достижение поставленных целей при различных условиях осуществления проекта.

*Заказчик* — юридическое или физическое лицо, в интересах которого выполняется проект, как правило, будущий владелец продукта проекта. Основная функция заказчика заключается в выполнении комплекса мероприятий, конечной целью которых является обеспечение совместно с другими участниками достижения результата проекта. Главной заботой при управлении проектом у заказчика является управление предметной областью проекта. При этом основными объектами внимания Заказчика являются:

- *управление требованиями*. Процедуры управления специальными требованиями заказчика к результатам проекта, а также для оборудования, материалов, услуг и процедур управления, включающих количественные и качественные характеристики.
- *управление конфигурацией продукта и проекта*. Процедуры, используемые для технического и административного руководства работами, связанными с созданием, поддержанием и контролем за изменениями в конфигурации проекта и продукта на протяжении его жизненного цикла.
- *управление составом работ*. Процессы, необходимые для обеспечения того, что в проект включены все требуемые работы и только те работы, которые необходимы для успешного завершения проекта.

Пример специфических характеристик и параметров управления проектами в интересах заказчика приведен в табл. 2.3.1 (строка 2).

## 5.2. Математическая модель деятельности заказчика, минимизирующая степень изменения конфигурации проекта

Дано: комплексный укрупненный план проекта в виде обобщенной сетевой модели, который разрабатывается командой проекта на основе детализированной модели проекта (см. главу 8), которая в свою очередь разрабатывается и используется руководителем проекта, его командой и генконтрактором. При этом задаются следующие исходные данные:

$T_i^p, T_i^n$  — ранние и поздние сроки свершения событий  $i$  в укрупненной сетевой модели;

$a_{ij}, b_{ij}$  — минимальные и максимальные оценки продолжительности работ укрупненного графика;

$r_{ij}$  — затраты на производство работ укрупненного графика;

$I_t$  — бюджетные ограничения временного интервала  $t$  (год, квартал, месяц);

$\mathcal{E}OK_{ij}$  — экспертные оценки предельно допустимой степени изменения конфигурации работ.

Под изменением конфигурации проекта будем понимать нарушение сроков выполнения работ, исключение работ из реализации и их замену.

Для каждой работы по десятибалльной системе экспертно оценивается степень изменения конфигурации:

$\alpha_{ij}(t)$  — нарушение сроков выполнения работы на  $t$  дней;

$\beta_{ij}$  — исключение работы из реализации;

$\gamma_{ij}$  — замена работы или изменение ее характеристик,

где значения  $\alpha, \gamma, \beta$ , близкие к 0, показывают малозначимые изменения, близкие к 5 — среднезначимые, близкие к 10 — недопустимые изменения. Остальные значения используются для промежуточных состояний.

Определим степень изменения конфигурации проекта как интегрированный показатель (ИПК), вычисляемый с помощью некоторой функции ФОК (заданной экспертно) по показателям качества выполнения отдельных работ укрупненного плана  $PK_{ij}$ , задаваемым также экспертно. Статистический анализ большого числа проектов, проведенный авторами, показывает, что эти функции возрастающие, вогнутые, т.е. положительные первые и вторые производные (возрастают значения, как самих функций, так и темпов ее роста). При небольших значениях аргумента (малых изменениях конфигурации работ) функции ФОК могут рассматриваться как степенные функции с показателем степени  $a > 1$ . Кстати, данный показатель

$a$  является эластичностью, т.е. показывает, на сколько процентов возрастет степень изменения конфигурации проекта при изменении качества выполнения отдельных работ на 1%.

*Вербальная постановка задачи:*

Разработать укрупненный календарный план реализации проекта, удовлетворяющий ограничениям по отдельным директивным срокам, ограничениям по объемам финансирования, по качеству выполнения отдельных работ, с учетом показателя надежности проекта, минимизируя при этом степень изменения конфигурации проекта.

Математическая модель задачи будет выглядеть следующим образом:

Найти такие сроки свершения событий укрупненного графика  $T_i$  и продолжительности укрупненных работ  $t_{ij}$ , при которых:

$$T_i^p \leq T_i \leq T_i^n, \quad (2.5.1)$$

$$a_{ij} \leq t_{ij} \leq b_{ij} + \delta_{ij}, \quad (2.5.2)$$

где  $\delta_{ij}$  — нарушение сроков выполнения работы  $(i, j)$ ;

$$\sum_{(i,j) \in \Omega_t} r_{ij} \cdot \lambda_{ij}^t \leq I_t, \quad (2.5.3)$$

— ограничение по объемам финансирования в период  $t$ ,

где  $\Omega_t$  — множество работ, выполняемых в интервале  $t$ ;

$\lambda_{ij}^t$  — доля работы  $(i, j)$ , выполняемой в период  $t$ .

$$\alpha_{ij}(\delta_{ij}) + \beta_{ij} + \gamma_{ij} \leq ЭОК_{ij}; \quad (2.5.4)$$

В данной модели необходимо учитывать суммарный риск проекта — риск недостижения целей, который определяет надежность проекта. При этом под надежностью проекта необходимо понимать, с одной стороны, свойство проекта, проявляющееся в способности быть реализованным при определенных условиях взаимодействия с внешней средой, а с другой стороны — количественную оценку проекта, однозначно увязывающую вероятность реализации со временем или другими параметрами, характеризующими процесс реализации при заданных условиях.

Для количественной оценки надёжности используют так называемые единичные показатели надёжности (характеризуют только одно свойство надёжности) и комплексные показатели надёжности (характеризуют несколько свойств надёжности).

Таковыми показателями могут быть: оценка вероятности своевременного или досрочного завершения строительства объекта, положительная репутация Заказчика и его способность выполнить финансовые обязательства

перед всеми *стейкхолдерами*, степень готовности, соответствие фазы строительства графику, аккредитация в банках, страховые гарантии, нагрузка за счет обременений и сетей, конкурентное окружение, схема продаж, состояние исходно-разрешительной документации и пр.

В [19] предложена модель надежности сетевого проекта как сложной технической системы, в которой в качестве количественного показателя надежности работы — компоненты проекта — принимается вероятность ее безотказного выполнения  $P_{\text{над}}$ , а в качестве показателя надежности проекта — полученная гарантированная оценка снизу  $O_{\text{над}}$ . На этой основе сформулирована задача календарного планирования не только с ресурсными ограничениями, но и с учетом показателя надежности проекта. Представляется целесообразным использовать предложенный метод расчета надежности проекта для рассматриваемой модели деятельности заказчика. Только здесь в качестве исходной сетевой модели рассматривается комплексный укрупненный план проекта в виде обобщенной сетевой модели. Итак, потребуем:

$$P_{\text{над}} \geq O_{\text{над}}, \quad (2.5.5)$$

$$\Phi OK(ПК_{ij}) \rightarrow \min, \quad (2.5.6)$$

где аргументом функции  $\Phi OK$  является вектор качества выполнения всех работ укрупненного плана.

Целевая функция (2.5.6) определяется эмпирическим путем экспертами и может носить весьма специфический характер в зависимости от типа проекта.

В результате использования данной модели формируется укрупненный план выполнения работ проекта, обеспеченный финансированием, необходимой степенью надежности и оптимальный по качеству.

В рассматриваемой модели (и в последующем изложении) все параметры обобщенной укрупненной сети носят детерминированный характер. Вероятностные и альтернативные сети подробно проанализированы в части 1 и будут использованы в описании математических моделей управления Командой проекта в главе 7. Там же будет предложен алгоритм расчета показателей для оценки уровня надёжности проекта, входящие в ограничение (2.5.5). Часть рассмотренных в настоящей главе показателей будет заменена их  $p$ -квантильной оценкой.

Спецификой модели является экспертное определение показателей качества (степени изменения конфигурации по каждой укрупненной работе и оценки их предельно допустимых значений), а также экспертное же зада-

ние вида целевой функции, служащей для вычисления интегрированного показателя качества проекта. Представляется нецелесообразным строить универсальную систему перечисленных показателей в силу уникальности многих проектов и различной важности входящих в него работ, поэтому задание экспертами (представителями заказчика) оценок качества выполнения работ проекта является логичным и методически обоснованным.

### 5.3. Математическая модель деятельности заказчика, минимизирующая степень отклонения от плана финансирования проекта

Дано: комплексный укрупненный план проекта в виде обобщенной сетевой модели (как и в модели 5.2).

Пусть  $T_i^p, T_i^n$  — ранние и поздние сроки свершения событий  $i$  в укрупненной сетевой модели;

$a_{ij}, b_{ij}$  — минимальные и максимальные оценки продолжительности работ укрупненного графика;

$r_{ij}$  — затраты на производство работ укрупненного графика;

$I_t$  — бюджетные ограничения временного интервала  $t$  (год, квартал, месяц);

$\varepsilon_{OK_{ij}}$  — экспертные оценки предельно допустимой степени изменения конфигурации работ.

Под изменением конфигурации проекта будем понимать, как и в модели 5.2, нарушение сроков выполнения работ, исключение работ из реализации и их замену. Примем те же обозначения:

$\alpha_{ij}(t)$  — нарушение сроков выполнения работы на  $t$  дней;

$\beta_{ij}$  — исключение работы из реализации;

$\gamma_{ij}$  — замена работы или изменение ее характеристик,

где значения  $\alpha, \gamma, \beta$ , близкие к 0, показывают малозначимые изменения, близкие к 5 — среднезначимые, близкие к 10 — недопустимые изменения. Остальные значения используются для промежуточных состояний.

Вербальная постановка задачи:

Сформировать укрупненный план выполнения работ проекта, степень изменения конфигурации которого лежит в заданных пределах, имеющий минимальные отклонения от плана финансирования, согласованного с Инвестором.

Математическая модель задачи будет выглядеть следующим образом:

Найти такие сроки свершения событий укрупненного графика  $T_i$  и продолжительности укрупненных работ  $t_{ij}$ , при которых:

$$T_i^p \leq T_i \leq T_i^n, \quad (2.5.7)$$

$$a_{ij} \leq t_{ij} \leq b_{ij} + \delta_{ij}, \quad (2.5.8)$$

где  $\delta_{ij}$  — нарушение сроков выполнения работы  $(i, j)$ ;

$$\alpha_{ij}(\delta_{ij}) + \beta_{ij} + \gamma_{ij} \leq \text{ЭОК}_{ij}, \quad (2.5.9)$$

степень изменения конфигурации работ не должна превышать ее предельно допустимой экспертной оценки.

В качестве целевой функции возьмем взвешенную сумму отклонений от плана финансирования проекта:

$$G = \sum_{\forall t} \mu_t \left| \sum_{(i,j) \in \Omega_t} r_{ij} \lambda_{ij}^t - I_t \right| \rightarrow \min, \quad (2.5.10)$$

где  $\Omega_t$  — множество работ, выполняемых в интервале  $t$ ;

$\lambda_{ij}^t$  — доля работы  $(i, j)$ , выполняемой в период  $t$ ;

$\mu_t$  — весовой коэффициент периода  $t$ , задаваемый экспертно (логично предположить, что ранние периоды имеют больший вес по сравнению с более поздними, т.к. на ближайших периодах труднее изменить финансирование проекта).

#### 5.4. Математическая модель деятельности заказчика, максимизирующая степень качества проекта

В данном и в следующем подпараграфе приводятся только вербальные постановки задач, т.к. их математические модели подобны рассмотренным в 5.3, они отличаются только видом целевой (целевых) функции. Кроме того, в 5.5 рассматриваются и некоторые подходы к решению сформулированных задач.

Можно рассматривать множество факторов, определяющих качество проекта — это и экологические факторы, социальные, технические, финансовые и пр. Специфика проекта определяет зависимость качества проекта от определяющих его факторов. В данной модели в качестве определяющих качество факторов рассмотрим объемы финансирования отдельных этапов и в целом проекта, сроки реализации проекта и его отдельных пусковых комплексов.

Пусть  $F(K, T)$  — функция зависимости качества проекта от вектора  $K$  (объемы финансирования проекта и отдельных его этапов) и вектора  $T$

(сроки реализации проекта и его отдельных пусковых комплексов). Эта функция определяется экспертно, чаще всего на дискретном наборе значений определяющих ее факторов  $P(K, T)$  (задаются наиболее возможные варианты плана финансирования проекта и его частей и соответствующие сроки реализации). Каждый из множества возможных (допустимых) вариантов плана реализации проекта  $p \in P(K, T)$  должен удовлетворять ограничениям модели 5.3. Кроме того, необходимо учесть дополнительные временные ограничения, накладываемые сроками выполнения отдельных комплексов работ.

Целевой функцией в данной модели является  $F(K, T)$ , т.е. необходимо максимизировать качество проекта при соблюдении временных и ресурсных ограничений.

#### 5.5. Многокритериальная математическая модель деятельности заказчика

К модели, рассмотренной в 5.4, добавим целевые функции 2.6.6 и 2.6.10. Таким образом, формируется математическая модель задачи нахождения плана реализации проекта, удовлетворяющего временным и ресурсным ограничениям, при этом максимизирующего качество проекта, минимизирующего степень изменения конфигурации проекта и имеющего минимальные отклонения от плана финансирования, согласованного с Инвестором. Множество альтернатив  $P(K, T)$  формируется Командой проекта, при этом параллельно формируются и варианты планов обеспечения необходимыми ресурсами и варианты планов налогообложения. Данные варианты планов при согласовании с Поставщиком, Регулирующими органами могут в свою очередь получать оценки качества (связанные с неравномерностью поставок, возможностями поставщика, требованиями Регулирующих органов). В этих случаях целесообразно в модель включать и данные критерии отбора вариантов. Возникает многокритериальная задача формирования плана реализации проекта. В общем виде задача не имеет решения, т.е. не существует плана реализации проекта, удовлетворяющего всем перечисленным критериям. Но в теории и практике для решения подобных задач имеются методологические подходы, обеспечивающие выбор приемлемых вариантов [13]. Ниже будут рассмотрены основные из них. При относительной простоте рассматриваемых методов (в частности,

метод Саати), они позволяют получать достаточно объективные и эффективные решения.

В нижеприведенный перечень сознательно не включены различные варианты свертки критериев (аддитивные, мультипликативные, смешанные) в связи с трудностью и практической невозможностью их нормализации (то есть обеспечения одинаковой размерности и важности). Определение нормирующих весовых коэффициентов в данной задаче носит весьма субъективный характер.

### *Оптимизация по Парето*

Имеем задачу с  $k$  критериями  $F_1, F_2, \dots, F_k$ . Пусть в составе множества возможных решений есть два решения  $p_1, p_2$  такие, что значения всех критериев  $F_1, F_2, \dots, F_k$  для первого решения лучше значений соответствующих критериев для второго решения. Тогда из состава множества  $P(K, T)$  решение  $p_2$  вытесняется (говорят «доминируется») решением  $p_1$ .

В результате такой процедуры отбрасывания заведомо невыгодных решений во множестве  $P(K, T)$  сохраняются только *эффективные* («по Парето» или «паретовские») решения, характерные тем, что ни для одного из них не существует доминирующего решения. Множество эффективных по Парето решений легче обозримо, чем все множество  $P(K, T)$ . Что касается окончательного *выбора решения*, то он по-прежнему остается прерогативой человека. Только человек, с его непревзойденным умением решать неформальные задачи, принимать компромиссные решения (не строго-оптимальные, но *приемлемые* по ряду критериев) может взять на себя ответственность за окончательный выбор.

Однако сама процедура выбора решения, будучи повторена неоднократно, может послужить основой для выработки некоторых формальных правил, применяемых уже без участия человека. Речь идет о так называемых «эвристических» методах выбора решений. Предположим, что Заказчик многократно выбирает компромиссное решение в многокритериальной задаче нахождения плана реализации проекта, решаемой при разных условиях  $\alpha$ . Набирая статистику по результатам выбора, можно разработать алгоритм, в общем случае зависящий от условий  $\alpha$  и самих показателей  $F_1, F_2, \dots$ , и воспользоваться таким алгоритмом для выбора решения, на этот раз уже автоматического, без участия человека.

В некоторых случаях очень полезной оказывается процедура выбора решения в *диалоговом интерактивном* режиме [9], когда компьютер последовательно выводит на экран серию вопросов о значениях управляемых

параметрах проекта и варианты ответов (или допустимые интервалы значений), а Заказчик выбирает один из них. Каждый следующий вопрос и варианты ответов выбираются Заказчиком в зависимости от ответа на предыдущий вопрос и содержимого базы знаний системы. Результатом такого диалога может стать вариант проекта, а также описание рекомендуемых мероприятий.

*Интерактивный режим* позволяет пользователю: выбрать вариант постановки задачи оптимизации (из заданной пользователем совокупности критериев оптимальности и соответствующих наборов оптимизирующих переменных); выбрать варианты расчета (по уровню детализации моделей); выбрать метод оптимизации из имеющихся в библиотеке и задать его параметры; выбрать и задать параметры метода оптимизации; выбрать варианты печати результатов моделирования в начальной и конечной точке поиска, промежуточных результатов оптимизации.

Значение *диалогового интерактивного режима взаимодействия* в процессе выбора решения трудно переоценить. Оперативный диалог Заказчика и ЭВМ часто необходим, так как обычно реальные задачи при выборе оптимальных параметров проекта включают трудно формализуемые этапы, требующие вмешательства человека, принятия с его стороны тех или иных решений. Кроме того, оперативная связь с ЭВМ реализует возможность просмотра за короткое время множества вариантов технических решений и выбора оптимального, ускоряет процессы поиска информации, создает условия для ее эффективного использования.

#### *Метод последовательных уступок*

Расположим показатели  $F_1, F_2, \dots$  в порядке убывающей важности. Сначала ищется решение, обращающее в экстремум первый (важнейший) показатель  $F_1 = F_1^*$ . Затем назначается, исходя из практических соображений, с учетом той точности, с которой нам известны входные данные, некоторая «уступка»  $\Delta F_1$ , которую мы согласны сделать (изменив на величину уступки экстремальное значение  $F_1^*$ ) для того, чтобы добиться экстремума второго показателя  $F_2$ . Таким образом, показатель  $F_1$  с учетом уступки переводится в ограничение, и при этом ограничении ищем решение, обращающее в экстремум  $F_2$ . Далее снова назначаем «уступку»  $\Delta F_2$ , ценой которой можно обеспечить экстремум  $F_3$ , и т.д. Такой способ построения компромиссного решения хорош тем, что здесь сразу видно, ценой какой «уступки» в одном показателе приобретается выигрыш в другом и какова цена этого выигрыша.

В рассматриваемой многокритериальной математической модели деятельности заказчика критерии могут иметь разные приоритеты, но наиболее целесообразным представляется следующий порядок:

$F_1 = F(K, T)$  — функция зависимости качества проекта от вектора  $K$  (объемы финансирования проекта и отдельных его этапов) и вектора  $T$  (сроки реализации проекта и его отдельных пусковых комплексов) из модели 6.4;

$F_2 = \text{ФОК}$  — степень изменения конфигурации проекта из модели 6.3;

$F_3 = G$  — взвешенная сумма отклонений от плана финансирования проекта из модели 6.4;

$F_4$  — качество плана поставок (оценка вариантов производится совместно с Поставщиком);

$F_5$  — качество плана налогообложения (оценка вариантов производится совместно с Регулирующими органами).

#### *Метод иерархий*

Метод анализа иерархий (МАИ), предложенный Т. Саати в конце семидесятых годов прошлого века [17], так же относится к многокритериальным методам принятия решений. Его преимущество заключается в простоте используемой экспертизы, которая предполагает декомпозицию существующей проблемы на все более простые составляющие части. В результате такой процедуры определяется относительная значимость исследуемых альтернатив для всех критериев, находящихся в иерархии, выражаемая численно в виде векторов приоритетов.

Иерархия включает в себя цель, расположенную в вершине, промежуточные уровни (критерии), и альтернативы, расположенные на нижнем уровне.

Для установления относительной важности элементов иерархии  $v_{ij}$  используется шкала отношений (табл.2.5.1), позволяющая методом попарного сравнения численно оценить степень предпочтения одного сравниваемого объекта перед другим.

В результате строится множество матриц парных сравнений. Каждая матрица  $A$  имеет следующий вид:

$A = \{a_{ij}\}$ , где  $a_{ij} = v_{ij}$  и  $a_{ji} = 1/a_{ij}$ ,  $n$  — порядок матрицы парных сравнений.

## Шкала отношений

| Степень значимости $v_{ij}$  | Определение   | Объяснение  |
|------------------------------|---|---|
| 1                            | Одинаковая значимость   | Два действия вносят одинаковый вклад в достижение цели  |
| 3                            | Некоторое преобладание значимости одного действия над другими (слабая значимость) | Имеются некоторые соображения в пользу предпочтения одного из действий, но недостаточно убедительные                |
| 5                            | Существенная или сильная значимость   | Имеются надежные суждения или логические выводы для предпочтительности одного из действий                           |
| 7                            | Очень сильная значимость  | Существуют убедительные свидетельства в пользу одного действия перед другим   |
| 9                            | Абсолютная значимость   | Степень предпочтительности устанавливается абсолютно  |
| 2, 4, 6, 8                   | Промежуточные значения между двумя соседними суждениями                           | Для ситуации, когда необходимо компромиссное суждение   |
| Обратные величины $1/v_{ij}$ | Действию $j$ при сравнении с $i$ приписывается обратное значение                  | При сопоставлении двух действий в обратном порядке значение шкалы $v_{ij}$ приобретает обратную величину $1/v_{ij}$ |

Для каждой матрицы парных сравнений рассчитываются *собственные вектора* ( $W^E$ ) — вектора приоритетов по следующему алгоритму:

нормализуется матрица  $A$ , путем деления всех ее элементов на сумму элементов каждого соответствующего столбца. Компоненты вектора  $W^E$  вычисляются как средние арифметические элементов строки нормализованной матрицы.

Соответственно, для каждой матрицы сравнений следует оценить:

— *максимальное собственное значение*  $\lambda_{max}$  по формуле

$$\lambda_{max} = e^T [A]W^E$$

(матрица  $A$  справа умножается на вектор  $W^E$  и затем все компоненты полученного вектора складываются).

— *однородность суждений* путем расчета

$$\text{индекса согласованности } ИС = (\lambda_{max} - n)/(n-1);$$

отношения согласованности  $ОС = ИС/СС$ , где  $СС$  — среднее значение (математическое ожидание) индекса согласованности случайным образом составленной матрицы парных сравнений. Приближенно  $СС$  можно вычислять по формуле

$$СС = \frac{1.98(n-2)}{n}.$$

Величина ОС должна быть порядка 10% или менее, чтобы быть приемлемой (в редких случаях до 15%). В противном случае следует перепроверить предоставленные суждения.

*Пример.* Рассматривается проблема выбора проекта из трех вариантов по четырем критериям: Качество, Изменение конфигурации, Отклонение от плана финансирования и Затраты. Иерархия критериев и альтернатив представлена на рис.2.5.2.

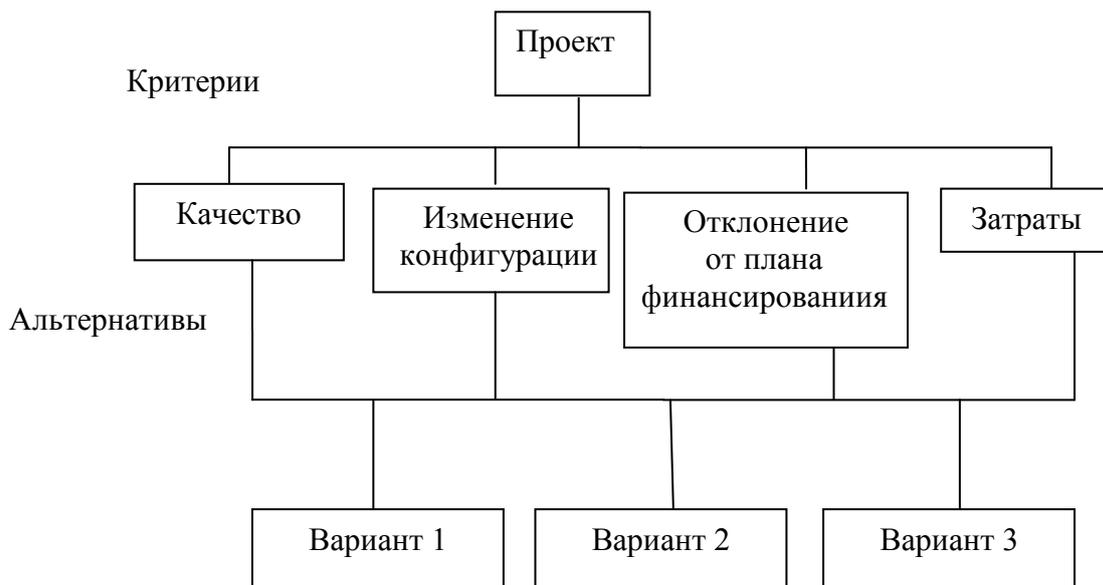


Рис. 2.5.2. Иерархия критериев и альтернатив при выборе проекта

Вначале строится матрица попарных сравнений критериев и формируется вектор приоритетов критериев. Затем для каждого критерия строится матрица попарных сравнений альтернатив, и формируются соответствующие вектора приоритетов. Полученные вектора приоритетов альтернатив по каждому критерию умножаются скалярно на вектор приоритетов критериев и, таким образом, получается результирующий вектор приоритетов альтернатив по отношению к исходной цели — выбору проекта.

Если в процессе расчетов обнаруживается несогласованность суждений экспертов по критериям или альтернативам, то в подобных случаях следует перепроверить предоставленные суждения и произвести повторные расчеты.

Приведённые выше модели позволяют проанализировать степень заинтересованности со стороны заказчика — участника проекта: определить каковы его ценности, интересы, место, роль и ответственность в проектной

деятельности, как распределены между заказчиком и другими заинтересованными сторонами деньги, власть и другие ресурсы.

В явном виде сформулирована и поставлена задача управления конфигурацией проекта и продукта. При этом приведенные выше математические модели реализуют многие компетенции Заказчика проекта. Они могут уже сейчас служить методологической основой для разработки прикладных пакетов программного обеспечения (автоматизированной системы) для решения заказчиком описанных выше задач управления проектом на всех стадиях его осуществления.

## **Глава 6. Модели и методы проектного управления для поставщика**

### **6.1. Основные понятия**

В данной главе предлагаются математические модели, предназначенные для управления проектной деятельностью на всех стадиях с участием одной из заинтересованных сторон — *генпоставщика*. Для каждого предлагаемого варианта рассматриваются специфические условия, которым адекватна данная модель, при этом предлагаются и анализируются методы решения, которые также могут быть многовариантны. Использование данных моделей направлено на повышение эффективности деятельности генпоставщика, обеспечивает реализацию его соответствующих компетенций и достижение поставленных целей при различных условиях осуществления проекта.

*Генпоставщик* — компания, управляющая процессом обеспечения поставок и закупок по контрактам с различными поставщиками.

Генпоставщик реализует согласованный, упорядоченный и систематический процесс управления поставками всех необходимых материалов и оборудования для осуществления проекта, позволяющий обеспечить выполнение проекта в заданные сроки с заданным качеством, при этом, по возможности, снизить общую стоимость закупаемых материалов, товаров и услуг при сохранении или повышении качества, услуг и технологий.

Система управления генпоставщика предназначена для решения следующих задач:

- анализ потребностей всех работ проекта в необходимых материалах и оборудовании;

- выбор оптимальных источников поставок (проведение оценки квалификации поставщиков, тендеры и аукционы);
- заключение и контроль исполнения контрактов (договоров) с поставщиками;
- организация централизованного снабжения всего проекта и учет общих затрат на снабжение;
- осуществление тактического и стратегического анализа отношений с поставщиками.

В результате деятельности генпоставщика реализуются возможности:

- снижение расходов на закупки путем консолидации потребностей различных работ проекта, сокращения разовых закупок, оптимизации цен в результате тендеров и аукционов;
- сокращение закупочного цикла за счет автоматизации рутинных операций взаимодействия с поставщиками;
- оптимизация поставок и повышение качества снабжения проекта.

Примеры специфических характеристик и параметров управления проектами в интересах Генпоставщика приведены в таблице 2.3.1 (строка 4).

## 6.2. Процесс управления поставками

Поставки — одна из важнейших проблем в управлении проектом. Снижение расходов, связанных с обеспечением проекта различными ресурсами, позволяет повысить его рентабельность. Вместе с тем недопустимо снижение качества поставляемых ресурсов, следовательно, необходим выбор квалифицированных поставщиков, установление с ними устойчивых и взаимовыгодных партнерских отношений. Управление этими процессами позволяет уменьшить риски поставок. Таким образом, система управления генпоставщика должна заключаться в оптимизации деятельности по поставкам ресурсов при реализации проекта. Необходимо иметь в виду и наличие прямых, безальтернативных поставок, где нет проблемы выбора.

Привлечение генпоставщика на начальном этапе разработки проекта может привести к сокращению затрат до 18%. По данным исследований, интеграция процессов разработки проекта и привлечение сторонних ресурсов приводит к сокращению складских запасов более чем на 30%, а своевременность поставок увеличивается до 73% [23].

Процесс выбора поставщика состоит из следующих этапов:

1. Сбор и ранжирование требований к поставщику. Требования могут быть специфичны для разных проектов, но в основном это своевременность поставок, оптимальное соотношение цена/качество, ответственность поставщика (сопровождение поставленных товаров, своевременная замена брака и пр.).

2. Анализ следующих характеристик потенциальных поставщиков:

- производственные возможности;
- технологические возможности;
- права интеллектуальной собственности;
- управленческая зрелость, включая управление проектами;
- финансовое состояние / стабильность;
- организационная форма и величина предприятия;
- право собственности;
- отзывы.

3. Создание «длинного списка» поставщиков. Осуществляется поиск всех потенциальных поставщиков, которые соответствуют выдвинутым требованиям (использование Интернет, рекламных журналов, рекомендаций других компаний и т.п.)

4. Создание «короткого списка» поставщиков. Предлагается несколько подходов к формированию «короткого списка» поставщиков:

- отбор поставщиков по степени влияния объемов поставок на интегрированный показатель качества продукции (модель 6.3);
- проведение качественного экспертного отбора возможных поставщиков с использованием критериев корреляции Спирмена и Кэндалла (модель 7.4);
- проведение качественного экспертного отбора возможных поставщиков с использованием принципов попарного сравнения (модель 6.5).

Предложенные модели можно использовать как отдельно, так и в сочетании их друг с другом.

5. Оценивание поставщиков по «короткому списку». На данном этапе необходимо сопоставить их возможности с требованиями к поставщику и приоритетами этих требований. Это сопоставление заключается в формировании численных оценок, показывающих, насколько хорошо претендент соответствует каждому качественному требованию. Полученные оценки будут использованы на следующем этапе при построении математических моделей формирования плана поставок.

6. Выбор поставщика.

На этой стадии происходят анализ всех поступивших на заявку предложения ответов, выбор поставщика и заключение контракта.

Существуют различные методы выбора поставщика и присуждения контракта. Часто эта процедура осуществляется не формализуемо, для чего создается отборочный комитет, который анализирует и распределяет ответы на основе одной из методик. Наиболее распространенной из них является Позиционная система, которая заключается в экспертной оценке поставщиков по выдвинутым критериям и собранным характеристикам.

Модель количественной оценки, или позиционная система, представляет собой неплохой инструмент оценки ответов на заявку предложения. Модель достаточно объективна и гарантирует, что при анализе ответов все члены отборочного комитета используют одинаковые критерии.

Позиционная модель количественной оценки в настоящее время довольно часто используется в процессе закупки и выбора методов оценки и сопоставления различных критериев и принятия окончательного решения. Она довольно эффективна при малой номенклатуре поставляемых продуктов и небольшом количестве поставщиков. При значительном же количестве поставщиков и большой номенклатуре поставляемых продуктов, разных вариантов приобретения и использования оборудования этот «ручной» подход весьма затруднителен и не способствует получению оптимального решения. А современные проекты характеризуются как раз большой информационной емкостью.

В настоящем параграфе приводятся математические модели управления деятельностью генпоставщика в части выбора наиболее эффективных поставщиков и формирования оптимального плана поставок (модели 6.6–6.8). В случае безальтернативных поставок процесс описывается простой линейной моделью Ганта или сетевым графиком как субпроект в основном проекте. Моментом окончания субпроекта является расчетная дата поставки по комплексному графику в виде вехи или ограничения по времени. Рассчитав прямым счетом продолжительность субпроекта, определяем дату, когда поставкой надо начать заниматься, чтобы она появилась вовремя в нужном месте и в нужном объеме.

Используя предлагаемые ниже модели, можно будет решать рассмотренные выше задачи генпоставщика для проектов любой степени сложности, при этом появляется возможность автоматизировать эти процессы.

### 6.3. Математическая модель, описывающая характер влияния объемов поставок каждого поставщика на качество продукта

Пусть поставляемый продукт характеризуется параметром  $Y$ , который является показателем его качества. Если продукция разных поставщиков различается по качеству, то, возможно, параметр качества будет меняться в зависимости от объема поставок того или иного поставщика  $X_i$ . Данная модель предназначена для выявления характера зависимости параметра качества от объема поставок каждого поставщика.

Исходные данные представляют месячные ряды объемов поставок каждого поставщика  $x_{it}$  и значения показателя качества  $y_t$  ( $i=1, \dots, n; t=1, \dots, T$ ).

Построение регрессионной линейной (аддитивной) модели влияния объемов поставок на параметр качества. Ищется зависимость вида:

$$Y = a_0 + a_1 * X_1 + \dots + a_n * X_n, \quad (2.6.1)$$

где  $a_i$  — коэффициенты регрессии, показывающие степень влияния объема поставки поставщика на параметр качества. При изменении объема поставок для некоторого поставщика на единицу (единицу измерения представленных данных) значение показателя качества меняется на величину соответствующего коэффициента регрессии.

В процессе построения модели определяется оптимальное множество поставщиков. Проверка обоснованности вхождения поставщиков в модель проводится методом расчета коэффициентов корреляции  $r_{ij}$  для каждой пары переменных  $X_i, X_j$  в уравнении (2.6.1). Корреляция переменных показывает, насколько велика их связь между собой. Если связь достаточно велика ( $|r_{ij}| \geq 0.8$ ), то использование одной из переменных нецелесообразно и является избыточным. Следовательно, ее можно исключить из модели без большой потери в объясняющих свойствах. Исключается поставщик, к которому имеется больше претензий по качеству продукции, срокам поставки и пр. При равном отношении к ним исключается любой из них. Кроме того, следует исключать поставщиков, имеющих слабую степень влияния на показатель качества  $Y$ . Данное решение принимается ответственным лицом индивидуально по каждому поставщику, путем анализа полученных коэффициентов регрессии. В итоге мы получим некоторое множество поставщиков, влияние которых на исследуемый параметр  $Y$  наиболее значимо, причем будет устранена избыточность переменных.

Опыт использования данной модели показывает, что чаще всего характер влияния объемов поставок на показатель качества отрицательный.

Данный факт диктует следующую тактику отбора поставщиков: или отказываемся от крупных поставщиков, у которых больший по модулю отрицательный коэффициент регрессии (при этом возможны потери финансового характера из-за разницы в ценах на крупный и мелкий опт), или организуем усиленный контроль качества таких больших поставок (что также сопряжено с затратами). Сравниваем затраты, связанные с отказом от крупных поставщиков, с затратами на осуществление контроля за их деятельностью, и из двух зол выбираем меньшее.

Построение нелинейной (мультипликативной) модели влияния объемов поставок на параметр качества. Ищется зависимость вида:

$$Y = a_0 x_1^{a_1} x_2^{a_2} * \dots * x_n^{a_n}. \quad (2.6.2)$$

Здесь полученные показатели степени  $a_i$  — коэффициенты эластичности, они показывают, насколько процентов меняется анализируемый показатель  $Y$  при изменении фактора  $i$  на один процент. Легко показать и обратное, а именно, если коэффициенты эластичности являются константами, т.е. не зависят от объемов поставок, то зависимость между показателем качества и объемами поставок выражается уравнением (2.6.2). Таким образом, мы получаем правило для выбора между (2.6.1) или (2.6.2). Анализируя статистические данные об объемах поставок и вычисляя коэффициенты эластичности при малых и больших значениях объемов, делаем выводы об их вариабельности относительно этих значений. При вариабельности, близкой к нулю, выбираем модель (6.3), в противном случае (6.2). Пошаговая работа с моделью (6.3) по определению оптимального множества поставщиков аналогична работе с моделью (6.2).

#### 6.4. Экспертный отбор возможных поставщиков с использованием критериев корреляции Спирмена и Кэндалла

Пусть экспертам предлагают проранжировать  $n$  потенциально возможных поставщиков, приписав им порядковые номера (ранги)  $1, 2, 3, \dots, n$  в зависимости от индивидуального представления. Причем ранжирование может производиться как по отдельным критериям, предложенным ниже в модели 6.5, так и по их совокупности. Степень согласованности результатов ранжирования двух экспертов может быть оценена с помощью коэффициента ранговой корреляции  $R$ , предложенного Спирменом. Если обозначить через  $\{x_p\}$  и  $\{y_p\}$  ранги, установленные двумя экспертами для поставщика  $p$ , то коэффициент корреляции  $R$  будет определяться формулой

$$R = 1 - \frac{6 \sum d_p^2}{n^3 - n}, \quad (2.6.3)$$

где  $n$  — число сравниваемых поставщиков,  $d_p = x_p - y_p$  — разность рангов поставщиков двух экспертов.

Естественно, что максимальным значением степени согласованности экспертов является +1 (достигается, когда ранги обоих экспертов совпадают), а минимальным значением является -1 (соответствует случаю, когда мнения экспертов противоположны).

В принципе число ранжируемых поставщиков может быть любым, но сам процесс ранжирования большего, чем 20 числа поставщиков — затруднителен. Возможно, что именно поэтому таблица критических значений рангового коэффициента корреляции рассчитана лишь для 30 ранжируемых признаков. При большем числе сравниваемых переменных следует использовать таблицу для пирсоновского коэффициента корреляции. Нахождение критических значений осуществляется при  $k = n$ .

Используя ранговый коэффициент корреляции Спирмена, рассмотрим следующий пример. Эксперты проранжировали 11 поставщиков по совокупности критериев.

| № поставщика | 1 | 2  | 3  | 4  | 5 | 6  | 7  | 8 | 9  | 10 | 11 |
|--------------|---|----|----|----|---|----|----|---|----|----|----|
| Эксперт 1    | 3 | 5  | 6  | 1  | 4 | 11 | 9  | 2 | 8  | 7  | 10 |
| Эксперт 2    | 2 | 7  | 8  | 3  | 4 | 6  | 11 | 1 | 10 | 5  | 9  |
| $d_p$        | 1 | -2 | -2 | -2 | 0 | 5  | -2 | 1 | -2 | 2  | 1  |
| $d_p^2$      | 1 | 4  | 4  | 4  | 0 | 25 | 4  | 1 | 4  | 4  | 1  |

Подставляем полученные данные в формулу (2.6.3) и производим расчет. Получаем:

$$R = 1 - \frac{6 * 52}{11(11 * 11 - 1)} = 0.76.$$

Для нахождения уровня значимости обращаемся к таблице, в которой приведены критические значения для коэффициентов ранговой корреляции.

Подчеркнем, что в этой таблице все величины коэффициентов корреляции даны по абсолютной величине. Поэтому, знак коэффициента корреляции учитывается только при его интерпретации.

Нахождение уровней значимости в данной таблице осуществляется по числу  $n$ , т. е. по числу поставщиков. В нашем случае  $n = 11$ . Для этого числа находим  $r_{кр}$  :

$$0,52 \text{ для } P \leq 0,05; \quad 0,74 \text{ для } P \leq 0,01$$

Полученный коэффициент корреляции совпал с критическим значением для уровня значимости в 1%. Следовательно, можно утверждать, что мнения экспертов очень хорошо согласованы.

#### *Случай одинаковых (равных) рангов*

Нередко возникает ситуация, когда эксперт не может провести четкого разграничения между двумя объектами оценивания. В этом случае целесообразно вводить «связанные ранги», когда тем объектам оценивания, среди которых эксперт затрудняется выбрать предпочтительный, приписывается один и тот же (возможно дробный) номер. Например, эксперт не может четко разграничить по значимости третьего и четвертого поставщика. Тогда им обоим присваивается один и тот же дробный ранг 3,5. При наличии одинаковых рангов (у каждого эксперта их может быть несколько групп) формула расчета коэффициента корреляции Спирмена будет несколько иной. В этом случае в формулу вычисления коэффициентов корреляции добавляются новые члены, учитывающие одинаковые ранги. Они называются поправками на одинаковые ранги и добавляются в числитель расчетной формулы.

$$D_j = (k_j^3 - k_j)/12,$$

где  $k_j$  — число одинаковых рангов в группе  $j$ .

Формула расчёта коэффициента корреляции Спирмена с поправками:

$$R = 1 - \frac{6 \sum_p d_p^2 + \sum_j D_j}{n^3 - n}. \quad (2.6.4)$$

Пример:

|              |   |    |    |    |    |    |       |       |    |    |    |    |
|--------------|---|----|----|----|----|----|-------|-------|----|----|----|----|
| № поставщика | 1 | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7     | 8     | 9  | 10 | 11 | 2  |
| Эксперт 1    | 6 | 7  | 4  | 5  | 9  | 12 | 2,5   | 2,5   | 10 | 8  | 11 | 1  |
| Эксперт 2    | 5 | 8  | 7  | 11 | 3  | 6  | 11    | 11    | 1  | 3  | 3  | 9  |
| $d_p$        | 1 | -1 | -3 | -6 | 6  | 6  | -8.5  | -8.5  | 9  | 5  | 8  | -8 |
| $d_p^2$      | 1 | 1  | 9  | 36 | 36 | 36 | 77.25 | 77.25 | 81 | 25 | 64 | 64 |

В данном случае у первого эксперта одна группа имеет два одинаковых ранга (2,5), следовательно, величина поправки

$$D_1 = \frac{2^3 - 2}{12} = 0.5.$$

У второго эксперта две группы по три одинаковых ранга (3 и 11), следовательно, величина поправки будет:  $D_2 + D_3 = \frac{(3^3-3)+(3^3-3)}{12} = 4$ .

Считаем ранговый коэффициент с учетом добавок по формуле (2.6.4). Получаем:

$$R = 1 - \frac{6 * 471.5 + 0.5 + 4}{12 * 143} = -0.651.$$

Подсчитаем без учета добавки:

$$R = 1 - \frac{6 * 471.5}{12 * 143} = -0.648.$$

Различия оказались очень незначительны. Находим критические значения коэффициентов корреляции при  $n = 12$ .

$$0,50 \text{ для } P \leq 0,05, 0,70 \text{ для } P \leq 0,01$$

В этом случае полученный результат говорит о том, что экспертные оценки поставщиков согласованы с погрешностью менее 5%, но более 1%. Но мнения экспертов об этих поставщиках диаметрально противоположны! Чем выше оценивает поставщика один эксперт, тем ниже у него оценка второго эксперта. Такая анти согласованность не может быть случайной, это свидетельствует или о некомпетентности одного из экспертов, или о криминальной преднамеренности его действий.

Используемый в некоторых системах оценки коэффициент корреляции Кендалла  $\tau$  вычисляется по формуле:

$$\tau = \frac{s^+ - s^-}{0.5n(n-1)} \quad (2.6.5)$$

Для вычисления  $S^+$  и  $S^-$  сравниваются ранги всех различных пар поставщиков по одному эксперту и по другому. Добавляется 1 к  $S^+$ , если ранги расположены в одинаковой последовательности, и к  $S^-$ , если в обратной. Имеем всего пар  $= S^+ + S^-$ , где  $S^+$  — число положительных, а  $S^-$  — отрицательных единиц, приписанных парам при сопоставлении их рангов по обоим экспертам.

Из формулы (2.6.5) видно, что коэффициент  $\tau$  представляет собой разность доли пар поставщиков, у которых совпадает порядок по обоим экспертам (по отношению к числу всех пар) и доли пар поставщиков, у которых порядок не совпадает. Например, значение коэффициента Кэндалла 0,60 означает, что у 80% пар порядок совпадает, а у 20% не совпадает (80% + 20% = 100%; 0,80 — 0,20 = 0,60). Т.е.  $\tau$  можно трактовать как разность вероятностей совпадения и не совпадения порядков по обоим экспертам

для наугад выбранной пары поставщиков. В общем случае расчёт  $\tau$  даже для  $n=10$  оказывается громоздким. Кроме того, практические расчёты показывают, что коэффициент Кендалла  $\tau$  дает более осторожную оценку корреляции, чем коэффициент Спирмена  $R$  (числовое значение  $\tau$  всегда меньше, чем  $R$ ), т.е. коэффициент Спирмена  $R$  сильнее реагирует на несогласие ранжировок, чем  $\tau$ , поэтому мы предлагаем использовать коэффициент Спирмена для определения степени согласованности экспертов.

На практике больший интерес представляет наряду с коэффициентами ранговой корреляции, характеризующими согласованность мнений каждой пары экспертов, *коэффициент конкордации*, определяющий согласованность мнений группы экспертов.

Поясним смысл этого понятия на примере табл. 2.6.1, в которую занесены ранги, проставленные  $m$  экспертами для оценки поставщиков. В нижней строке таблицы суммируются ранги всех экспертов для каждого поставщика  $p$ . Переставим столбцы в порядке возрастания этих сумм. Среднее значение этих сумм обозначим через  $A_p$ .

$$A_p = \sum_{i=1}^m a_{ip} / m. \quad (2.6.6)$$

Таблица 2.6.1

Ранжирование поставщиков

| Эксперты | Ранги для поставщиков |                       |     |                       |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----|-----------------------|
|          | $A_1$                 | $A_2$                 | ... | $A_n$                 |
| Первый   | $a_{11}$              | $a_{12}$              | ... | $a_{1n}$              |
| Второй   | $a_{21}$              | $a_{22}$              | ... | $a_{2n}$              |
| ...      | ...                   | ...                   | ... | ...                   |
| $m$ -й   | $a_{m1}$              | $a_{m2}$              | ... | $a_{mn}$              |
| Суммы    | $\sum_{i=1}^m a_{i1}$ | $\sum_{i=1}^m a_{i2}$ | ... | $\sum_{i=1}^m a_{in}$ |

Если бы все наблюдения были одинаковыми, то мы получили бы по столбцам следующие суммы:  $m, 2m, \dots, nm$ . Действительно, в первом столбце находился бы поставщик, которому все эксперты присвоили ранг 1, во втором поставщик с рангом 2 и т.д.

Можно рассчитать сумму квадратов отклонений:

$$S = \sum_{p=1}^n \sum_{i=1}^m (a_{ip} - A_p)^2. \quad (2.6.7)$$

Это значение характеризует степень совпадения мнений всех экспертов. При полностью согласованных мнениях значение  $S$  будет равно нулю или очень маленькой величине. Поэтому для определения степени согласованности мнений группы экспертов предлагается определять коэффициент конкордации следующим образом:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n)}. \quad (2.6.8)$$

Изменение  $W$  от 1 до 0 указывает на увеличение степени согласованности во мнениях экспертов.

Работа с группой экспертов по определению оценок поставщиков производится в несколько этапов. На первом этапе определяются и анализируются парные коэффициенты корреляции Спирмена, проводится работа по выявлению и исключению из группы некомпетентных и коррумпированных экспертов. Затем по формуле (2.6.8) вычисляется коэффициент конкордации, организационная работа с экспертами (их информирование, отсев и последующие перерасчеты) продолжается до тех пор, пока не получим значение  $W \leq 0.15$ , что говорит о высокой степени согласованности мнений экспертов. Тогда  $A_p$ , вычисленные по формуле (2.6.6), будут являться приоритетами поставщиков.

6.5. Экспертный отбор возможных поставщиков с использованием принципов попарного сравнения (метод иерархий Саати)

В качестве критериев выбора поставщика предлагаются следующие:

- своевременность поставок;
- соотношение цена/качество (с учетом транспортных издержек);
- ответственность поставщика (сопровождение поставленных товаров, своевременная замена брака и пр.);
- производственные и технологические возможности;
- финансовое состояние (кредитоспособность, стабильность).

Выбор поставщиков с использованием методов свертки критериев и (или) комплексных критериев рассмотрены в [1–2]. Здесь мы предлагаем метод анализа иерархий Саати [17].

Вначале строится матрица попарных сравнений критериев и формируется вектор приоритетов критериев. Каждый проект уникален, уникальны и сравнительные оценки критериев. В табл. 2.6.2 приведен пример попарных сравнений критериев для некоторого проекта (для анализа взят проект строительства гипермаркета «Горки» в г. Челябинске).

Для формирования вектора приоритетов критериев сначала нормализуем матрицу  $A$ , путем деления всех ее элементов на сумму элементов каждого соответствующего столбца.

Таблица 2.6.2

Матрица  $A$  попарных сравнений критериев

| Критерии                        | Своевременность поставок | Соотношение цена/качество | Ответственность поставщика | Производ. и технол. возможности | Финансовое состояние |
|---------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------------|
| Своевременность поставок        | 1                        | 3                         | 5                          | 3                               | 5                    |
| Соотношение цена/качество       | 1/3                      | 1                         | 1/3                        | 1/3                             | 5                    |
| Ответственность поставщика      | 1/5                      | 3                         | 1                          | 1/5                             | 3                    |
| Производ. и технол. возможности | 1/3                      | 3                         | 5                          | 1                               | 3                    |
| Финансовое состояние            | 1/5                      | 1/5                       | 1/3                        | 1/3                             | 1                    |

$$N_A = \begin{pmatrix} 0.48 & 0.29 & 0.43 & 0.62 & 0.29 \\ 0.16 & 0.10 & 0.03 & 0.07 & 0.29 \\ 0.10 & 0.29 & 0.08 & 0.04 & 0.18 \\ 0.16 & 0.29 & 0.43 & 0.20 & 0.18 \\ 0.10 & 0.03 & 0.03 & 0.07 & 0.06 \end{pmatrix}$$

Компоненты вектора  $W^E$  вычисляются как средние арифметические элементов строки нормализованной матрицы.

$$W^E = (0.422 \quad 0.13 \quad 0.138 \quad 0.252 \quad 0.058). \quad (2.6.9)$$

На данном проекте самым приоритетным является критерий «своевременность поставок» (0,422), затем «производственные и технологические возможности» (0,252), потом «ответственность поставщика», «соотношение цена/качество», и на последнем месте «финансовое состояние поставщика».

Затем для каждого критерия строится матрица попарных сравнений поставщиков, и формируются соответствующие вектора приоритетов. Полученные вектора приоритетов поставщиков по каждому критерию умножаются скалярно на вектор приоритетов критериев и, таким образом, получается результирующий вектор приоритетов поставщиков  $\{A_p\}$ .

## 6.6. Однопродуктовая статическая задача выбора поставщика

Рассмотрим совокупность поставщиков (всего  $n$ ), которые могут поставлять определенный вид продукта в заданное время. Пусть:

$X_p$  — объем поставок продукции, осуществляемых  $p$ -м поставщиком в заданный временной интервал, ограничен возможностями предприятия-поставщика  $V^{osp}_p$ ;

$V$  — потребность потребителя в продукции в заданный интервал времени;

$V_{min}$  — минимально необходимый объем продукции, обеспечивающий непрерывность деятельности потребителя в заданном интервале времени;

$V_{max}$  — максимальный объем поставки продукции, гарантирующий избежание простоев транспортных средств, которыми доставляется продукция потребителю, в заданный интервал времени;

$Z_p$  — закупочная цена единицы объема продукции, поставляемой  $p$ -м поставщиком;

$D^{mp}_p$  — стоимость транспортировки единицы объема продукции, поставляемой  $p$ -м поставщиком;

$P_p$  — показатель качества продукции, поставляемой  $p$ -м поставщиком, определяется как вероятность получения продукции, соответствующей всем требованиям качества (устанавливается из статистических данных входного контроля качества поставляемой продукции).

Условия поставок и формы расчетов, исходя из ограниченности бюджета потребителя, определяются соответствующими долями возможных закупок в общем объеме поставок:

- а)  $Q_1$  — доля закупок с отсрочкой платежа;
- б)  $Q_2$  — доля закупок по условиям оплаты по факту поставки;
- в)  $Q_3$  — доля закупок на условиях предоплаты.

*Критерии эффективности, по которым будем оценивать решение о выборе поставщика.*

Для формирования критерия, соответствующего стоимостной оценке закупок, определим суммарные затраты на объем закупок в заданный интервал времени у всех поставщиков:

$$SC = \sum_{p=1}^n (Z_p + D_p^{mp}) X_p \quad (2.6.10)$$

и суммарный объем поставок

$$SV = \sum_{p=1}^n X_p. \quad (2.6.11)$$

Минимальная цена единицы объема продукции во всем объеме  $SV$  составит:

$$C_{min} = \min_p(Z_p + D_p^{mp}). \quad (2.6.12)$$

Сформируем первый частный критерий эффективности в виде отношения величины  $C_{min}$ , соответствующей минимальной цене, предлагаемой поставщиками (с учетом транспортных расходов), к средней цене закупок  $C_{cp}=SC/SV$ :

$$K_1 = C_{min} / C_{cp}. \quad (2.6.13)$$

Критерий  $K_1$  характеризует долю, составляемую минимально возможной ценой закупки в средней закупочной цене. Этот показатель имеет максимальное значение ( $K_1=1$ ), если все закупки осуществляются только у поставщика, стоимость продукции у которого является наименьшей. Во всех других случаях  $K_1 < 1$ , что соответствует менее выгодным ценовым условиям закупок. Таким образом, из условия снижения затрат на закупки критерий  $K_1$  следует максимизировать.

В качестве второго частного критерия выбираем критерий, который позволит оценить условия поставок и формы расчетов. Естественно, потребителю выгоднее производить закупки на условиях отсрочки платежа, менее выгодно, если оплата осуществляется по факту поставки, еще менее выгодно закупать на условиях предоплаты. Выгодность закупок, производимых по различным описанным вариантам форм оплаты, можно оценить посредством соответствующих коэффициентов эффективности:  $E_{on}$  (с отсрочкой платежа),  $E_{fn}$  (при оплате по факту поставки),  $E_{np}$  (при условии предоплаты).

В этом случае сформируем следующий комплексный критерий:

$$K_2 = (E_{on}SV_{on} + E_{fn}SV_{fn} + E_{np}SV_{np}) / SV, \quad (2.6.14)$$

где  $SV_{on}$  — суммарные объемы закупок за заданный интервал времени у поставщиков, допускающих отсрочку платежа;

$SV_{fn}$  — суммарные объемы закупок за заданный интервал времени у поставщиков на условиях оплаты по факту поставки;

$SV_{np}$  — суммарные объемы закупок за заданный интервал времени у поставщиков, требующих предоплату.

Критерий  $K_2$  характеризует (с учетом коэффициентов эффективности) долю закупок, производимых на тех или иных условиях в общем объеме закупок, и имеет максимальное значение  $K_2 = E_{on}$ , если все закупки осуществляются у поставщиков, допускающих отсрочку платежа. Пусть, например, закупки каждой единицы объема продукции, производимые с отсрочкой платежа, имеют показатель эффективности  $E_{on} = 1$ , закупки единицы объема продукции при оплате по факту поставки имеют пока-

затель эффективности  $E_{fn} = 0,5$ , а наименее выгодные закупки (на условиях предоплаты) пусть имеют показатель эффективности  $E_{np} = 0,2$ . Тогда максимальное значение комплексного критерия  $K_2 = 1$ . Во всех остальных случаях  $K_2 < 1$ , что соответствует менее выгодным условиям поставок. Конкретные значения коэффициентов эффективности закупок из условия форм оплаты могут быть получены экспертными оценками или путем отражения ограниченных бюджетных возможностей предприятия-потребителя. Таким образом, эффективное решение на основе данного критерия сводится к максимизации  $K_2$ .

В качестве третьего частного критерия рассмотрим показатель, характеризующий качество поставляемой продукции. Поскольку качество продукции представлено через вероятностные показатели, определим математическое ожидание объемов поставки качественной продукции в общем объеме поставок:

$$MV = \sum_{p=1}^n P_p X_p.$$

Критерий качества в этом случае имеет следующий вид:

$$K_3 = MV/SV. \quad (2.6.15)$$

Критерий  $K_3$  имеет максимальное значение, соответствующее показателю качества поставщика самой качественной продукции, если все закупки осуществляются именно у него. Во всех остальных случаях  $K_3$  имеет меньшие значения, что соответствует менее качественной продукции, следовательно, требуется максимизация  $K_3$ .

В качестве четвертого частного критерия возьмем отклонение суммарного объема поставок от его необходимого количества:

$$K_4 = |SV - V|. \quad (2.6.16)$$

Отклонение поставленного объема продукта от его необходимого количества может вызвать дополнительные издержки, связанные как с хранением излишков, так и с простоями исполнителей из-за нехватки продукта. Следовательно, по этому критерию необходима минимизация.

Методы решения многокритериальных задач достаточно подробно описаны [13]. В главе 5 мы применяли некоторые из них, в частности, метод последовательных уступок. Здесь также он может быть применен, но наряду с ним представляется целесообразным в данном случае осуществить свертку полученных критериев, используя метод суммирования с заданием весовых коэффициентов. При определении весовых коэффи-

циентов целесообразно воспользоваться методом экспертных оценок, при этом определяя их значения как напрямую, так и посредством попарных сравнений, формируя вектор приоритетов подобно (2.6.9). Вместе с тем следует отметить, что варьирование численных значений коэффициентов принципиально не изменяет задачу, а лишь меняет приоритеты потребителя при покупке продукции, что позволяет ему принять решение исходя из конкретных обстоятельств, складывающихся в данный момент. Тогда суммарный критерий эффективности в виде свертки частных комплексных критериев  $K_1, K_2, K_3, K_4$  представим так:

$$W = g_1 K_1 + g_2 K_2 + g_3 K_3 - g_4 K_4, \quad (2.6.17)$$

где  $g_1, g_2, g_3, g_4$  — весовые коэффициенты,  $g_i > 0$ .

Целевая функция  $W$  и ее весовые коэффициенты отражают интересы Генпоставщика при поставке конкретного вида продукта в анализируемый период. Увеличение  $g_1$  отражает повышенный ценовой интерес (купить дешевле), увеличение  $g_2$  придаст большее значение условиям поставки, увеличение  $g_3$  отражает большее внимание к качеству поставляемой продукции, увеличение  $g_4$  приведет к уменьшению фактов срыва поставок.

Составим математическую модель задачи.

Система ограничений состоит из двух подсистем, первая из которых обусловлена потребностями потребителя и возможностями поставщиков:

$$V_{min} \leq SV \leq V_{max}, \quad (2.6.18)$$

$$0 \leq X_p \leq V_p^{ozp}, \quad (2.6.19)$$

Вторая подсистема обусловлена ограниченными бюджетными возможностями потребителя, что выражается соответствующими требованиями к условиям поставок:

$$SV_{on} / SV \geq Q_1, \quad (2.6.20)$$

$$SV_{fn} / SV \leq Q_2, \quad (2.6.21)$$

$$SV_{np} / SV \leq Q_3. \quad (2.6.22)$$

Подсистема (2.6.20)–(2.6.22) отражает требования, что доля закупок продукции на условиях отсрочки платежа в общем объеме закупок должна быть не менее  $Q_1$ , а доли закупок на условиях оплаты по факту поставки и условиях предоплаты не должны превышать  $Q_2$  и  $Q_3$  соответственно. Таким образом, требуется определить объемы закупок  $X_p$ , соответствующие системам ограничений (2.6.18)–(2.6.22) и максимизирующие суммарный критерий эффективности (2.6.17).

Пример. Исходные данные взяты из [32]. Потребность проекта в металле составляет 4200т в месяц. При этом из условий нормального выполне-

ния проекта минимальная потребная поставка металла должна составлять не менее двух вагонов (120 т) в сутки. В то же время, чтобы не нести затрат по оплате вынужденных простоев вагонов, максимальная суточная поставка не должна превышать пяти вагонов (300 т).

Перечень поставщиков и их характеристики представлены в табл. 2.6.3.

Таблица 2.6.3

### Характеристики поставщиков

| Поставщик                              | Стоимость с НДС за 1 т, тыс.руб. | Железно-дор. тариф за 1т., тыс.руб. | Ограничение объема поставок, т. в мес. | Условия поставки  | Показатель качества |
|--|----------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------|---------------------|
| Сатка, Челяб. обл.                     | 2,800                            | 200                                 | 300                                    | По факту поставки | 0,86                |
| Челябинский мет.комбинат               | 2,770                            | 220                                 | Без ограничений                        | Предоплата        | 0,87                |
| Липецк, «Свободный сокол»              | 2,976                            | 124                                 | Без ограничений                        | По факту поставки | 0,89                |
| Новотроицкий мет.комбинат, Оренб. обл. | 2,880                            | 237                                 | 1200                                   | Отсрочка платежа  | 0,8                 |
| Нижне-тагильский мет.комбинат          | 3,120                            | 249                                 | Без ограничений                        | По факту поставки | 0,9                 |
| Екатеринб. мет.комбинат                | 3,250                            | 199                                 | Без ограничений                        | Отсрочка платежа  | 0,92                |
| Магнит. мет.комбинат                   | 3,780                            | 234                                 | 360                                    | Отсрочка платежа  | 0,97                |
| Пашня, Пермская обл.                   | 2,700                            | 253                                 | 300                                    | Предоплата        | 0,87                |
| Тулский «Чермет»                       | 3,060                            | 130                                 | Без ограничений                        | Отсрочка платежа  | 0,93                |
| Московский мет.комбинат                | 3,200                            | 125                                 | Без ограничений                        | По факту поставки | 0,96                |

Показатель качества, приведенный в табл. 2.6.3, представляет собой величину вероятности получения продукции, соответствующей всем требованиям качества (устанавливается из статистических данных входного контроля качества поставляемой продукции).

Исходя из существующего в настоящее время постоянного дефицита финансирования, зададим следующие коэффициенты эффективности закупок продукции:

- закупки, производимые с отсрочкой платежа:  $E_{on} = 1$ ;
- закупки по факту поставки:  $E_{fn} = 0,5$ ;
- закупки по условиям предоплаты:  $E_{np} = 0,2$ .

Зададим доли возможных закупок в общем объеме поставок:

$$Q_1 = 0,5;$$

$$Q_2 = 0,35;$$

$$Q_3 = 0,15.$$

Определим весовые коэффициенты частных критериев эффективности:

$g_1 = 0,7; g_2 = 0,2; g_3 = 0,1; g_4 = 0,3.$

Составим математическую модель задачи оптимизации поставок.

Система ограничений имеет следующий вид:

При среднем числе рабочих дней в месяц 21,8  $V_{min} = 21,8 \cdot 120 = 2616$ ,  
 $V_{max} = 21,8 \cdot 300 = 6540$ , откуда

$$\begin{aligned}
 &2616 \leq SV \leq 6540, \\
 &SV = \sum_{p=1}^n X_p. \\
 &X_1 \leq 300, \\
 &X_4 \leq 1200, \\
 &X_7 \leq 360, \\
 &X_8 \leq 300, \\
 &(X_4 + X_6 + X_7 + X_9)/SV \geq 0,5, \\
 &(X_1 + X_3 + X_5 + X_{10})/SV \leq 0,35, \\
 &(X_2 + X_8)/SV \leq 0,15, \\
 &0 \leq X_p.
 \end{aligned} \tag{2.6.23}$$

Таким образом, требуется определить значения  $X_p$ , соответствующие системе ограничений (2.6.23) и максимизирующие суммарный критерий эффективности:

$$W = 0,7 K_1 + 0,2 K_2 + 0,1 K_3 - 0,3 K_4 \rightarrow \max.$$

Найдем:

$$\begin{aligned}
 C_{min} = \min_p(Z_p, D_p^{mp}) = \min &\left(2,8 + \frac{200}{60}, 2,77 + \frac{220}{60}, 2,976 + \frac{124}{60}, \right. \\
 &2,88 + \frac{237}{60}, 3,12 \frac{249}{60}, 3,25 + \frac{199}{60}, 3,78 + \frac{234}{60}, 2,7 + \frac{253}{60}, 3,06 + \\
 &\frac{130}{60}, 3,2 + \\
 &\left. + \frac{125}{60}\right) = \min(6,13, 6,44, 5,04, 6,83, 7,27, 6,57, 7,68, 6,92, 5,23, 5,28) = \\
 &= 5,04.
 \end{aligned}$$

$$\cdot SV / (6,13X_1 + 6,44X_2 + 5,04X_3 + 6,83X_4 + 7,27X_5 + 6,57X_6 + 7,68X_7 + 6,92X_8 + 5,23X_9 + 5,28X_{10}).$$

$$K_2 = (1 \cdot (X_4 + X_6 + X_7 + X_9) + 0,5 \cdot (X_1 + X_3 + X_5 + X_{10}) + 0,2 \cdot (X_2 + X_8)) / SV.$$

$$K_3 = (0,86X_1 + 0,87X_2 + 0,89X_3 + 0,8X_4 + 0,9X_5 + 0,92X_6 + 0,97X_7 + 0,87X_8 + 0,93X_9 + 0,96X_{10}) / SV.$$

$$K_4 = |SV - 4200|.$$

Решение данной задачи с использованием Microsoft Excel (программа «Поиск решения») дало следующий результат:

$X_1 = 56, X_2 = 0, X_3 = 176, X_4 = 56, X_5 = 0, X_6 = 116, X_7 = 0, X_8 = 0, X_9 = 3561, X_{10} = 236, W = 0.948.$

Если выбрать другие весовые коэффициенты свертки критериев, результат решения изменится. Так, например, если положить  $g_1 = 0,8$  (что соответствует большей значимости стоимостного критерия),  $g_2 = g_3 = 0,1, g_4 = 0,3$ , получим следующие оптимальные объемы закупок:

$X_1 = 121, X_2 = 2, X_3 = 168, X_4 = 2, X_5 = 0, X_6 = 98, X_7 = 0, X_8 = 0, X_9 = 3589, X_{10} = 220.$

Если не требовать точного соблюдения поставок заданным объемам (убрать критерий  $K_4$ ), то результат получается  $X_9 = 3584$  (остальные 0), т.е. поставки должны идти от поставщика с отсрочкой платежа с самой низкой ценой.

На практике зачастую требуется поставлять продукцию полными вагонами (требование ЖД). Введем дополнительное ограничение: все переменные должны быть кратны 60.

Результат:  $X_1 = 60, X_3 = 180, X_4 = 60, X_6 = 120, X_9 = 3540, X_{10} = 240$ , остальные 0, значения частных критериев  $K_1 = 0.95, K_2 = 0.94, K_3 = 0.93, K_4 = 0, W = 0,947$ . Т.к. оптимальные значения частных критериев  $K_1 = K_2 = K_3 = 1, K_4 = 0$ , то мы получили решение, близкое к идеальному.

## 6.7. Многопродуктовая динамическая математическая модель деятельности генерального поставщика

Рассматривается транспортная задача определения оптимального плана поставок нескольких продуктов.

Дано:

$PP_T^R$  — плановые объемы поставок по всей номенклатуре ресурсов  $R$  в период  $T$ ;

$L_T^{GR}$  — лимиты финансирования в период  $T$  по группам ресурсов (группа может состоять из одного ресурса).

Возможности приобретения продукта у субпоставщика  $p$ :

$W_{pT}^R$  — объемы возможных закупок с доставкой в период  $T$ ;

$Z_p^R$  — закупочные цены;

$D_p^R$  — стоимость доставки единицы ресурса  $R$ ;

$PZ_p^R(t)$  — вероятность задержки на  $t$  дней;

$SS^R(t)$  — штрафные санкции за срыв поставок на  $t$  дней.

Необходимо осуществить оптимизацию управления процессом поставок и закупок с соблюдением плана поставок и минимизацией затрат и штрафных санкций. Таким образом, нужно найти  $X_T^R$  — объемы и сроки поставок всех материальных ресурсов,  $X_{Tp}^R$  — объемы и сроки закупок у субпоставщиков  $p$  с доставкой в период  $T$ , удовлетворяющие следующим условиям:

$$X_T^R = \sum_{\forall p} X_{Tp}^R; \quad (2.6.24)$$

$$X_{Tp}^R \leq W_{pT}^R; \quad (2.6.25)$$

$$\sum_{\forall p} \sum_{\forall R \in GR} X_{Tp}^R (Z_p^R + D_p^R) \leq L_T^{GR}. \quad (2.6.26)$$

Обеспечение плановых объемов поставок:

$$\forall S \sum_{T=1}^{S+\delta_R} X_T^R \geq \sum_{\tau=1}^S PP_{\tau}^R, \quad (2.6.27)$$

где  $\delta_R$  — максимально допустимый срок срыва поставок ресурса  $R$ .

Целевая функция — суммарные издержки на закупку и транспортировку ресурсов:

$$\sum_{T=1}^{T_{\text{dur}}} \sum_{\forall p} \sum_{\forall R} X_{Tp}^R \left( Z_p^R + D_p^R + \sum_{t=1}^{\delta} PZ_p^R(t) \times SS^R(t) \right) \rightarrow \min. \quad (2.6.28)$$

$T_{\text{dur}}$  — директивный период завершения проекта.

Полученные в результате решения объемы  $X_{Tp}^R$  необходимы для заключения контрактов на закупки с соблюдением интересов клиента и поставщика.

## 6.8. Математическая модель многопродуктовой динамической задачи оптимизации поставок с учетом приоритетов поставщиков

В данной модели объединены некоторые идеи моделей 6.6. и 6.7.

Дано:

$V_{Rmin}^t, V_{Rmax}^t$  — минимально и максимально необходимые объемы поставок  $R$ -го ресурса в  $t$ -й период;

$\delta_{\text{ран}}, \delta_{\text{поз}}$  — допустимые отклонения от требуемых сроков поставок (раньше, позже);

$C_{Rp}^t$  — стоимость единицы поставляемого ресурса  $R$  от поставщика  $p$  в  $t$ -й период;

$A_p$  — приоритеты поставщиков (рассчитываются по формуле (2.6.6) или по методу, изложенному в 2.6.4);

$B_{Rpmin}^t, B_{Rpmax}^t$  — минимально и максимально возможные объемы поставок R-го ресурса от поставщика  $p$  в  $t$ -й период;

$S_R^{tcp}$  — потери, связанные с единичными отклонениями от требуемых сроков поставок R-го ресурса в  $t$ -й период;

$S_R^{тоб}$  — потери, связанные с единичными отклонениями от требуемых объемов поставок R-го ресурса в  $t$ -й период;

$V_R$  — общая потребность проекта в ресурсе R.

Необходимо найти  $X_{tp}^R$  — объемы поставок R-го ресурса от поставщика  $p$  в  $t$ -й период, удовлетворяющие следующим условиям:

$$B_{Rpmin}^t \leq X_{tp}^R \leq B_{Rpmax}^t \quad (2.6.29)$$

$$\sum_{\forall p} X_{tp}^R \in \Omega V_R^t, \quad (2.6.30)$$

где  $\Omega V_R^t$  — множество допустимых по объему и времени поставок (при необходимом объеме поставок R-го ресурса в  $t$ -й период  $V_R^t$  допустимы отклонения по объему от  $V_{Rmin}^t$  до  $V_{Rmax}^t$  и по времени  $t - \delta_{ран} \leq \tau \leq t + \delta_{поз}$ ).

$$\sum_{\forall p,t} X_{tp}^R = V_R. \quad (2.6.31)$$

Критерии оптимизации:

$$F_1 = \sum_{\forall t,p,R} A_p \cdot C_{Rp}^t \cdot X_{tp}^R \rightarrow \min, \quad (2.6.32)$$

$$F_2 = \sum_{\forall t,R} (|\sum_{\forall p} X_{tp}^R - V_R^t| \cdot S_R^{тоб} + |t - \tau| \cdot S_R^{tcp}) \rightarrow \min. \quad (2.6.33)$$

Предложенные модели реализуют задачи математического программирования с линейными и нелинейными ограничениями и целевыми функциями. В настоящее время существует широкий спектр программных средств для решения подобных задач, достаточно указать входящий в EXCEL пакет Solver (Поиск решения). Для построения регрессионной модели и численной оценки коэффициентов регрессии в 2.6.3 можно использовать функцию «Регрессия» пакета Анализ Данных, входящего в состав EXCEL, или модули пакета STATISTICA «Множественная регрессия» и «Нелинейное оценивание».

Представленные математические модели с использованием разработанных критериев многокритериальной оценки поставщиков являются эффективным инструментом решения проблемы выбора поставщика, позво-

ляя при изменяющихся условиях рынка на основе компьютерной реализации оперативно выявлять не только наиболее выгодных поставщиков, но и одновременно определять оптимальные объемы закупок продукции у каждого из конкурирующих поставщиков. Рассмотренные выше постановки задач для Генпоставщика могут служить методологической основой разработки прикладных пакетов программного обеспечения (автоматизированной системы) для решения описанных выше задач взаимодействия с поставщиком при управлении проектом на всех стадиях его осуществления.

## **Глава 7. Математические модели управления для генконтрактора, руководителя и его команды управления проектом**

### **7.1. Основные понятия**

В данной главе предлагаемые математические модели управления для важнейшей заинтересованной стороны — руководителя и его команды управления проектом, предназначены для расчета всех технико-экономических параметров проекта, формирования набора вариантов его реализации для последующего выбора из них наиболее эффективных. При этом рассматривается сложный многоцелевой проект, описание которого произведено с помощью сетевого моделирования, причем могут быть использованы как традиционные детерминированные модели, так и обобщенные, вероятностные и альтернативные. Описание подобных сетевых моделей и методы расчета основных показателей проекта (ранних и поздних сроков начала и окончания работ, вероятностей выполнения основных этапов и всего проекта в целом и пр.) приведено в части 1. Предполагается, что реализация проекта может осуществляться  $N$  вариантами. Для каждого варианта командой проекта рассчитываются свои временные, ресурсные и финансовые показатели, экологические и социальные характеристики.

Руководитель Проекта (в принятой на Западе терминологии — Проджект-менеджер или Менеджер проекта) — это юридическое лицо, которому заказчик (инвестор или другой участник проекта) делегируют полномочия по руководству работами по проекту: планированию, контролю и координации работ участников проекта. Под руководством Руководителя проекта работает Команда проекта — специфическая организационная структура, возглавляемая руководителем проекта и создаваемая на период осуществления проекта с целью эффективного достижения его целей.

Если речь идет о крупном строительном проекте, то стараются создать комплексную организацию, которая выполняет функции генконтрактора

— заключает контракт на создание объекта «под ключ». Например, в РАО «ЕЭС России» создана новая структура — компания «ЭМК-Инжиниринг», которую возглавляет Леонид Коган, бывший строитель, а затем директор Тюменской ТЭЦ. Пройдя путь от строительства до эксплуатации, он понял, что не обязательно иметь огромные тресты и подрядные коллективы, а достаточно создать «мозговой центр», в котором будут собраны все специалисты, организаторы, управленцы — словом, штаб, который может сделать «под ключ» любой энергетический объект в любой точке России и других странах. Сделать от задумки, от концепций до ввода в эксплуатацию. Это — пример современной управляющей компании.

Она, в свою очередь, объявляет конкурсы на проектирование — там есть менеджер по проектированию, но это вовсе не главный инженер проекта, есть менеджер по строительству, но это, опять же, не прораб и не управляющий трестом, а менеджер, который работает со строительными организациями, подбирает их, проводит конкурсы, нанимает и т. д., есть менеджеры по поставкам, оборудованию, эксплуатации и т. д. Это — тип западной компании, совсем иная структура, нежели были у нас прежде. Там нужны не только руководители, но и профессионально подготовленные члены команды.

Генконтрактор сдает объект «под ключ» и несет ответственность за построенное. Он руководит не стройкой, а всем проектом в целом! В этом отличие от прежних методов управления.

В силу близости функций Руководителя Проекта и Генконтрактора, в данном параграфе объединено описание математических моделей для них. Пример специфических характеристик и параметров управления проектами в интересах Руководителя Проекта и Генконтрактора приведен в таблице 2.3.1 (строки 3 и 4).

Все перечисленные характеристики используются при построении математических моделей.

## 7.2. Функции деятельности руководителя и его команды управления проектом

### *Методологическая основа деятельности руководителя и его команды управления проектом*

Работа данной группы является основополагающей для обеспечения деятельности по проектному управлению всех остальных заинтересованных сторон. Ее результаты согласовываются и могут использоваться на

всех стадиях жизненного цикла проекта другими стейкхолдерами. Прежде всего, конструируется сетевая модель проекта, которая в зависимости от его специфики может иметь детерминированный, вероятностный, альтернативный, стохастический или смешанный характер. На основании топологии сетевой модели проекта рассчитываются его временные и ресурсные показатели, которые согласовываются с каждой заинтересованной стороной с учетом их специфических характеристик и параметров. При этом, формируется как детализированный, так и агрегированный график выполнения работ. Степень детализации зависит от масштаба проекта и периода планирования. Более детальное планирование требует дополнительных усилий при составлении расчетов, причем практика показывает, что при удвоении точности расчетов в четыре раза увеличиваются трудозатраты на планирование, при этом погрешности результатов также растут квадратично [12]. Опыт показывает, что оптимальным соотношением между периодом выполнения проекта и временным дискретом детализации является 5%. Т.е. на стадии инициализации проекта длительностью 5 лет, при разработке и анализе альтернативных вариантов управления проектом, а также на стадии планирования всего проекта и его отдельных пусковых комплексов (вех) следует детализировать работы до квартала, при двухгодичном планировании составлять ежемесячные планы, и только при составлении оперативных месячных планов разбивать работы до дня.

Предложенные в настоящем учебном пособии алгоритмы с учетом степени риска позволяют провести анализ и построить непротиворечивые модели процесса реализации проектов, что, в свою очередь, способствует формированию оптимальных календарных планов их выполнения.

*Задачи и функции управления, реализуемые руководителем  
проекта и его командой*

Основные задачи руководителя и его команды управления проектом:

- согласование целей в отношении требований по качеству, срокам, издержкам, ресурсам и т.д. со всеми заинтересованными сторонами;
- утверждение согласованных целей в проектном задании со стороны заказчика;
- разработка организационной структуры проекта и порядка его выполнения;
- организация планирования, управления и контроля в соответствии с видом и масштабом проекта и осуществление этих функций;
- разработка альтернативных решений процесса выполнения проекта;

- осуществление необходимых расчетов для обеспечения проекта требуемыми ресурсами;
- разработка и реализация мероприятий по мотивации сотрудников;
- координация всех участников проекта как внутри проекта, так и во внешней среде;
- обеспечение технико-экономической информацией о проекте и ходе его реализации заказчика и других заинтересованных сторон в соответствии с установленным порядком.

Функции управления, реализуемые руководителем проекта и его командой:

- управление предметной областью проекта (управление содержанием проекта, объемами работ);
- управление проектом по временным параметрам;
- управление стоимостью и финансами проекта;
- управление качеством в проекте;
- управление рисками в проекте;
- управление персоналом в проекте;
- управление коммуникациями в проекте;
- управление стейкхолдерами в проекте;
- управление поставками и контрактами в проекте, включая управление распределением ресурсов, управление запасами ресурсов;
- управление изменениями в проекте;
- интеграционное (координационное) управление.

Перечисленные функции реализуются посредством решения соответствующих задач, математические модели которых представлены ниже. Выделение задач довольно условно, т.к. функции управления тесно взаимодействуют друг с другом, переплетаются. Действительно, управление рисками тесно связано с управлением по времени, по финансам, по качеству, по ресурсам и так далее. В данном учебном пособии приводятся базовые математические модели задач основных функций управления. Следует отметить, что на практике в зависимости от масштаба и специфики проекта происходит организационное объединение, как функций, так и заинтересованных сторон, причем в различных сочетаниях. Например, команда проекта может не только готовить информацию, но и выполнять расчеты, реализующие функции заказчика и генпоставщика, в других случаях заказчик может выступать инвестором и т.п. Вне зависимости, где организационно

находится руководитель проекта и его команда — в составе заказчика, инвестора, подрядчика, или это отдельная управляющая компания профессиональных менеджеров проекта, мы будем ориентировать математические модели строго на реализацию вышеприведенных функций.

Внутри конкретной функции управления задачи различаются по фазам жизненного цикла проекта. На предпроектной фазе управление предметной областью происходит посредством создания агрегированных сетевых моделей и на их базе формирования набора вариантов реализации проекта, отличающихся как сроками выполнения отдельных этапов (вех), так и затратами на их реализацию. Та же информационная база на этой фазе жизненного цикла лежит в основе решения задач управления временем и стоимостью. Что касается задач управления качеством, рисками и персоналом, то на этой фазе реализуются обобщенные модели, дающие весьма общие представления о данных характеристиках проекта. Более конкретные значения этих характеристик мы получим на фазе реализации проекта, здесь же следует решать задачи управления поставками и контрактами в проекте, включая управление распределением ресурсов, управление запасами ресурсов. При этом формируется и используется детализированное описание проекта. Представляя в данном пособии математические модели задач разных функций управления, мы выделили основные, на наш взгляд, не претендуя здесь на их полноту и всеохватность.

Построение оптимальных календарных планов реализации проектов, а также оптимального сводного плана для комплекса проектов позволяет определить необходимые потребности в ресурсах (в том числе финансовых), графики назначений исполнителей, использования машин и оборудования. Таким образом, определяется инвестиционная матрица альтернатив  $\{I_t^k\}$ , где  $I_t^k$  — требуемый объем инвестиций в  $k$ -й вариант проекта в период  $t$  (месяц, квартал, год — в зависимости от масштаба проекта). Осуществляется прогноз, и формируется матрица прибыли  $\{V_t^k\}$ , где  $V_t^k$  — прогноз прибыли от реализации  $k$ -го варианта проекта в период  $t$ .  $t \in [0, T]$ , где  $T$  — срок полного жизненного цикла проекта с начала его реализации до максимально возможного прогноза прибыли от осуществления деятельности после реализации (данная информация является исходной для работы инвестора).

Процесс управления реализацией проекта осуществляется посредством разработки детального плана производства работ (является исходным для работы генконтрактора), бизнес-плана и плана по вехам для инвестора,

комплексного укрупненного плана для заказчика, плана поставок для поставщика, плана налогообложения для регулирующих органов.

Периодическая актуализация исходных данных дает возможность уточнять эти потребности, планы и графики (снижать уровень неопределенности), создает необходимые предпосылки для гармонизации технологических переделов проектов в сжатые сроки и интенсификации процедур реализации проектов в пространстве «время — ресурсы — стоимость».

### 7.3. Математическая модель предметной области

Для описания сложного проекта используется циклическая альтернативная сетевая модель (ЦАСМ), подробно представленная в [8], при этом классические, обобщенные и стохастические сетевые модели являются ее частными случаями.

В табл. 2.7.1 приведено концентрированное описание ЦАСМ, и показано, при каких условиях все другие известные модели становятся ее частными случаями.

Следует отметить, что с методологической точки зрения альтернативные сетевые модели GANN и Эйснера [5] носят более общий характер в силу наличия в их структуре управляемых альтернативных работ. Однако при реализации алгоритмического аппарата ЦАСМ данные элементы структуры сводятся к стохастическим, при этом используются известные из теории принятия решений способы сведения неопределенности к риску. При полной неопределенности применяется критерий Лапласа (если из некоторого события выходят  $n$  управляемых альтернативных работ и заранее не известно, с какой вероятностью управляющий проектом будет реализовывать те или другие работы, то вероятность их выполнения принимается равной  $1/n$ ). Если имеется возможность определения  $p$  — вероятности реализации «пессимистического» варианта выполнения проекта, тогда  $1-p$  означает вероятность реализации «оптимистического» варианта (критерий Гурвица).

После построения сетевой модели производится расчет всех необходимых временных характеристик. Подробно алгоритмы расчетов приведены в части 1, там же приведены алгоритмы формирования планов ранних и поздних сроков, планов минимальной продолжительности.

Данный план разрабатывается командой проекта на основе детализированной модели проекта. При этом рассчитываются следующие показатели:

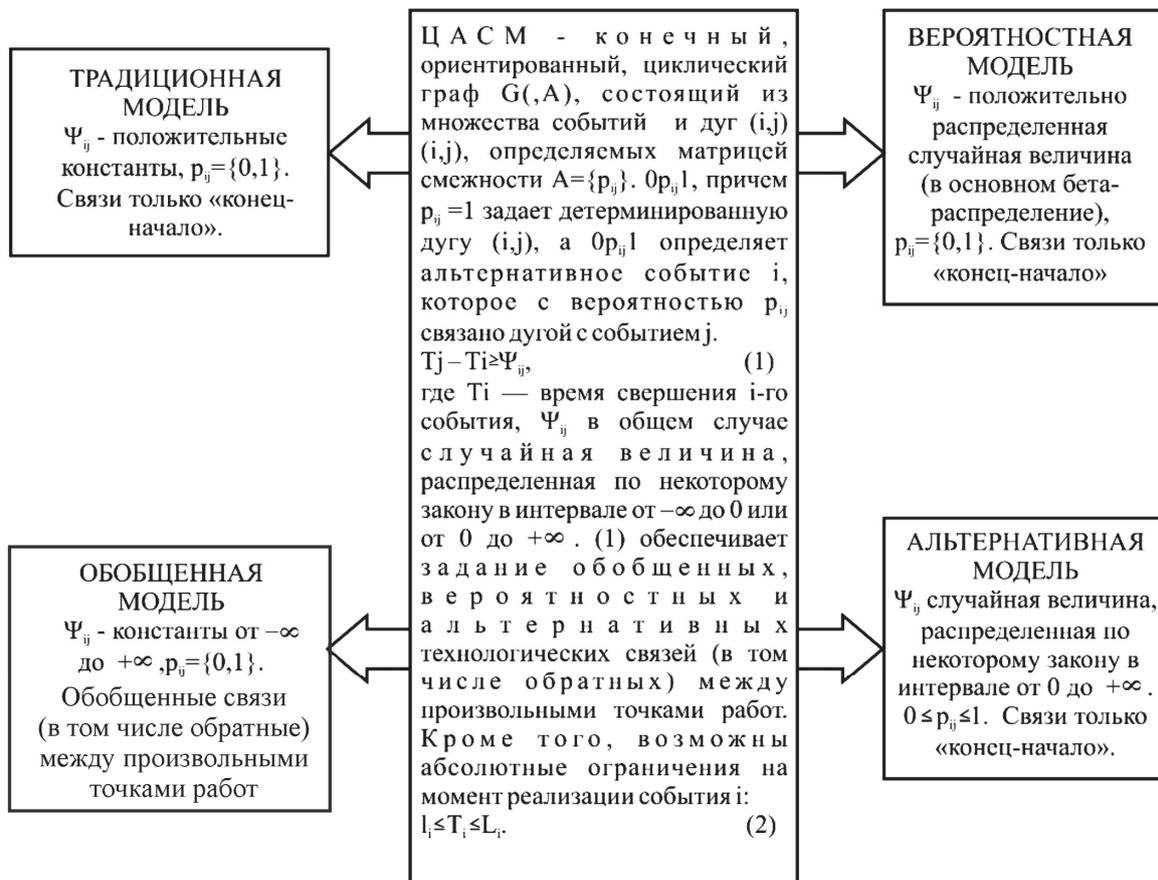
$T_i^p, T_i^n$  — ранние и поздние сроки свершения событий  $i$  в укрупненной сетевой модели;

$a_{ij}, b_{ij}$  — минимальные и максимальные оценки продолжительности работ укрупненного графика;

$r_{ij}$  — затраты на производство работ укрупненного графика.

Методы и алгоритмы агрегирования работ подробно описаны в [3]. Здесь мы приведем процедуру формирования дополнительных характеристик работ укрупненной модели, которые необходимы для математических моделей управления другими заинтересованными сторонами.

Таблица 2.7.1



#### 7.4. Формирование комплексного укрупненного плана проекта

Для каждой укрупненной работы вычисляем  $ЭОК_{ij}$  — оценки предельно допустимой степени изменения конфигурации работ. Под изменением конфигурации проекта будем понимать нарушение сроков выполнения работ, исключение работ из реализации и их замену. Для каждой работы по

десятибалльной системе экспертно оценивается степень изменения конфигурации:

$\alpha_{ij}(t)$  — нарушение сроков выполнения работы на  $t$  дней;

$\beta_{ij}$  — исключение работы из реализации;

$\gamma_{ij}$  — замена работы или изменение ее характеристик,

где значения  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\beta$ , близкие к 0, показывают малозначимые изменения, близкие к 5 — среднезначимые, близкие к 10 — недопустимые изменения. Остальные значения используются для промежуточных состояний.

Затем определяем степень изменения конфигурации проекта как интегрированный показатель (ИПК), вычисляемый с помощью некоторой функции (заданной экспертно) ФОК по показателям качества выполнения отдельных работ укрупненного плана  $ПК_{ij}$ , задаваемым также экспертно. Статистический анализ большого числа проектов, проведенный авторами, показывает, что эти функции возрастающие, вогнутые, т.е. положительные первые и вторые производные (возрастают значения, как самих функций, так и темпов ее роста). При небольших значениях аргумента (малых изменениях конфигурации работ) функции ФОК могут рассматриваться как степенные функции с показателем степени  $a > 1$ . Кстати, данный показатель  $a$  является эластичностью, т.е. показывает, на сколько процентов возрастет степень изменения конфигурации проекта при изменении качества выполнения отдельных работ на 1%. Сформированная здесь функция оценки качества проекта является исходной информацией для моделей управления Заказчика.

Все описанные выше расчеты производим для каждого возможного варианта выполнения проекта. Формирование вариантов может проводиться различными способами исходя из масштаба и специфики проекта. Далее мы используем один из таких способов (п.7.5), другие методы будут приведены при дальнейшем развитии моделей, изложенных в данной книге.

#### 7.5. Отбор вариантов реализации проекта методом главных компонент

Формирование вариантов проекта связано с анализом большого количества взаимосвязанных факторов, влияющих на качество проекта, его рискованность и пр. Уменьшение их количества, выделение наиболее «влиятельных» является весьма актуальной задачей. Средством ее решения может служить метод главных компонент, который применяется для такой группировки исходных признаков, чтобы члены группы обладали корреля-

цией между собой, но группа в целом была бы независима от других групп.

Суть метода заключается в следующем.

Пусть состояние проекта описывается набором факторов  $x_{ki}^0$ , где  $i$  — номер фактора проекта ( $i=1, 2, 3, \dots, m$ ),  $k$  — номер варианта проекта ( $k=1, 2, 3, \dots, N$ ),  $m$  — количество факторов,  $N$  — количество вариантов. Значения каждого фактора для различных вариантов образуют вектор  $x_i^0 = \{x_{1i}^0, x_{2i}^0, \dots, x_{Ni}^0\}^T$ .

Пространство факторов проекта можно представить в виде матрицы исходных факторов  $X^0$ , где каждый столбец матрицы содержит значения одного фактора для различных вариантов проекта, а каждая строка включает значения всех факторов и описывает отдельный вариант. Таким образом, множество вариантов проекта будет описываться в виде

$$X^0 = [x_1^0 \quad x_2^0 \quad \dots \quad x_N^0]. \quad (2.7.1)$$

Среднеарифметические значения факторов используются в качестве центра распределения множества вариантов. Отцентрированное множество вариантов будем обозначать матрицей  $X$ , каждый элемент которой определяется как:

$$x_{ki} = x_{ki}^0 - \bar{x}_i, \quad (2.7.2)$$

где  $\bar{x}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ki}^0$ .

Главные компоненты представляют такую группировку исходных факторов, в которой члены группы (исходные факторы) связаны между собой, но группа (главная компонента) в целом была бы независима от других групп (главных компонент).

Для расчета весовых коэффициентов главных компонент решается задача определения собственных значений матрицы

$$(A - \lambda I)v = 0 \quad (2.7.3)$$

где  $A$  — ковариационная матрица,  $I$  — единичная матрица,  $v$  — собственный вектор уравнения (2.7.3),  $\lambda$  — собственное значение. Собственные векторы уравнения (2.7.3) масштабируются так, что  $v_i^T v_i = 1$  и обладают свойством ортогональности

$$V^T A V = \Delta \quad \text{и} \quad V^T A V = I, \quad (2.7.4)$$

где  $\Delta$  — диагональная матрица, диагональные коэффициенты которой равны собственным значениям уравнения (2.7.3).

Каждый собственный вектор имеет ту же размерность, что и вектор варианта проекта, что позволяет называть его собственным вариантом. Так как собственный вектор определяется с точностью до множителя, компоненты собственного варианта показывают не столько величину исходных факторов, сколько их взаимосвязь друг с другом. В дальнейшем компоненты собственного варианта будем называть характеристиками собственного варианта.

Таким образом, весь проект в любой момент времени может быть описан взвешенной комбинацией собственных вариантов. При этом проект описывается не набором исходных факторов, а набором главных компонент и каждая главная компонента уже отражает не отдельный исходный фактор, а группу исходных факторов (собственный вариант объекта).

Так как собственные векторы вычисляются по ковариационной матрице, собственные значения показывают изменчивость собственного варианта в проекте и численно равны дисперсии главных компонент.

Матрица собственных вариантов  $\mathbf{v}_0$  формируется из собственных векторов уравнения (2.7.3) и позволяет сформировать новые факторы (главные компоненты) в виде комбинации исходных факторов  $z_{ki} = \sum_{h=1}^m v_{hi} x_{kh}$ , где  $z_{ki}$  — значение  $i$ -го нового фактора для  $k$ -го варианта,  $v_{hi}$  — элемент, соответствующий  $h$ -му исходному фактору при преобразовании его к  $i$ -му новому фактору. Значение  $i$ -й главной компоненты для различных вариантов проекта объединяются в вектор  $\mathbf{z}_i$ , из которых образуется матрица  $\mathbf{Z}$ , которая определяется как

$$\mathbf{Z} = \mathbf{XV}. \quad (2.7.5)$$

Анализ собственных вариантов проекта строится на проверке того, удовлетворяет ли собственный вариант требованиям управления проекта в целом. Собственные варианты, которые не удовлетворяют этим требованиям, отбрасываются, оставшиеся используются в качестве исходной информации для моделей управления других заинтересованных сторон.

Общая изменчивость процесса изменения проекта определяется суммой дисперсий всех исходных факторов, описывающих его поведение

$$\sigma = \sum_i^n \sigma_i, \quad (2.7.6)$$

где  $\sigma_i$  — дисперсия  $i$ -го фактора.

Вклад каждой главной компоненты в общую изменчивость проекта можно оценить через его дисперсию. Сумма всех собственных значений главных компонент равна сумме дисперсий исходных факторов. Однако дисперсия главных компонент может служить приближенной оценкой, так как существует большая разница в изменчивости исходных факторов, и исходные факторы с наибольшей изменчивостью будут доминировать в первых главных компонентах. Данный метод позволяет значительно уменьшить объем информации, формируемой при управлении предметной областью и предназначенной для передачи другим заинтересованным сторонам.

#### 7.6. Математические модели и алгоритмы решения задач управления временем

Функция управления временем тесно связана с функцией управления предметной областью и включает в себя определение продолжительности, сроков начала и завершения проекта, его частей, важнейших (контрольных) событий и каждой из выполняемых работ; минимизацию (оптимизацию) временных характеристик; разумное использование резервов времени; контроль развития проекта по его временным характеристикам; прогнозирование сроков завершения работ, этапов и проекта в целом.

##### *Математическая модель формирования вариантов реализации проекта по принципу «Время — стоимость»*

Пусть  $a_{ij}$  — минимально возможное время выполнения работы  $(i, j)$ , которому соответствуют затраты  $c_{ij}^a$ , и  $b_{ij}$  — максимально возможное время выполнения работы  $(i, j)$ , которому соответствуют затраты  $c_{ij}^b$ . Величины  $a_{ij}$  и  $b_{ij}$  определяются исходя из максимальной и минимальной величин ведущего ненакапливаемого ресурса, которые потенциально могут быть задействованы на работе  $(i, j)$ . Принимая во внимание возможные сбои в работе оборудования, колебания производительности труда исполнителей и другие непредвиденные затраты, полагаем вышеприведенные параметры случайными величинами с заданными законами распределения. Также предполагается, что ускорение работы связано с дополнительными затратами: привлечение дополнительной рабочей силы и оборудования, сверхурочные доплаты и т. п.

Задав некоторый уровень значимости  $p$ , выполняем имитационное моделирование вышеописанных параметров в соответствии с методом, описанным в части 1, получая их  $p$ -квантильные оценки  $W^p(a_{ij})$ ,  $W^p(b_{ij})$ ,  $W^p(c_{ij}^a)$ ,

$W^p(c_{ij}^b)$ .  $p$ -квантильная оценка  $W^p(x)$  какого-либо показателя  $x$  дает нам его значение, подтверждающееся на практике с вероятностью не меньшей  $p$ .

Полагаем, что зависимость затрат от времени выполнения линейная, т.е.  $c_{ij} = z_{ij} - y_{ij}t_{ij}$ , откуда получаем следующее выражение для коэффициента пропорциональности

$$y_{ij}^p = (W^p(c_{ij}^a) - W^p(c_{ij}^b)) / (W^p(b_{ij}) - W^p(a_{ij})) = \Delta W^p(c) / \Delta t. \quad (2.7.7)$$

Таким образом,  $y_{ij}^p$  с вероятностью  $p$  характеризует затраты, связанные с сокращением продолжительности работы на единицу времени. Если на всех работах принять  $t_{ij} = W^p(a_{ij})$ , то будет получено наименьшее критическое время  $W^p(T_{\min}^{\text{кр}})$ . Этому времени соответствуют наибольшие затраты, равные  $W^p(C_a) = \sum_{\forall(i,j)} W^p(c_{ij}^a)$ .

Если на всех работах принять  $t_{ij} = W^p(b_{ij})$ , то получим сетевой график, которому соответствуют наименьшие затраты, равные  $W^p(C_b) = \sum_{\forall(i,j)} W^p(c_{ij}^b)$ , и наибольшее критическое время  $W^p(T_{\max}^{\text{кр}})$ .

При наименьшем критическом времени  $W^p(T_{\min}^{\text{кр}})$  можно уменьшить затраты, если «удлиннить» не критические работы за счет полного использования их  $p$ -квантильных резервов времени. Ведь увеличение  $t_{ij}$  на единицу снижает ее стоимость на  $y_{ij}^p$ . Обозначим полученные затраты через  $C^p_d$ , тогда можем утверждать, что для  $T^p = W^p(T_{\min}^{\text{кр}})$  минимальная стоимость равна  $C^p_d$ , и, в общем случае, для любого  $T^p \in [W^p(T_{\min}^{\text{кр}}), W^p(T_{\max}^{\text{кр}})]$  получаем план с минимальными затратами  $C(T^p)$ . Имея график оптимальной зависимости стоимости проекта от продолжительности его выполнения, с одной стороны, определяем минимальную стоимость проекта при любом возможном сроке его выполнения, а с другой — находим минимальную продолжительность выполнения проекта при заданной его стоимости. С помощью функции  $C(T^p)$  можно также оценить дополнительные затраты, связанные с сокращением сроков завершения проекта.

Разбиваем интервал  $[W^p(T_{\min}^{\text{кр}}), W^p(T_{\max}^{\text{кр}})]$  на  $N$  частей  $T_1^p, \dots, T_N^p$ . Предполагая, что затраты линейно зависят от продолжительности работ, формирование  $k$ -го варианта проекта сводится к решению задачи линейного программирования следующего вида:

Найти такие продолжительности работ  $t_{ij}$ , чтобы:

Найти такие продолжительности работ  $t_{ij}$ , чтобы:

$$W^p(T_j) - W^p(T_i) - t_{ij} \geq 0 \text{ для всех работ } (i, j); \quad (2.7.8)$$

$$W^p(a_{ij}) \leq t_{ij} \leq W^p(b_{ij}), \quad (2.7.9)$$

$$W^p(T_n^0) \leq T_k^p, \quad (2.7.10)$$

$$C(T_k^p) = \sum_{\langle(i,j)\rangle} c_{ij} = \sum_{\langle(i,j)\rangle} (z_{ij} - y_{ij}t_{ij}) \rightarrow \min, \quad (2.7.11)$$

что эквивалентно

$$\sum_{\langle(i,j)\rangle} y_{ij} t_{ij} \rightarrow \max. \quad (2.7.12)$$

Таким образом, получаем  $k$ -й вариант плана минимальной стоимости, соответствующий времени выполнения проекта  $T_k^p$  ( $k = 1, \dots, N$ ) и суммарным объемам финансирования  $C(T_k^p)$ .

При определении инвестиционной политики этот алгоритм позволяет с заданным уровнем значимости  $p$  определять оптимальные варианты финансирования проекта в условиях риска и неопределенности.

При этом мы получаем все интересующие нас для дальнейших расчетов временные параметры проекта:  $p$ -квантильные оценки ранних и поздних сроков начала и окончания работ ( $W_k^p(T_i^{\text{ран}}), W_k^p(T_i^{\text{поз}})$ ) и пр.

### 7.7. Математическая модель управления стоимостью и финансами проекта

Функции управления стоимостью включают в себя предварительную оценку расходов, связанных с проектом, определение сметы расходов, источников финансирования и бюджета проекта, планирование денежных потоков, прогнозирование доходов и прибылей. Главной задачей управления стоимостью является соблюдение бюджетных рамок проекта и получение предусмотренной прибыли от его осуществления.

Исходной информацией для задач управления стоимостью и финансами проекта являются варианты планов минимальной стоимости, описание процесса формирования которых приведено в части 1. При этом используется вероятностная и альтернативная природа сетевой модели проекта.

А. В каждом варианте проекта со сроком его выполнения  $T_k^p$  и стоимостью  $C(T_k^p)$  рассчитываем требуемый объем инвестиций  $I_k^t$  в  $k$ -й вариант проекта в период  $t$ , используя математические ожидания сроков начала всех работ. В зависимости от масштаба проекта периодом может быть месяц, квартал, год. Таким образом, будут получены:

$I_k^t = \sum_{\forall(i,j) \in t} c_{ij}$  — требуемый объем инвестиций в  $k$ -й вариант проекта в период  $t$  (суммирование ведется по всем работам, выполняемым в период  $t$ ).

В результате получаем множество альтернативных вариантов выполнения проекта  $P(K, T)$ , где формируются вектор  $K$  (объемы финансирования проекта и отдельных его этапов) и вектор  $T$  (сроки реализации проекта и его отдельных пусковых комплексов).

Рассчитав математические ожидания сроков окончания всех работ, включая пусковые комплексы, формируем  $V_k^t$  — прогноз прибыли от реализации  $k$ -го варианта проекта в период  $t$ . При этом суммируется вся прибыль от введенных в действие пусковых комплексов и приносящих прибыль в период  $t$ .

Б. Проведем расчеты сетевой модели проекта, задав ранние и поздние сроки начала всех работ в пределах от  $W_k^p(T_i^{\text{ран}})$  до  $W_k^p(T_i^{\text{поз}})$ , тогда объемы инвестиций в проекты  $k$  ( $k=1, \dots, N$ ) в период  $t$  будут варьироваться в пределах от  $I_{k \min}^t$  до  $I_{k \max}^t$ . При этом чистый дисконтированный доход варианта проекта  $k$  на начало периода  $t$  при минимальном и максимальном объеме инвестиций будет составлять соответственно  $NPV_{k \min}^t$  и  $NPV_{k \max}^t$ , а прогнозируемые оценки риска составят  $r_{k \min}^t$  и  $r_{k \max}^t$ .

Получаем переменное (нечеткое) множество альтернатив  $P(K, T)$ , используя при этом вероятностную и альтернативную природу сетевой модели проекта. Это множество альтернатив отличается от предыдущего (см. 2.7.6) заданием диапазонов значений формируемых показателей (объемы инвестиций, чистый дисконтированный доход, прогнозируемые оценки риска).

Затем формируем  $F(K, T)$  — функцию зависимости степени ликвидности проекта от объемов финансирования проекта и сроков его реализации. Эта функция, определяемая экспертно на дискретном наборе значений определяющих ее факторов  $P(K, T)$ , вместе с набором вариантов реализации проекта являются исходной информацией для математических моделей управления инвестора (см. главу 4).

## 7.8. Математическая модель управления качеством в проекте

Управление качеством реализуется через установление требований и стандартов к качеству результатов проекта, обеспечение выполнения этих требований в процессе реализации проекта через систему контроля и поддержки. Причем требования к проекту могут быть многоаспектны и, зачастую, противоречивы. Например, обеспечение экологических требований может вести к увеличению затрат, что противоречит требованиям инвестора. В данном пособии мы рассмотрим модель управления качеством проекта, основанную на назначении исполнителей.

Качество проекта в целом зависит от многих факторов, основными из которых являются:

- качество работы исполнителей;

- затраты исполнителей;
- сроки выполнения работ.

Причем, основополагающим фактором являются затраты, а сроки выполнения работ и качество работы исполнителей зависят от произведенных затрат. Конечно, большое влияние на качество проекта оказывают и другие факторы (качество строительных материалов, оборудования и пр.), но мы в данном пункте рассматриваем факторы, которыми может управлять руководитель проекта и его команда.

Пусть нам известны характеристики (статистические или иные) выбранных факторов, тогда мы можем сформулировать двухэтапную задачу управления качеством. На первом этапе отбираем исполнителей, которые обеспечат максимальное качество. Эта задача решается на стадии формирования состава исполнителей. Затем решаем задачу обеспечения максимального качества проекта при фиксированном составе исполнителей. Анализ показывает, что при фиксированном составе исполнителей увеличение финансирования приводит к повышению качества. Понятно, что возможности такого управления ограничены, так как, как правило, ограничено финансирование.

Система контроля и поддержки входит в состав оперативного управления качеством проекта и в данном пункте не рассматривается.

А. Дано  $t_{ij}^s(c_{ij})$  — продолжительность работы  $(i,j)$  при выполнении ее исполнителем  $s$  с затратами  $c_{ij}$ ;

$q_{ij}^s(c_{ij})$  — качество работы  $(i,j)$  при выполнении ее исполнителем  $s$  с затратами  $c_{ij}$ ;

$p$ -квантильные оценки  $W^p(a_{ij}), W^p(b_{ij}), W^p(c^a_{ij}), W^p(c^b_{ij})$ ..

Математическая модель отбора исполнителей, обеспечивающих максимальное качество проекта, выглядит следующим образом:

Найти:

$$x_{ij}^s = \begin{cases} 1, & \text{если работу } (i, j) \text{ выполняет исполнитель } s, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (2.7.13)$$

При ограничениях

$$W^p(T_j) - W^p(T_i) - t_{ij}^s(c_{ij}) \geq 0 \text{ для всех работ } (i, j); \quad (2.7.14)$$

$$W^p(a_{ij}) \leq t_{ij}^s(c_{ij}) \leq W^p(b_{ij}), \quad (2.7.15)$$

$$W^p(c^b_{ij}) \leq c_{ij} \leq W^p(c^a_{ij}). \quad (2.7.16)$$

Целевая функция

$$\sum_{\forall s, (i, j)} x_{ij}^s q_{ij}^s(c_{ij}) \rightarrow \max. \quad (2.7.17)$$

Данная модель представляет собой модифицированную задачу назначений и может быть реализована стандартным симплекс-методом.

Б. На втором этапе к информации об уже отобранных исполнителях добавляем ограничения по возможным объемам финансирования  $\tilde{Q}_t$  во временные периоды  $t$ , размерность которых (месяц, квартал, год) зависит от масштаба проекта. Величина  $\tilde{Q}_t$  определяется возможностями заказчика и инвестора.

Модель выглядит следующим образом:

Найти  $c_{ij}^t$  и соответствующие  $t_{ij}^s(c_{ij})$  для всех работ проекта и отобранных исполнителей при ограничениях

$$\sum_{\forall(i,j) \in t} c_{ij}^t \leq \tilde{Q}_t; \quad (2.7.18)$$

$$c_{ij} \sum_{\forall t} c_{ij}^t; \quad (2.7.19)$$

$$W^p(T_j) - W^p(T_i) - t_{ij}^s(c_{ij}) \geq 0 \text{ для всех работ } (i, j); \quad (2.7.20)$$

$$W^p(a_{ij}) \leq t_{ij}^s(c_{ij}) \leq W^p(b_{ij}), \quad (2.7.21)$$

$$W^p(c_{ij}^b) \leq c_{ij} \leq W^p(c_{ij}^a). \quad (2.7.22)$$

Целевая функция

$$\sum_{\forall s, (i, j)} q_{ij}^s(c_{ij}) \rightarrow \max. \quad (2.7.23)$$

Решая задачи в соответствие с моделями А-Б для каждого варианта проекта, сформированного в 2.7.3, мы формируем  $F(K, T)$  — функцию зависимости качества проекта от вектора  $K$  (объемы финансирования проекта и отдельных его этапов) и вектора  $T$  (сроки реализации проекта и его отдельных пусковых комплексов). Эта функция вместе с набором вариантов реализации проекта являются исходной информацией для математических моделей управления заказчиком (см. главу 6).

## 7.9. Математическая модель управления рисками в проекте

Проблема управления рисками включает в себя две стороны — количественная оценка рисков и разработка мер по снижению негативных рисков. Риски могут быть как внутренние, так и внешние по отношению к организации, в которой работает руководитель проекта. Внутренние риски возникают непосредственно в связи с технологией работ или с проектными решениями, строительством или эксплуатацией объекта. Также они возник-

кают в связи с неудачами в организации проекта или с неспособностью ресурсов обеспечить ожидаемую результативность.

Внешние риски: деятельность рынков сырья, комплектующих, оборудования; финансовая политика государства; социальные воздействия; окржающая среда; форс-мажорные обстоятельства.

Количественная оценка рисков позволяет определять:

- вероятность достижения конечной цели проекта;
- степень воздействия риска на проект и объемы непредвиденных затрат и материалов, которые могут понадобиться;
- риски, требующие скорейшего реагирования и большего внимания, а также влияние их последствий на проект;
- фактические затраты, предполагаемые сроки окончания проекта и его основных этапов.

Процесс идентификации рисков и определение их количественных оценок процедура весьма сложная и трудоемкая, методы формирования оценок разнообразны и широко представлены в литературе (например, [6, 7, 18]). Мы предлагаем производить оценку рисков на основе статистических результатов имитационного моделирования. Для практического осуществления имитационного моделирования можно рекомендовать пакет «RiskMaster», разработанный в Гарвардском университете. Генерирование случайных чисел этот пакет осуществляет на основе использования датчика псевдослучайных чисел, которые рассчитываются по определенному алгоритму. Особенностью пакета является то, что он умеет генерировать коррелированные случайные числа.

Очень важным моментом при использовании данного метода является определение корреляции в системе случайных переменных, включенных в модель. Наличие в модели анализа коррелированных переменных может привести к серьёзным искажениям результатов анализа риска, если эта корреляция не учитывается. Фактически наличие корреляции ограничивает случайный выбор отдельных значений для коррелированных переменных. Две коррелированные переменные моделируются так, что при случайном выборе одной из них другая выбирается не свободно, а в диапазоне значений, который управляется смоделированным значением первой переменной. Для установления направления таких связей и предполагаемой силы корреляции необходимо применить методы регрессионного анализа.

Итак, результатом имитационного моделирования будут являться предполагаемые сроки окончания проекта и его основных этапов ( $M(T_i)$  —

математическое ожидание и  $\sigma(T_i)$  — среднеквадратическое отклонение), ожидаемые продолжительности работ ( $M(t_{ij})$  и  $\sigma(t_{ij})$ ) и прогнозируемые затраты ( $M(c_{ij})$  и  $\sigma(c_{ij})$ ).

В связи с возможными изменениями сроков окончания отдельных пусковых комплексов и всего проекта, а также изменениями прогнозируемых затрат производим пересчет  $V_k^t$  — прогноз прибыли от реализации  $k$ -го варианта проекта в период  $t$ . В результате получаем прогнозируемую оценку риска недополучения прибыли  $r_k^t$  по варианту проекта  $k$  в период  $t$ .

На основе полученных выше данных решаем многокритериальную задачу расчета временных и стоимостных показателей проекта с минимизацией отклонений срока выполнения проекта и общих затрат на него от директивно заданных ( $T_n$  и  $C$ ).

Найти такие продолжительности работ  $t_{ij}$  и их стоимости  $c_{ij}$ , чтобы:

$$M(T_j) + \sigma(T_j) - M(T_i) - \sigma(T_i) - t_{ij} \geq 0 \text{ для всех работ } (i, j); \quad (2.7.24)$$

$$M(t_{ij}) - \sigma(t_{ij}) \leq t_{ij} \leq M(t_{ij}) + \sigma(t_{ij}), \quad (2.7.25)$$

$$M(c_{ij}) - \sigma(c_{ij}) \leq c_{ij} \leq M(c_{ij}) + \sigma(c_{ij}), \quad (2.7.26)$$

$$\sum_{\forall(i,j)} c_{ij} - C \rightarrow \min, \quad (2.7.27)$$

$$M(T_n) - T_n \rightarrow \min. \quad (2.7.28)$$

Целевые функции (2.7.27) и (2.7.28) взаимно противоречивы, поэтому в зависимости от специфики проекта следует выбирать одну из них, переводя другую в ограничение (например, минимизировать отклонение по стоимости при задании допустимого ограничения на отклонение от директивного срока выполнения проекта). Таким образом, представленная модель предназначена для снижения негативных рисков в части отклонения от сроков реализации проекта и затрат на его выполнение.

## 7.10. Математическая модель управления ресурсами

Задачи распределения ограниченных ресурсов на сетевой модели можно рассматривать для работ с постоянной или переменной интенсивностью выполнения.

Исходной информацией является детализированный сетевой график производства работ. Поскольку при описании проекта с помощью ЦАСМ используются обобщенные связи, позволяющие выделять в качестве событий не только начала и окончания, но и промежуточные состояния работ, то данная постановка позволяет реализовать две дополнительные возможности:

- выбор интенсивности выполнения всей работы ЦАСМ в заданных пределах;

- изменение интенсивности выполнения отдельных частей работы.

Пусть  $r_{ij}^k$  — интенсивность потребления  $k$ -ого ненакапливаемого ресурса на работе  $(i, j)$ ,  $w_{ij}^k = \sum_{(i,j) \in \varepsilon^k} r_{ij}^k W_p(\psi_{ij})$  — потребность в  $k$ -ом ненакапливаемом ресурсе на работе  $(i, j)$ .  $k \in K$ . Обозначим через  $\varepsilon^k$  множество работ, потребляющих ресурс  $k$ , а через  $\varepsilon_t^k$  множество работ, потребляющих ресурс  $k$  в момент времени  $t$  ( $\varepsilon^k = \bigcup_{\forall t} \varepsilon_t^k$ ), тогда общая потребность на всю программу в  $k$ -ом ресурсе равна  $V^k = \sum_{(i,j) \in \varepsilon^k} w_{ij}^k$ . Пусть наличие ресурсов в каждый момент времени задано функцией  $A^k(t)$ .

Обозначая потребность в ресурсе  $k$  в момент времени  $t$  как  $F^k(t) = \sum_{(i,j) \in \varepsilon_t^k} r_{ij}^k$ , получим следующую математическую модель задачи распределения ограниченных ресурсов на ЦАСМ с переменными интенсивностями.

Найти такие сроки начала и окончания работ  $(i, j)$   $T_i^* \in [W_p(T_i^p), W_p(T_i^n)]$  и  $T_j^* \in [W_p(T_j^p), W_p(T_j^n)]$ , чтобы:

$$T_j^* - T_i^* \geq W_p(\psi_{ij}) \text{ для всех дуг } (i, j); \quad (2.7.29)$$

$$t_{ij}^{\min} \leq T_j^* - T_i^* \leq t_{ij}^{\max} \text{ для всех работ или частей работ } (i, j); \quad (2.7.30)$$

$$A^k(t) \geq F^k(t) \text{ для всех } t \text{ и } k; \quad (2.7.31)$$

$$\sum_{t=1}^{\tau} A^{\gamma}(t) \geq \sum_{t=1}^{\tau} F^{\gamma}(t) \text{ для всех } \tau \text{ и } \gamma; \quad (2.7.32)$$

$$F = \sum_{\forall (i,j)} \{T_j^* - T_i^* - t_{ij}^{\min}\} \rightarrow \min. \quad (2.7.33)$$

Соотношение (2.7.30) обеспечивает нахождение переменной продолжительности работы или ее частей в соответствующих границах, определяемых по формуле:

$$t_{ij}^{\min(\max)} = w_{ij}^k / r_{ij}^k \max(\min),$$

где  $r_{ij}^k \min$  и  $r_{ij}^k \max$  — соответственно минимальная и максимальная интенсивности потребления  $k$ -ого ненакапливаемого ведущего ресурса на работе  $(i, j)$ ,  $w_{ij}^k$  — трудоемкость выполнения работы  $(i, j)$  по ведущему ресурсу  $k$ . В качестве ведущего ресурса выступают только нескладируемые ресурсы (машины, станки, оборудование, исполнители и др.), выделенное количество которых определяет продолжительность работы.

Ограничение (2.7.31) учитывает ограниченность ненакапливаемых ресурсов, т. е. в каждый момент времени потребность в ресурсе  $k$  не должна превышать его наличия.

Ограничение (2.7.32) задает условие: суммарная потребность в накапливаемом ресурсе  $\gamma$  от начала планового периода к любому моменту  $\tau$  не

должна превышать суммарного объема поставок этого же вида ресурса за соответствующий период.

Целевая функция (2.7.33) обеспечивает построение плана с максимально возможными интенсивностями выполнения работ.

Алгоритм решения поставленной задачи достаточно подробно рассмотрен в части 1.

В результате получаем детализированный сетевой график выполнения проекта, сбалансированный по ресурсам типа мощности, после чего производим расчеты потребностей всех остальных ресурсов, что является исходной информацией для Поставщика (см. главу 6).

Предложенные примеры постановки задач для руководителя и его команды управления проектом могут служить основой разработки объективно многовариантной системы УП. При этом приведенные выше математические модели позволяют реализовать многие компетенции руководителя проекта и его команды в процессе выполнения проекта.

Выше представлены только основные модели управления со стороны руководителя и его команды управления проектом, при этом охвачены не все функциональные подсистемы. Дальнейшее продвижение проектного управления и повышение его результативности требует более полного описания математических моделей команды проекта по каждой функции управления.

## **Глава 8. Математические модели проектного управления для регулирующих и надзорных органов**

### **8.1. Основные понятия**

В настоящей главе рассматривается сложный многоцелевой проект, реализация которого может осуществляться  $N$  вариантами. Каждый вариант имеет свои финансовые показатели, экологические и социальные характеристики. Предлагаемые математические модели предназначены для выбора наиболее эффективных вариантов проекта с точки зрения одной из заинтересованных сторон — Регулирующих органов. Использование данных моделей направлено на повышение эффективности деятельности Регулирующих органов, обеспечивает реализацию его соответствующих компетенций и достижение поставленных целей при осуществлении проекта.

Регулирующие органы (Органы власти) — сторона, удовлетворяющая свои интересы путем получения налогов от участников проекта, выдвигающая и поддерживающая экологические, социальные и другие общественные и государственные требования, связанные с реализацией проекта. Данные требования обуславливаются рядом возможных воздействий проекта на внешнюю среду и служат для их нейтрализации или минимизации негативных последствий.

Можно привести несколько примеров различных видов воздействий:

1. Экономические: воздействие на макро- и микро-уровне, определяемое в терминах экономического роста, конкурентоспособности, изменений в издержках различных групп экономических агентов, воздействие на технологическое развитие и инновационный потенциал, изменения в инвестиционной активности, изменение рыночных долей, воздействие на цены и др. Конкретными примерами экономического воздействия являются:

— ухудшение условий ловли рыбы на реке в результате работы расположенного выше по течению металлургического завода;

— изменение рыночной стоимости жилых домов или квартир в них в результате строительства в непосредственной близости от них крупного промышленного предприятия, торгового центра или станции метрополитена;

— уменьшение оборотных средств отправителей и/или получателей грузов в результате реализации транспортными организациями проектов, повышающих среднюю скорость движения транспортных средств;

— увеличение доходов сельскохозяйственных предприятий при осуществлении строительства новых автомобильных дорог в сельской местности (такое увеличение достигается, например, за счет снижения потерь завозимых удобрений и вывозимой сельскохозяйственной продукции, а также за счет более быстрого вывоза на элеваторы собранного урожая).

2. Социальные: воздействие на человеческий капитал, права человека, гендерное равенство, уровень и качество занятости, социальное неравенство и бедность, здоровье, безопасность (включая уровень преступности), культуру, перераспределительные эффекты между различными социальными группами и др.;

3. Экологические: воздействие на климат, уровень загрязнения воздуха, воды, почвы, биоразнообразие, общественное здоровье и т.п.

Конкретно регулирующими органами могут быть контрольно-надзорные органы. На региональном уровне это могут быть администра-

ции Губернаторов и Министерства (департаменты) экономического развития или их аналоги. Во многих регионах (например, Калужская область, Санкт-Петербург, Пермский край) для этих целей создаются специальные центры (в форме региональных Агентств или Корпораций развития) для комплексной поддержки инвестиционных проектов.

Они, в том числе, взаимодействуют с органами, выполняющими контрольно-надзорные функции, органами, отвечающими за предоставление инвесторам различных льгот и инструментов поддержки, для того чтобы обеспечить соблюдение интересов региона при реализации инвестиционных проектов.

Пример специфических характеристик и параметров управления проектами в интересах регулирующих органов приведен в таблице 2.3.1 (строка 5).

## 8.2. Государственное регулирование проектов

### *Цели государственного регулирования*

В качестве значимых целей государственного регулирования следует рассматривать:

- благосостояние общества, экономическую и социальную стабильность;
- преобразование структуры народного хозяйства и выход на «новые технологические рубежи»;
- преодоление экономических, социальных и региональных диспропорций, задающих новые траектории развития;
- снижение имущественного неравенства до границ различия в эффективности производства отраслей, территорий, профессий;
- создание благоприятной атмосферы для инвестиционного процесса как условия экономического роста;
- достижение естественного уровня безработицы;
- повышение роли среднего и малого бизнеса в экономическом развитии;
- формирование человеческого потенциала;
- решение проблем демографического характера через удовлетворение потребностей в жилье, дошкольных учреждениях, квалифицированной медицинской помощи;

- создание условий экономически безопасного проживания населения.

Для достижения указанных целей органы власти зачастую в ряде проектов одновременно выступают в роли заказчика или инвестора, или поставщика, а также контроллера, решая при этом соответствующие задачи, математические модели которых были рассмотрены в главах 4-6. При этом функции получения налогов от участников проекта, выдвижение и поддержка экологических, социальных и других общественных и государственных требований, связанных с реализацией проекта, всегда остаются за регулируемыми органами. Многофункциональные роли органы власти выполняют, прежде всего, в национальных и социально значимых проектах.

Мы не будем в настоящем, и так уже довольно объемном параграфе, приводить весь веер возможных сочетаний вариантов ролей и функций регулирующих органов, но планируем в дальнейших исследованиях на конкретных примерах реализованных масштабных проектов рассмотреть подобные варианты до уровня комплексов задач.

Регулирующие органы весьма многообразны, их состав и функции подробно описаны в ряде публикаций, например [14, 16].

Реализация целей государственного регулирования осуществляется посредством выдвижения требований, связанных с реализацией проекта, с последующим контролем их соблюдения [18]. В соответствии с возможными воздействиями проекта на окружающую среду, описанными выше, выделим и три комплекса задач, которые необходимо решать Регулирующим органам:

- максимизация сбора налогов;
- оценка экологических рисков и их минимизация;
- повышение качества жизни людей.

Следует отметить огромную важность деятельности регулирующих органов в части экологического менеджмента, наряду с анализом и выдвижением требований к очевидным воздействиям проекта (нанесение вреда окружающей среде путем выбросов ядовитых веществ в атмосферу, сбросы жидких отходов в водную среду, размещение твердых отходов производства), зачастую слабая проработка экологической составляющей ведет к значительному превышению стоимости проекта и времени его создания.

Так, например, группа корейских специалистов детально проанализировала ход мегапроекта КТХ («Korea Train eXpress») сооружения ско-

ростной железной дороги Сеул — Тегу — Пусан (Seoul — Daegu — Busan) [21]. Общая протяженность дороги составляет 412 км. После того, как стоимость проекта возросла с 5,8 до 18,4 млрд. дол., а время создания дороги с 7 до 12,5 лет, правительство под давлением общественности разделило дорогу на два пусковых участка, первый из которых был пущен в 2004 г. Второй участок завершен в 2010 г. Дорога состоит из 26 секций, из которых критичными оказались всего три секции. Они-то и определили перерасход средств и времени: секция 2–1 длиной 15,5 км, секция 5–1 длиной 9,4 км и секция 8–2 длиной 16,9 км. Все остальные секции были завершены даже раньше запланированного времени.

Наибольший вклад в нарушение сроков внес участок 2–1, составляющий менее 4% общей протяженности линии (задержка на 4 года из общих 5 лет задержки проекта), в связи с неспособностью собственников стратегически планировать сложный проект, частыми изменениями маршрута из-за неудовлетворительного исследования грунтов, а также ряда задержек в получении разрешений и экспертиз на ранних стадиях проектирования. К примеру, проектирование задержалось на два года в связи с обнаружением заброшенной шахты вблизи тоннеля, что привело к изменению маршрута и перепроектированию линии.

Классическим примером превышения сроков и стоимости проектов считается здание Оперы в Сиднее, где издержки на строительство (свыше 100 млн. дол.) превысили смету (7 млн. дол.) в 16 раз. Построить здание планировалось за 5 лет, реально срок составил более 16 лет. И здесь основной (но далеко не единственной) причиной срыва являлось неудовлетворительное решение экологических проблем на ранних стадиях проектирования.

Приведенные примеры затрагивают роль органа власти не только как регулятора, но и как Заказчика и Инвестора; о совмещении разных функций в лице одной заинтересованной стороны мы указывали выше.

Признавая очевидную важность и необходимость деятельности регулирующих органов, нельзя не обратить внимания на вопиющие недостатки их работы в России. Все они за счет проекта пытаются решить свои государственные или муниципальные проблемы. Как-то: благоустроить территорию, провести электричество, воду, канализацию, телефон, проложить или заасфальтировать дороги, переселить жильцов из ветхого жилья и т.д. и т.п. И это было бы очень хорошо, если бы только это. Огромное количество регулирующих организаций, выполняющих дублирующие и, за-

частую, противоречивые проверки, потраченные на них время и деньги, ложатся тяжким бременем на бизнес.

В 2011 году в отношении юридических лиц и индивидуальных предпринимателей проведено 3 063 тыс. контрольно-надзорных мероприятий. По сравнению с 2010 г. общее количество проверок, проведенных федеральными органами исполнительной власти, уменьшилось на 6,5%. В то же время количество контрольно-надзорных мероприятий на региональном уровне в 2011 г. увеличилось на 111%. При этом плановыми являлись лишь 37% проверок, а внеплановыми соответственно 63%. Основания для проведения внеплановых проверок органов регионального контроля в 2011 году не подтвердились почти в половине случаев.

Следует отметить также увеличение количества трудовых ресурсов на проведение контрольно-надзорных мероприятий. Так, в 2011 году общая штатная численность сотрудников федеральных органов исполнительной власти по контролю (надзору), увеличилась по сравнению с 2010 годом на 5%, что составило 178 212 ед. Сотрудников региональных контрольных органов на 31% — 21 799 ед. Таким образом, всего на федеральном и региональном уровнях в мероприятия по контролю было вовлечено 181 295 сотрудников контрольных органов (по занятым штатным единицам, около 10% единиц оставалось вакантными).

Общее время проведения проверок составило 12 493 тыс. рабочих дней для федеральных органов исполнительной власти, 1 085 тыс. рабочих дней для региональных контрольных органов. Причем, если на федеральном уровне время проведения проверок изменились незначительно, то на региональном увеличились в три раза по сравнению с 2010 годом. Одна проверка обходится бюджету в среднем в 30 тыс. руб. Таким образом, на контроль государство тратит в год около \$3 млрд. [6].

Суммарно тяжесть административной нагрузки на предпринимателей оценивается с помощью рейтинга DoingBusiness, который составляет Всемирный банк. Россия в нем занимает 112 место, рядом с Сальвадором, Коста-Рикой и Гайаной. На первом месте — Сингапур, в список 10 стран с наиболее благоприятными условиями регулирования предпринимательской деятельности вошли: САР Гонконг; Китай; Новая Зеландия; США; Дания; Норвегия; Великобритания; Республика Корея; Грузия и Австралия.

В связи с вышеизложенным наиболее злободневной проблемой в настоящее время является повышение эффективности деятельности регулирующих органов за счет оптимизации их структуры, четкого определения выполняемых ими задач и регламентации деятельности. Ниже приведенные математические модели должны послужить необходимым кирпичиком в будущее стройное здание системы регулирования Российской экономики.

### 8.3. Математическая модель оценки экологических рисков и уровня социальной значимости проектов

Оценка экологического риска должна характеризовать как вероятность наступления самого неблагоприятного события, например, аварии или выброса вредных загрязняющих веществ, так и вероятность негативных последствий этого события, например, заболеваний или гибели населения. Следует отметить, что величина ожидаемого числа заболеваний представляет собой относительную оценку вероятности указанных негативных последствий загрязнения окружающей среды для здоровья и жизни человека, зависящую от определенного уровня концентрации токсичных веществ, который меняется и со временем, и в пространстве. Первым шагом оценки экологического риска является его идентификация.

В качестве исходных данных для идентификации экологических рисков используются:

- карта технологических процессов, используемое оборудование, материалы;
- технологические регламенты и другие материалы, содержащие информацию о характеристиках технологического процесса, применяемом оборудовании, сырье и материалах;
- материалы лабораторных исследований и испытаний, производимых в рамках осуществления производственного контроля соблюдения санитарных правил, экологического контроля и т.д.;
- протоколы измерений показателей опасных и вредных производственных факторов, тяжести и напряженности трудового процесса;
- данные санитарно-эпидемиологической оценки, проводимой органами государственного санитарно-эпидемиологического надзора;

- материалы проверок соблюдения требований промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды, в том числе материалы проверок, проводимых государственными надзорными органами;

- материалы расследований аварий, инцидентов, несчастных случаев и профессиональных заболеваний.

Оценку экологического риска предлагаем производить с помощью многомерных методов экспертных оценок. На первом этапе каждый эксперт  $j$  идентифицирует экологические риски каждого варианта проекта ( $i=1, \dots, N$ ) и по десятибалльной системе заполняет следующую таблицу 2.8.1:

Таблица 2.8.1

Оценка экологического риска

| Идентификация рисков<br>Варианты проекта | 1)         | 2)         | 3)         | 4)         | 5)         | 6)         | 7)         | Взвешенная сумма оценок                            |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
| вариант проекта 1                        | $a_{1j}^1$ | $a_{1j}^2$ | $a_{1j}^3$ | $a_{1j}^4$ | $a_{1j}^5$ | $a_{1j}^6$ | $a_{1j}^7$ | $\tilde{A}_{1j} = \sum_{k=1}^7 \lambda_k a_{1j}^k$ |
| вариант проекта 2                        | $a_{2j}^1$ | $a_{2j}^2$ | $a_{2j}^3$ | $a_{2j}^4$ | $a_{2j}^5$ | $a_{2j}^6$ | $a_{2j}^7$ | $\tilde{A}_{2j} = \sum_{k=1}^7 \lambda_k a_{2j}^k$ |
| ...                                      |            |            |            |            |            |            |            |  |
| вариант проекта $N$                      | $a_{Nj}^1$ | $a_{Nj}^2$ | $a_{Nj}^3$ | $a_{Nj}^4$ | $a_{Nj}^5$ | $a_{Nj}^6$ | $a_{Nj}^7$ | $\tilde{A}_{Nj} = \sum_{k=1}^7 \lambda_k a_{Nj}^k$ |

$a_{ij}^k$  — оценка  $j$ -м экспертом  $i$ -го варианта проекта по  $k$ -му ( $k=1, \dots, 7$ ) набору исходных данных, приведенных выше. Причем значение  $a_{ij}^k=1$  характеризует минимальный риск,  $a_{ij}^k=10$  максимальный.  $\tilde{A}_{ij}$  — взвешенная сумма оценок экологических рисков варианта проекта  $i$ , полученная экспертом  $j$ .  $\lambda_k$  — весовые коэффициенты, характеризующие степень важности приведенных выше типов исходных данных для идентификации экологических рисков. Проведем нормализацию полученных оценок:

$$A_{ij} = \frac{\tilde{A}_{ij} \cdot N}{\max_{i,j} \tilde{A}_{ij}}. \quad (2.8.1)$$

На втором этапе вычисляем степень согласованности результатов оценивания проектов каждой парой экспертов с помощью модифицированного коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Модификация заключается в том, что в качестве рангов проектов берем их нормализованные взвешенные суммы оценок экологических рисков, вычисленных по фор-

муле (2.8.1). Коэффициент корреляции Спирмена  $R$  будем определять по формуле

$$R = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{N^3 - N}, \quad (2.8.2)$$

где  $N$  — число сравниваемых вариантов проекта,  $d_i = A_{ij_1} - A_{ij_2}$  — разность взвешенных сумм оценок варианта проекта  $i$  двух произвольных экспертов  $j_1$  и  $j_2$ .

Максимальным значением степени согласованности экспертов является +1 (достигается, когда ранги обоих экспертов совпадают), а минимальным значением является -1 (соответствует случаю, когда мнения экспертов противоположны).

Таким образом вычисляем коэффициенты корреляции Спирмена для всех пар экспертов, которых в общем случае  $C_N^2$ .

На следующем этапе находим *коэффициент конкордации*, определяющий согласованность мнений группы экспертов.

Для этого в табл. 2.8.2 заносим нормализованные взвешенные суммы оценок проектов, полученные  $m$  экспертами. В последнем столбце таблицы суммируются оценки всех экспертов для каждого проекта  $i$ . Переставим строки в порядке возрастания этих сумм. Среднее значение этих сумм обозначим через  $\bar{A}_i$ .

$$\bar{A}_i = \sum_{j=1}^m A_{ij} / m. \quad (2.8.3)$$

Затем рассчитываем сумму квадратов отклонений:

$$S = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m (A_{ij} - \bar{A}_i)^2. \quad (2.8.4)$$

Таблица 2.8.2

Варианты выполнения проектов

| Варианты проектов | Эксперты |          |     |          |                       |
|-------------------|----------|----------|-----|----------|-----------------------|
|                   |          |          |     |          |                       |
| Первый            | $A_{11}$ | $A_{12}$ | ... | $A_{1m}$ | $\sum_{j=1}^m A_{1j}$ |
| Второй            | $A_{21}$ | $A_{22}$ | ... | $A_{2m}$ | $\sum_{j=1}^m A_{2j}$ |
| ...               | ...      | ...      | ... | ...      |                       |
| $N$ -й            | $A_{N1}$ | $A_{N2}$ | ... | $A_{Nm}$ | $\sum_{j=1}^m A_{Nj}$ |

Это значение характеризует степень совпадения мнений всех экспертов. При полностью согласованных мнениях значение  $S$  будет равно нулю или очень маленькой величине. Поэтому для определения степени согласованности мнений группы экспертов предлагается определять коэффициент конкордации следующим образом:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(N^3 - N)}. \quad (2.8.5)$$

Изменение  $W$  от 1 до 0 указывает на увеличение степени согласованности во мнениях экспертов.

Таким образом, работа с группой экспертов по определению оценок экологических рисков проектов производится следующим образом (подобно работе с экспертами по выбору поставщиков). Сначала находятся оценки экологических рисков всех вариантов проекта всеми экспертами. Они нормализуются. Затем определяются и анализируются парные коэффициенты корреляции Спирмена, осуществляется работа по выявлению экспертов, у которых оценки отличаются от остальных. И, хотя такие эксперты могут быть и не коррумпированными и достаточно компетентными, следует разобраться в причинах таких отклонений (возможно, они обладают какой-либо дополнительной информацией, которой следует обеспечить и других экспертов) и, после повторного оценивания, исключить их из группы экспертов при повторении отклонений. Далее по формуле (2.8.5) вычисляется коэффициент конкордации, организационная работа с экспертами (их информирование, отсев и последующие перерасчеты) продолжается до тех пор, пока не получим значение  $W \leq 0.15$ , что говорит о высокой степени согласованности мнений экспертов. Тогда  $\bar{A}_i$ , вычисленные по формуле (2.8.3), будут являться обобщенными оценками экологических рисков проектов. В случае длительного срока реализации сложного проекта оценки его экологических рисков могут отличаться по годам, тогда вышеописанную процедуру следует проводить по каждому году отдельно, получая оценки  $\bar{A}_i^t$ .

Социальные результаты отражают вклад проекта в улучшение социальной среды и, в конечном счете, — в повышение качества жизни людей. Качество жизни характеризуется оценками следующих аспектов:

- 1) доходов населения (средняя заработная плата и другие выплаты);
- 2) обеспеченности населения товарами и услугами потребительского назначения; ценами и тарифами на них;

3) обеспечения жильем, объектами хозяйственно-бытового назначения и коммунальными услугами;

4) занятости населения (количество новых рабочих мест); подготовки кадров;

5) обеспечения населения объектами образования, культуры и искусства, здравоохранения, спорта, транспортного обслуживания;

6) социальной безопасности (снижение правонарушений и преступности);

7) здоровья и продолжительности жизни — это улучшение условий труда; развитие сферы здравоохранения; уровень обслуживания.

Оценку уровня социальной значимости проектов проводим по вышеприведенной в 2.8.2 схеме, получая на первом этапе  $b_{ij}^k$  — оценки  $j$ -м экспертом  $i$ -го варианта проекта по  $k$ -му ( $k=1, \dots, 7$ ) аспекту качества ни,  $\tilde{B}_{ij}$  — взвешенные суммы оценок качества жизни варианта проекта  $i$ , полученные экспертом  $j$ . После проведения нормализации полученных оценок вычисляем  $B_{ij}$ . Далее аналогично проводим все этапы вычислений и получаем  $\bar{B}_i^t$  — обобщенные оценки уровня социальной значимости проектов.

Качественные суждения, методы экспертных оценок в силу своей субъективности имеют серьезные недостатки. При последующих проверках оказывалось, что такие данные часто отклоняются в сторону увеличения значимости недавних и часто повторяющихся событий, более впечатляющих эффектов (происходит искажение ожидаемой вероятности события). Все это следует учитывать при использовании метода экспертных оценок.

8.4. Экспертный отбор возможных вариантов проекта с использованием принципов попарного сравнения (метод иерархий Саати)

В качестве критериев выбора вариантов проекта предлагаются следующие:

- повышение благосостояния общества, экономической и социальной стабильности в регионе;
- насыщение региона товарами и услугами создаваемого предприятия;
- повышение уровня занятости населения;
- удовлетворение потребностей в жилье, дошкольных учреждениях, квалифицированной медицинской помощи;
- охрана окружающей среды.

Для выбора наиболее значимых вариантов проекта предлагается метод анализа иерархий Саати [17]. Для установления относительной важности элементов иерархии  $v_{ij}$  используется шкала отношений (см.табл.2.5.1), позволяющая методом попарного сравнения численно оценить степень предпочтения одного сравниваемого объекта перед другим.

В табл. 2.8.3 приведен пример попарных сравнений критериев для некоторого проекта (для анализа взят проект строительства гипермаркета «Родник» в г. Челябинске).

Таблица 2.8.3

Матрица А попарных сравнений критериев

| Критерии                            | Повышение благосостояния | Насыщение региона товарами | Повышение уровня занятости | Удовлетворение потребностей в жилье | Охрана окружающей среды |
|-------------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Повышение благосостояния            | 1                        | 3                          | 3                          | 3                                   | 2                       |
| Насыщение региона товарами          | 1/3                      | 1                          | 3                          | 5                                   | 3                       |
| Повышение уровня занятости          | 1/3                      | 1/3                        | 1                          | 5                                   | 1/3                     |
| Удовлетворение потребностей в жилье | 1/3                      | 1/5                        | 1/5                        | 1                                   | 1/5                     |
| Охрана окружающей среды             | 1/2                      | 1/3                        | 3                          | 5                                   | 1                       |

Для формирования вектора приоритетов критериев сначала нормализуем матрицу А, путем деления всех ее элементов на сумму элементов каждого соответствующего столбца.

$$N_A = \begin{pmatrix} 0.40 & 0.62 & 0.29 & 0.16 & 0.31 \\ 0.13 & 0.20 & 0.29 & 0.26 & 0.46 \\ 0.13 & 0.07 & 0.11 & 0.26 & 0.05 \\ 0.13 & 0.04 & 0.02 & 0.06 & 0.03 \\ 0.21 & 0.07 & 0.29 & 0.26 & 0.15 \end{pmatrix}$$

Компоненты вектора  $W^E$  вычисляются как средние арифметические элементов строки нормализованной матрицы.

$$W^E = (0.356 \quad 0.268 \quad 0.138 \quad 0.056 \quad 0.196). \quad (2.8.6)$$

На данном проекте самым приоритетным является критерий «повышение благосостояния» (0,356), затем «насыщение региона товарами» (0,268), потом «охрана окружающей среды», «повышение уровня занятости», и на последнем месте «удовлетворения потребностей в жилье».

Затем для каждого критерия строится матрица попарных сравнений вариантов проекта, и формируются соответствующие вектора приоритетов. Полученные вектора приоритетов вариантов проекта по каждому критерию умножаются скалярно на вектор приоритетов критериев и, таким образом, получается результирующий вектор приоритетов вариантов проекта  $\{A_i\}$ . В случае длительного срока реализации сложного проекта вышеописанную процедуру следует проводить по каждому году отдельно, получая оценки  $A_i^t$ .

8.5. Математическая модель деятельности регулирующих органов, максимизирующая объем налогов

Дано:  $N_t$  — план налогообложения. Финансовые этапы ( $v_t^k$  — прибыль от реализации) вариантов реализации проекта разрабатываются руководителем проекта, его командой и генконтрактором. Команда проекта совместно с заказчиком и представителями регулирующих органов составляет перечень положительных и отрицательных аспектов реализации проекта (от его разработки до последующей эксплуатации) и производит их экспертную оценку для каждого варианта реализации.

К положительным аспектам ( $a^+_q$ ) относятся:

- создание новых рабочих мест (по видам специальностей);
- выпуск конкурентоспособной продукции, более привлекательной для населения территории по качеству и ценам;
- повышение наполняемости бюджета благодаря производству новой продукции;
- участие в решении определенных социальных вопросов;
- решение некоторых транспортных проблем территории.

К отрицательным аспектам ( $a^-_q$ ) относятся:

- невыполнение экологических требований;
- ухудшение санитарно-эпидемиологической обстановки;
- загрязнение ландшафта, включая ухудшение историко-архитектурной ценности местности.

Финансовые результаты этапов реализации вариантов проекта существенным образом влияют на оценку вышеперечисленных аспектов.

Математическая модель деятельности регулирующих органов выглядит следующим образом: необходимо найти такой вариант реализации проекта  $k_s$ , при котором:

$$n_t V_t^{k_s \phi} \geq N_t, \quad (2.8.7)$$

$$\sum_{q=1}^5 a_q^+ (V_t^{k_{\text{эф}}}) - \sum_{q=1}^3 a_q^- (V_t^{k_{\text{эф}}}) \geq \sum_{q=1}^5 a_q^+ (V_t^k) - \sum_{q=1}^3 a_q^- (V_t^k), \forall k \quad (2.8.8)$$

Осуществляется оптимизация выгод и потерь для территории с точки зрения налогообложения, социальных и экологических требований, т.е. выбирается такой вариант реализации проекта, который при обеспечении плана налогообложения (при годовой ставке  $n_t$ ) обеспечивает максимально объективную оценку его положительных и отрицательных аспектов.

8.6. Многокритериальная математическая модель деятельности регулирующих органов (минимизация экологического риска, повышение качества жизни и максимизация налогов)

Пусть известны максимально возможные объемы финансирования проекта  $Q = \sum_{t=0}^T Q^t$  на интервале  $[0, T]$ . Эти средства могут быть использованы для вложения в один из вариантов проекта  $k$  ( $k=1, \dots, N$ ), требующий в период  $t$  финансирования в объеме  $V_k^t$ . Пусть прибыль от реализации варианта проекта  $k$  на конец периода  $t$  составляет  $PV_k^t$ , ставка налогообложения  $n_k$ , оценка уровня социальной значимости проектов  $\bar{B}_k^t$ , а прогнозируемая оценка экологического риска составляет  $\bar{A}_k^t$ . Необходимо выбрать такой вариант реализации проекта, который обеспечивал бы максимальный ожидаемый объем налогов для некоторого (близкого к минимальному) значения экологического риска и уровня социальной значимости проектов.

Проблема выбора варианта реализации проекта может быть сформулирована как следующая трехкритериальная задача целочисленного программирования с булевыми переменными. Найти:

$$x_k = \begin{cases} 1, & \text{если выбираем вариант проекта } k, \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (2.8.9)$$

при ограничениях:

$$\sum_{k=1}^N V_k^t \cdot x_k \leq Q^t, \forall t \in [0, T]. \quad (2.8.10)$$

Целевые функции:

1) максимизация ожидаемого объема налогов:

$$F_1 = \sum_{t=0}^T (\sum_{k=1}^N x_k \cdot n_k \cdot PV_k^t) (1 + d)^{-t} \rightarrow \max; \quad (2.8.11)$$

2) минимизация экологического риска:

$$F_2 = \sum_{t=0}^T (\sum_{k=1}^N x_k \cdot \bar{A}_k^t) (1 + d)^{-t} \rightarrow \min; \quad (2.8.12)$$

3) повышение качества жизни:

$$F_3 = \sum_{t=0}^T (\sum_{k=1}^N x_k \cdot \bar{B}_k^t) (1 + d)^{-t} \rightarrow \max; \quad (2.8.13)$$

Оценка экологического риска  $\bar{A}_k^t$  варианта проекта  $k$ , реализуемого в период  $t$  в объеме инвестиций  $V_k^t$ , формируется по алгоритму, описанному в 2.8.2. Оценку уровня социальной значимости проектов  $\bar{B}_k^t$  рассчитываем в соответствии с 2.8.3. Эти оценки могут быть заменены на обобщенные оценки  $A_k^t$ , полученные в 2.8.2. Коэффициент дисконтирования  $d$  принимаем как минимально желаемый уровень доходности государственных инвестиций. Он может быть применен и для второй целевой функции в качестве меры эквивалентности значений риска, и для третьей целевой функции в качестве меры эквивалентности оценок уровня социальной значимости проектов для разных временных периодов.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать метод последовательных уступок, который подробно описан нами в главе 6.

Предложенные примеры постановки задач для Регулирующих органов служат основой разработки объективно многовариантной системы УП. При этом приведенные выше математические модели позволяют реализовать многие компетенции Регулирующих органов в процессе выполнения проекта. Полученные в моделях 2.8.2 и 2.8.3 оценки экологических рисков и уровня социальной значимости проектов, используемые в модели 2.8.4, могут быть использованы и в ряде других моделей, описанных в главах 4-6, в случае выполнения органами власти многофункциональных ролей.

## **Глава 9. Математические модели проектного управления для коммерческой службы**

### **9.1. Основные понятия**

Большинство реализуемых проектов ставят своей целью получение финансовой выгоды. Инвестор принимает решение о вхождении в проект, основываясь на данных бизнес-плана, и ставит своей целью извлечение прибыли. Заказчик определяет требования к продукту, команда управления проектом совместно с ген. подрядчиком и поставщиком выполняет проект и создает продукт в соответствии с заявленными Заказчиком требованиями и целями Инвестора получить прибыль. В современном управлении проектами эти роли достаточно хорошо изучены и описаны. Вместе с тем, для получения прибыли необходимо обеспечить поступление денежных средств путем продажи или другого способа реализации (например, сдачи

в аренду площадей построенного объекта коммерческой недвижимости) создаваемого продукта. Продажа создаваемого объекта — сфера ответственности коммерческой службы. Несмотря на то, что продажа напрямую связана с обеспечением прибыльности проекта и является одним из важных критериев успешности, в существующих методологиях управления проектами мало внимания уделено компетенциям, методам и инструментам, необходимым коммерческой службе для эффективного выполнения ею своих функций.

*Коммерческая служба* — организация или часть организации, отвечающая за реализацию продукта проекта клиенту (конечному потребителю) и обеспечение денежного потока в виде выручки от реализации.

В контексте данного учебного пособия рассмотрим коммерческую службу на примере отрасли строительство и девелопмент. В сфере недвижимости роль коммерческой службы могут выполнять как самостоятельные организации, так и отдельные подразделения в составе материнской компании.

Большинство проектов, реализуемых в сфере недвижимости, ставят своей целью получение прибыли, что обуславливает выбор данной отрасли в качестве примера в настоящей главе.

## 9.2. Назначение и роль коммерческой службы

Роль профессиональных коммерческих служб сегодня трудно переоценить. Подавляющее большинство компаний успешно функционируют на отечественном рынке уже более 10 лет. Накопленный за это время опыт в проведении сделок любой сложности и большая клиентская база служат гарантией их надежности. Специалисты таких компаний способны в максимально сжатые сроки на высоком уровне предоставить полный пакет необходимых услуг — от поиска и привлечения клиентов до полного юридического сопровождения сделки.

Основное назначение коммерческой службы — осуществлять реализацию создаваемого в ходе проекта продукта и обеспечивать приток денежных средств в компанию. Поскольку цикл девелоперского или строительного проекта довольно длительный, то чем ранее компания начнет продажу площадей строящегося объекта, тем лучше с точки зрения обеспечения входящего денежного потока, а, следовательно, для прибыльности проекта.

Существует несколько разновидностей коммерческих служб в сфере недвижимости в зависимости от их целей, например, компании-брокеры, специализированные агентства недвижимости, риэлторы, подразделения девелоперских компаний, осуществляющих коммерческие функции (маркетинг и продажи) по реализации жилой и коммерческой недвижимости.

Тип создаваемого объекта определяет основные цели и задачи коммерческой службы. Это может быть продажа квартир в случае с жилой недвижимостью или торговых и офисных площадей коммерческой недвижимости, сдача в аренду квадратных метров и так далее. Основными видами деятельности, приносящими доход, можно назвать продажу и сдачу в аренду, при этом проекты недвижимости могут реализовываться как в секторе «новостройки», так и на «вторичном» рынке.

Виды деятельности коммерческой службы, типы проектов, вид рынка недвижимости формируют основные цели, задачи и функции.

Рассмотрим деятельность коммерческой службы на примере девелоперской компании, занимающейся строительством комплексов жилых домов на двух земельных участках.

Организация представляет собой девелоперскую компанию полного цикла и реализует проекты по строительству жилой недвижимости. Служба, отвечающая за приток денежных средств от клиентов, представлена обособленным подразделением, занимающимся маркетингом и продажами. Такая коммерческая служба осуществляет продажу площадей (квартир) или готовых объектов (коттеджей) конечным пользователям, клиентам. Денежные средства в виде выручки поступают в компанию от всех реализуемых проектов.

Цель коммерческой службы — обеспечить приток денежных средств путем продажи квартир в строящихся домах. На основе цели в компании четко определены и закреплены функции коммерческой службы: маркетинг, продажи.

Для достижения данной цели в рамках заданных функций подразделение выполняет следующие задачи:

- разработка и проведение маркетинговых мероприятий, направленных на поиск и привлечение клиентов;
- заключение договоров с клиентами;
- отслеживание поступлений денежных средств по заключенным договорам;
- решение проблем с клиентами и работа с рекламациями.

Используемая информация:

- план продаж с разбивкой по месяцам, включающий требуемое количество квартир определенного вида (1-комнатные, 2-х комнатные и т.д.);
- бюджет проекта;
- бизнес–план проекта;
- юридическое обеспечение в форме договоров и других документов;
- укрупненный сетевой график проекта;
- план по вехам.

### 9.3. Основные проблемы и задачи для решения

В настоящем параграфе рассматриваются основные ограничения и риски, связанные с реализацией продукта проекта и обеспечением входящего денежного потока в виде выручки.

Среди ограничений коммерческой службы можно выделить следующие:

- сроки реализации квартир;
- сроки сдачи построенного объекта в эксплуатацию;
- наличие определенного вида квартир в разные моменты на разных стадиях проекта;
- неплатежеспособность клиентов;
- чувствительность рынка недвижимости к макроэкономическим факторам (политика, экономика, курсы валют и т.д.);
- бюджет, выделенный на маркетинговые исследования, рекламу.

Основными проблемами, с которыми сталкивается коммерческая служба и в целом организация, являются следующие.

#### *1. Коммерческая служба не вовлечена в проект.*

Представители коммерческой службы не обладают детальной информацией о ходе проекта, не имеют возможности отслеживать изменения в графике и причины этих изменений. Вследствие низкой информированности коммерческая служба «оторвана» от реалий проекта, что затрудняет коммуникации. Недостаточное понимание общих целей, проблем, задач, событий и вех в проекте.

#### *2. План продаж как основной инструмент не эффективен.*

План продаж разрабатывается на основе бизнес-плана и потребности в финансировании проекта. План утверждается и ежемесячно пересматрива-

ется. Заранее известно (из сетевого графика), в какие моменты времени и какое количество денежных средств необходимо получить. Однако, в общем плане-графике (сетевой график проекта) не закладывается время на задачи, которые выполняет коммерческая служба, — маркетинговые мероприятия и продажи. В то время как каждая элементарная работа требует тщательной оценки по времени, стоимости и ресурсам. Неадекватное планирование и непринятие во внимание работ, связанных с продажами, приводит к серьезным кассовым разрывам на этапе реализации проекта.

*3. Отставание от плана продаж (недополучение выручки в полном объеме в заданные сроки).*

В силу разных причин коммерческая служба не выполняет план по продажам. Выручка от реализации объекта или частей объекта недвижимости поступает не регулярно.

*4. Нерегулярность и непредсказуемость выручки от клиентов.*

Сложно предсказуемое поведение покупателя. Необходимо мониторить макрофакторы и просчитывать риски с их учетом, определять их влияние на проект и его показатели.

*5. Сезонность продаж.*

Коммерческая служба подвержена фактору сезонности. В периоды новогодних праздников и после них (январь–март), в летние месяцы покупатели находятся в отпусках и не совершают покупки. Данный фактор не учитывается при планировании проекта и построении календарного плана-графика работ. В результате план продаж формируется изначально не точно, исходя их *среднемесячной* потребности поступления денежных средств в виде выручки от продаж. Например, каждый месяц необходимо продавать 30 квартир. Следует учитывать фактор сезонности при планировании.

Как следствие, при реализации проекта недополучение выручки в запланированных объемах влияет на ухудшение финансово-экономических показателей проекта (период окупаемости, NPV и другие).

*6. Не учитываются риски коммерческой службы в проекте.*

Коммерческая служба не имеет инструмента для оценки макроэкономических и других рисков с целью прогнозирования выполнения или невыполнения плана продаж. Необходимо такой инструмент иметь и использовать. Управление рисками коммерческой службы должно стать частью общей системы управления рисками проекта.

*7. Прогнозирование продаж: выручка и прибыль проекта.*

Самая сложная задача — это как можно точнее прогнозировать продажи, выраженные как в натуральном выражении (квартиры, квадратные метры), так и в денежном выражении. На этапе выполнения проекта коммерческая служба осуществляет продажи и по итогам месяца готовит отчет в форме план-факт, в котором указывается, сколько квартир (кв.м.) планировали продать, сколько по факту реализовали, какое количество денежных средств планировали получить и сколько на самом деле составила выручка. Если есть отклонения, то их анализируют и выявляют причины.

Далее необходимо спрогнозировать выполнение плана продаж и оценить влияние отставания (план-факт) на весь проект. Каким образом скажется невыполнение плана продаж в данном месяце на показатель «выручка»? Как повлияло фактическое выполнение плана продаж в этом месяце на финансово-экономические показатели проекта в целом? Необходимо пересчитать. Далее необходимо сделать прогноз, с учетом уже сложившегося факта и тенденции недополучения выручки на сегодня, а также возможных рисков (макрофакторов), какие результаты по проекту будут получены на момент его завершения. То есть необходим ежедневный механизм прогнозирования с учетом ежедневной выручки и рисков. Это позволит более точно рассчитывать потребность в финансировании и проективно управлять денежными потоками, а также сокращать и/или ликвидировать возникновение кассовых разрывов.

#### *8. Влияние отставания от расписания.*

Еще одной проблемой является то, что в расписании проекта возникают отставания по срокам. На определенном этапе может наступить ситуация, когда при нарушении сроков сдачи объекта клиенты подают иски в суд (и это реальные примеры из практики компаний). В этом случае по договорам с клиентами возникают судебные разбирательства, которые влекут за собой штрафы и судебные издержки. Необходим механизм, позволяющий предотвращать данный сценарий развития событий, или, по крайней мере, минимизирующий негативные его последствия.

Коммерческой службе необходимо иметь методы и инструменты, предназначенные для оперативного и среднесрочного управления работами и задачами. Необходимо иметь модель, на основе которой составляются оперативные графики выполнения работ, событий, других видов деятельности, также осуществляется оперативный учет, отчетность, контроль, мониторинг, анализ, регулирование, прогнозирование и обратная связь. Применяя удобную и понятную модель, сотрудники коммерческой службы

смогут обеспечивать определенные объемы продаж к моментам свершения требуемых вех (событий), реализацию продукта на разных стадиях проекта, удовлетворение потребностей конечных потребителей продукта проекта, осуществление маркетинговых мероприятий.

Возможные элементы модели: вехи, работы по маркетингу и продажам, зависимости, обратный расчет, договора, финансовые параметры, работа с рекламациями.

Функции коммерческой службы тесно связаны с функциональной областью «управления стоимостью и финансированием проекта» и включают в себя:

- оценку рынка (платежеспособность населения, достаточное количество потенциальных покупателей на данный вид объекта недвижимости, потребности потребителей и их ожидания определенного уровня качества объекта);
- предварительную оценку количества денежных средств, которые возможно получить от продажи объекта недвижимости, расчет требуемого среднемесячного поступления выручки, расчет количества продаваемых объемов (квадратных метров, квартир);
- определение сметы операционных расходов, необходимых на обеспечение функционирования коммерческой службы (заработная плата и система мотивации персонала, затраты на маркетинговые мероприятия);
- планирование денежных потоков (сроки и объемы);
- исполнение и контроль плана продаж, анализ отклонений и их причин;
- оценка эффективности проводимых маркетинговых мероприятий для привлечения клиентов (покупателей);
- прогнозирование доходов и прибыли.

Главной задачей является соблюдение темпов строительства в соответствии с первоначальным планом, получение запланированной выручки в привязке к темпам, и, как следствие, обеспечение предусмотренной прибыли проекта.

9.4. Математическая модель, описывающая характер влияния характеристик проекта и хода его реализации на выполнение плана продаж

В качестве анализируемого и прогнозируемого показателя качества  $Y^{ik}$  возьмем процент выполнения плана по продажам в течение  $k$  месяцев после официального срока сдачи проекта. Данная модель предназначена для

выявления характера зависимости выбранного параметра качества от характеристик проекта и хода его реализации.

Исходной информацией являются статистические данные об уже выполненных  $N$  проектах  $x_{pi}$  и значения показателя качества  $Y_p^k$  ( $k = 0, \dots, K$ ;  $p = 1, \dots, N$ ). Здесь  $I$  ( $I = 1, \dots, n$ ) — номер характеристики проекта (фактора), проекты группируем по типам, для каждого типа может быть свой набор факторов.

Например, для проектов жилищного строительства набор факторов следующий:

- количество однокомнатных квартир;
- количество двухкомнатных квартир;
- количество трехкомнатных квартир;
- количество четырехкомнатных квартир;
- этажность;
- стоимость  $1\text{м}^2$ ;
- инфраструктура и благоустройство прилегающей территории по 5-бальной системе (1 — очень плохо, 5 — очень хорошо);
- расстояние до метро;
- расстояние до остановки общественного транспорта;
- затраченные средства на рекламу данного проекта (при рекламировании жилищного комплекса — доля средств, соответствующая данному объекту в составе комплекса);
- отклонения фактического срока сдачи объекта от планового (в % от плановой продолжительности).

Построение регрессионной линейной (аддитивной) модели влияния характеристик проекта и хода его реализации на выполнение плана продаж. Ищется зависимость вида:

$$Y^{ak} = a_0 + a_1 * X_1 + \dots + a_n * X_n, \quad (2.9.1)$$

где  $a_i$  — коэффициенты регрессии, показывающие степень влияния каждого фактора  $I$  на параметр качества. При изменении значения фактора на единицу (единицу измерения представленных данных) значение показателя качества меняется на величину соответствующего коэффициента регрессии.

В процессе построения модели определяется множество характеристик проекта (факторов), оказывающих заметное влияние на моделируемый показатель качества, причем для каждого  $k$  это может быть свой набор фак-

торов и коэффициентов регрессии. Отбор факторов проводится методом расчета коэффициентов корреляции  $r_{ij}$  для каждой пары переменных  $X_i, X_j$  в уравнении (2.9.1). Корреляция переменных показывает, насколько велика их связь между собой. Если связь достаточно велика ( $|r_{ij}| \geq 0.8$ ), то использование одной из переменных нецелесообразно и является избыточным. Кроме того, следует исключать факторы, имеющие слабую степень влияния на показатель качества  $Y$ . Данное решение принимается ответственным лицом индивидуально по каждому фактору, путем анализа полученных коэффициентов регрессии и  $t$ -статистики. В итоге получаем некоторое множество факторов, влияние которых на исследуемый параметр  $Y^{ak}$  наиболее значимо, причем будет устранена избыточность переменных.

Использование полученной модели возможно по двум направлениям:

1. Повышение качества выполнения плана продаж за счет изменения (при возможности) значений характеристик проекта (увеличиваем  $i$ -й фактор, если  $a_i > 0$ , и, соответственно, уменьшаем, если  $a_i < 0$ );

2. Прогнозирование хода выполнения плана продаж в течение  $k$  месяцев после официального срока сдачи проекта.

Построение нелинейной (мультипликативной) модели влияния характеристик проекта на выполнение плана продаж, т.е. зависимости вида

$$Y^k = a_0 X_1^{a_1} X_2^{a_2} * \dots * X_n^{a_n} \quad (2.9.2)$$

в данном случае нецелесообразно, т.к. здесь показатели степени  $a_i$  — коэффициенты эластичности, являются константами. Они показывают, на сколько процентов меняется анализируемый показатель  $Y^k$  при изменении фактора  $i$  на один процент. Однако анализ статистических данных о характеристиках проектов жилищного строительства и выполнении плана продаж показывает существенную зависимость коэффициентов эластичности анализируемых показателей  $Y^k$  от значений факторов. Поэтому для данного типа проектов рекомендуем строить регрессионную модель (2.9.1). При наличии в статистической информации о характеристиках других типов проектов постоянных коэффициентов эластичности следует строить регрессии по формуле (2.9.2).

## 9.5. Математическая модель для оценки рынка жилищного строительства

При этом для примера будем использовать статистическую информацию, характеризующую рынок строящегося жилья в Челябинске и Челя-

бинской области. Полученную таким образом методику построения модели можно будет использовать во всех других регионах России, за исключением Москвы и Московской области, где рынок определяется характеристиками не только самого региона, а страны в целом.

Производя оценку рынка жилья в конкретном районе, компания руководствуется рядом показателей:

- географическое положение;
- количество потенциальных клиентов;
- ожидаемая прибыль;
- инфраструктура;
- наличие конкурентов в выбранном регионе и пр.

Наша цель — создать методику, которая оперировала бы показателями, поддающимися измерению и сопоставлению, отражающими основные социально-экономические характеристики региона. Кроме того, источник данных должен быть достоверен и доступен для пользования, то есть организации не нужно проводить дополнительные исследования, чтобы получить информацию. Это упрощает и работу с моделью, и экономит средства компании.

За основу для создания модели нами взят статистический сборник «Города Челябинской области» и «Всероссийский статистический сборник».

Первый сборник включает в себя следующие социально-экономические показатели: численность наличного населения, среднесписочная численность работников, численность незанятого населения, среднемесячная номинальная заработная плата работников организаций, численность пенсионеров, средний размер назначенных месячных пенсий, объем промышленной продукции, индексы промышленного производства, продукции сельского хозяйства, индексы физического объема сельского хозяйства, ввод в действие жилых домов, оборот розничной торговли, объем платных услуг населению, индексы физического объема платных услуг населению, сальдированный финансовый результат деятельности организаций, инвестиции в основной капитал.

Во втором сборнике представлена более подробная статистическая информация, как то:

*Население:* численность постоянного населения, плотность населения, число родившихся, число умерших, естественный прирост, убыль, число зарегистрированных браков, число зарегистрированных разводов.

*Труд*: среднегодовая численность работающих в организациях, численность незанятых трудовой деятельностью граждан, из них признанных безработными.

*Уровень жизни населения и социальное обеспечение*: среднемесячная номинальная начисленная заработная плата, численность пенсионеров, средний размер назначенных месячных пенсий, число дошкольных учреждений, детей в них, число детей, приходящихся на 100 мест в дошкольных учреждениях, число дневных общеобразовательных учреждений, учащихся в них, число государственных средних специальных учебных заведений, студентов в них, число государственных высших учебных заведений, студентов в них, численность врачей всех специальностей, численность среднего медицинского персонала, число больничных учреждений, число больничных коек, число амбулаторно-поликлинических учреждений, число общедоступных библиотек, библиотечный фонд, число учреждений культурно-досугового типа, число музеев.

*Охрана окружающей среды*: объем загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, объем сброса загрязненных сточных вод.

*Правонарушения*: число зарегистрированных преступлений, выявлено лиц, совершивших преступления.

*Жилищный фонд*: жилищный фонд, в среднем на одного жителя.

*Промышленность*: объем промышленной продукции крупных и средних организаций, индекс промышленного производства, численность промышленно-производственного персонала.

*Производство отдельных видов промышленной продукции*: чугун, сталь, цемент, цельномолочная продукция.

*Строительство*: ввод в действие жилых домов, ввод в действие жилых домов индивидуальными застройщиками, объем работ, выполненных по договорам строительного подряда по крупным и средним организациям.

*Торговля и услуги населению*: оборот розничной торговли, оборот общественного питания, оборот розничной торговли на душу населения, объем платных услуг населению, объем платных услуг на душу населения.

*Транспорт и связь*: перевозки грузов крупными и средними автотранспортными организациями, перевозки пассажиров крупными и средними автотранспортными организациями, число телефонных аппаратов (без таксофонов), в том числе квартирных.

*Финансы*: сальдированный финансовый результат деятельности организаций, удельный вес убыточных организаций, сумма убытка.

*Инвестиции:* инвестиции в основной капитал, инвестиции в жилищное строительство.

Из всего этого многообразия показателей были выбраны ключевые, независимые (коэффициент корреляции  $< 0,85$ ), которые дают комплексную характеристику региона:

1. Год.
2. Население — отражает потенциальное число клиентов.
3. Заработная плата — отражает потенциальную величину платежей.
4. Объемы частного сектора (количество домов,  $\text{м}^2/\text{чел.}$ ).
5. Обеспеченность жильем в многоквартирных домах,  $\text{м}^2/\text{чел.}$
6. Число автомобилей.

В качестве анализируемого и прогнозируемого показателя возьмем «ввод в действие жилых домов», который позволяет строительной компании оценить перспективы ее развития в регионе.

Построение модели проведем на информационной базе 6 городов Южноуральск (ЮЖУ), Троицк, Златоуст, Миасс, Катав-Ивановск (К-И), Усть-Катав (У-К), где строительная компания вела жилищное строительство в 2011, 2012 и 2013 годах. Объединим выбранные показатели для выбранных нами объектов исследования по годам в табл. 2.9.1.

Таблица 2.9.1

Социально-экономические показатели для анализируемых районов

| Район    | Год ( $x_1$ ) | Население, тыс.чел. ( $x_2$ ) | Зар. плата, руб. ( $x_3$ ) | Объемы частного сектора, кол-во. ( $x_4$ ) | Обеспеченность жильем, $\text{м}^2/\text{чел.}$ ( $x_5$ ) | Число автомобилей, шт. ( $x_6$ ) | Ввод в действие жилых домов, $\text{м}^2$ ( $Y$ ) |
|----------|---------------|-------------------------------|----------------------------|--|---|----------------------------------|---|
| ЮЖУ      | 2011          | 39,400                        | 4063                       | 2098                                       | 10,25   | 13200                            | 6345  |
|          | 2012          | 39,600                        | 4854                       | 2106                                       | 11,13   | 14546                            | 2086  |
|          | 2013          | 39,500                        | 6106                       | 2217                                       | 12,57   | 15034                            | 7241  |
| Троицк   | 2011          | 83,900                        | 4459                       | 2957                                       | 10,23   | 29062                            | 12286   |
|          | 2012          | 83,500                        | 5589                       | 2861                                       | 11,11   | 28178                            | 11861   |
|          | 2013          | 83,000                        | 7155                       | 2862                                       | 12,33   | 29119                            | 21420   |
| Златоуст | 2011          | 196,600                       | 4114                       | 3823                                       | 11,5  | 29230                            | 17917   |
|          | 2012          | 195,200                       | 4854                       | 3722                                       | 12,98   | 30185                            | 21072   |
|          | 2013          | 193,900                       | 6079                       | 3651                                       | 12,56   | 31746                            | 36609   |
| Миасс    | 2011          | 171,700                       | 4206                       | 2521                                       | 11,79   | 53382                            | 17010   |
|          | 2012          | 170,400                       | 5164                       | 2449                                       | 13,14   | 53586                            | 20078   |
|          | 2013          | 169,000                       | 6420                       | 2776                                       | 12,54   | 52497                            | 33303   |
| К-И      | 2011          | 20,300                        | 2883                       | 1135                                       | 10,68   | 13483                            | 2346  |
|          | 2012          | 20,000                        | 3922                       | 1336                                       | 12,2  | 13161                            | 1936  |
|          | 2013          | 19,800                        | 4812                       | 1374                                       | 12,41   | 13226                            | 4252  |
| У-К      | 2011          | 30,100                        | 2966                       | 797  | 11,74   | 12500                            | 1406  |
|          | 2012          | 29,800                        | 4039                       | 1192                                       | 12,5  | 12531                            | 1992  |
|          | 2013          | 29,400                        | 4813                       | 1227                                       | 12,81   | 12849                            | 2643  |

Хотелось бы пояснить, почему мы ограничились всего шестью показателями, хотя статистическое разнообразие позволяет использовать гораздо больше факторов для анализа. Дело, во-первых, в том, что очень многие данные являются взаимозависимыми, что показал корреляционный анализ. А, во-вторых, чем меньше данных используется для построения модели, тем точнее эта модель. При большом количестве исходных параметров увеличивается и доля погрешности, а, следовательно, снижается достоверность модели. Кроме того, необходимо в принципе убедиться в том, что выбранный нами метод можно использовать для оценки и прогнозирования рынка строящегося жилья. При дальнейшем использовании модели в других регионах России ее можно будет совершенствовать, адаптировать, добавляя дополнительные факторы.

Строим модель зависимости показателя  $Y$  — «ввод в действие жилых домов» от переменных  $x_1, \dots, x_6$  с помощью пакета MS Excel, функция «Регрессия».

Получаем:

$$Y = -6628926,17 + 3324,46x_1 + 266,64x_2 + 5,78x_3 - 9,085x_4 - 6117,41x_5 - 0,22x_6. \quad (2.9.3)$$

Как видно из полученного уравнения, положительное влияние на результат оказывает год, количество населения и заработная плата, что вполне логично.

Отрицательные коэффициенты для объемов частного сектора и обеспеченности жильем в многоквартирных домах также довольно логичны — довольствуются тем, что имеют. А отрицательное влияние числа автомобилей объясняется следующим: при невысоких доходах люди выбирают между автомобилем и улучшением жилищных условий — на все денег не хватает.

Значение коэффициента детерминации очень близко к единице (0.97), следовательно, полученная нами модель адекватно отражает реальное положение вещей. Полученную регрессию (2.9.3) можно теперь использовать для прогнозирования рынка строящегося жилья в уже освоенных районах, а также для анализа перспектив рынка в новых регионах.

*Анализ потенциальных районов для начала жилищного строительства.* Для анализа были взяты 3 относительно крупных города Челябинской области, где пока не ведет работ строительная компания. Это Кыштым, Чебаркуль и Сатка.

Для каждого из выбранных городов на основе статистических данных за 2001–2013 г.г. были построены уравнения зависимости (тренды) величин

ны каждого социально-экономического показателя (фактора) от времени ( $t=1, \dots, 13$ ) с помощью линейной регрессии.

Получили:

Таблица 2.9.2

Тренды социально-экономических показателей (факторов)  
для анализируемых районов

| Фактор | для Кыштыма         |       | для Чебаркуля       |       | для Сатки           |       |
|--------|---------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|
|        | тренд               | $R^2$ | тренд               | $R^2$ | тренд               | $R^2$ |
| $x_2$  | $-2,11t_i + 67,6$   | 0.88  | $-1,16t_i + 59,2$   | 0.95  | $-0,18t_i + 51,22$  | 0.86  |
| $x_3$  | $721,5t_i - 3104,2$ | 0.93  | $877,1t_i - 4675,4$ | 0.92  | $772,1t_i - 3137,2$ | 0.93  |
| $x_4$  | $295,7t_i - 2104,7$ | 0.91  | $291,1t_i - 1292,4$ | 0.94  | $319,3t_i - 1514,2$ | 0.85  |
| $x_5$  | $1,1t_i - 2,38$     | 0.89  | $0,5t_i + 7,47$     | 0.89  | $0,34t_i + 7,56$    | 0.86  |
| $x_6$  | $787,4t_i + 3059,4$ | 0.85  | $682,6t_i + 4546,2$ | 0.87  | $-61t_i + 15728,1$  | 0.84  |

На основании полученных трендов прогнозируем значения необходимых для анализа социально-экономических показателей на последующие 5 лет.

Получаем:

Таблица 2.9.3

Прогнозируемые значения  
социально-экономических показателей — Кыштым

| Год  | Население, $x_2$ , тыс. чел. | Зар. плата, $x_3$ , руб. | Част. сектор, кол-во. ( $x_4$ ) | Обеспеченность жильем, $m^2$ /чел. ( $x_5$ ) | Автомобили, $x_6$ , шт. |
|------|------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--|-------------------------|
| 2014 | 38,020                       | 6997                     | 2035                            | 13,02  | 14083                   |
| 2015 | 35,900                       | 7668                     | 2357                            | 14,13  | 14870                   |
| 2016 | 33,780                       | 8339                     | 2678                            | 15,22  | 15658                   |
| 2017 | 31,660                       | 9010                     | 3030                            | 16,34  | 16435                   |
| 2018 | 29,540                       | 9681                     | 3321                            | 17,44  | 17217                   |

Таблица 2.9.4

Прогнозируемые значения  
социально-экономических показателей — Чебаркуль

| Год  | Население, $x_2$ , тыс. чел. | Зар. плата, $x_3$ , руб. | Част. сектор, кол-во. ( $x_4$ ) | Обеспеченность жильем, $m^2$ /чел. ( $x_5$ ) | Автомобили, $x_6$ , шт. |
|------|------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--|-------------------------|
| 2014 | 42,960                       | 7604                     | 2783                            | 14,47  | 14103                   |
| 2015 | 41,800                       | 8481                     | 3074                            | 14,97  | 14786                   |
| 2016 | 40,640                       | 9358                     | 3365                            | 15,47  | 15468                   |
| 2017 | 39,480                       | 10236                    | 3656                            | 15,97  | 16150                   |
| 2018 | 38,320                       | 11113                    | 3947                            | 16,47  | 16833                   |

Таблица 2.9.5

Прогнозируемые значения  
социально-экономических показателей — Сатка

| Год  | Население, $x_2$ , тыс.чел. | Зар. плата, $x_3$ , руб. | Част.сектор, кол-во. ( $x_4$ ) | Обеспеченность жильем, $m^2$ /чел. ( $x_5$ ) | Автомобили, $x_6$ , шт. |
|------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------|--|-------------------------|
| 2014 | 48,700                      | 7671                     | 2956                           | 12,32  | 14874                   |
| 2015 | 48,520                      | 8443                     | 3275                           | 12,66  | 14813                   |
| 2016 | 48,340                      | 9215                     | 3594                           | 13,00  | 14752                   |
| 2017 | 48,160                      | 9988                     | 3912                           | 13,34  | 13691                   |
| 2018 | 47,980                      | 10760                    | 4231                           | 13,68  | 13620                   |

По формуле (2.9.3) на основании полученных прогнозов социально-экономических показателей рассчитаем прогнозные значения результирующего показателя ( $Y$ ) для выбранных городов.

Таблица 2.9.6

Прогнозные значения результирующего показателя ( $Y$ )  
для выбранных городов (по годам),  $m^2$

| Год  | Кыштым   | Чебаркуль | Сатка     |
|------|----------|-----------|-----------|
| 2014 | 6,573.17 | 2,371.09  | 11,851.21 |
| 2015 | 6,490.58 | 2,076.85  | 11,695.98 |
| 2016 | 6,407.98 | 1,782.62  | 11,540.74 |
| 2017 | 6,325.39 | 1,488.38  | 11,385.51 |
| 2018 | 6,242.79 | 1,194.15  | 11,230.27 |

Полученные прогнозы показывают абсолютную перспективность Сатки для развертывания там жилищного строительства, на втором месте Кыштым, Чебаркуль с весьма скромными результатами замыкает анализируемый перечень.

9.6. Математическая модель определения оптимальных характеристик проекта

Исходной информацией для модели служат ограничения на допустимые значения характеристик проекта ( $x_i$ ) и построенная в п.10.4 многофакторная регрессия (2.10.1). Ограничения могут иметь технический, технологический, социальный, экономический и прочий характер. Например, номенклатура квартир в доме, этажность диктуются техническими, социальными и экономическими причинами; стоимость  $m^2$  — социальными и экономическими причинами и т.д. Имеем:

$$a_i \leq x_i \leq b_i \quad (i = 1, \dots, n). \quad (2.9.4)$$

Постановка задачи:

Найти характеристики проекта  $\{x_i\}$ , удовлетворяющие ограничениям (2.9.4), при которых максимизируется приведенный поток платежей от реализации квартир.

Т.к. построенная в п.10.4 многофакторная регрессия (2.10.1) позволяет получать  $Y^k$  — % продаж квартир в  $k$ -й месяц после сдачи объекта, то член потока платежей, относящийся к  $k$ -му месяцу, будет равен  $(Y^k - Y^{k-1})V$ , где  $V$  — стоимость всех квартир объекта. Таким образом, целевая функция задачи:

$$F = Y^0 + \sum_{k=1}^n (Y^k - Y^{k-1})(1 + i)^{-k} \rightarrow \max. \quad (2.9.5)$$

Здесь  $i$  — ставка приведения (дисконтирования), характеризующая желаемый уровень эффективности инвестиций в жилищное строительство. Константа  $V$  вынесена за скобки и убрана из целевой функции, как не влияющая на результат.

Найденные таким образом характеристики проекта  $\{x_i\}$  могут служить ориентиром для выработки комплекса мероприятий, повышающих его экономическую эффективность. Предложения по изменению технических, технологических характеристик носят со стороны коммерческой службы рекомендательный характер, а изменения характеристик, которые могут быть осуществлены самой коммерческой службой (например, маркетинговые работы по видам), являются как раз планом ее действий.

## Библиографический список к части 2

1. Бажин, И.И. Антикоррупционные механизмы выбора поставщика в управлении ресурсным обеспечением / И.И. Бажин, Н.М. Баринаева, В.В. Сысоев. // «Руководитель бюджетной организации». — 2011. — № 8. — С. 45–58.
2. Бажин, И.И. Управление процессом закупок методом многокритериальной оценки выбора поставщика / И.И. Бажин, Н.М. Баринаева, В.В. Сысоев. // Проблемы теории и практики управления. — 2006. — № 8. — С.62-70.
3. Баркалов, С.А. Методы агрегирования в управлении проектами / С.А.Баркалов, В.Н. Бурков, Н.М. Гилязов. — М.: ИПУ РАН, 1999. — 55 с.
4. Боди, З. Принципы инвестиций / З. Боди, А. Кейн, А. Маркус. — М.: Вильямс, 2008. — 982 с.
5. Голенко-Гинзбург, Д. И. Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками / Д. И. Голенко-Гинзбург. — Воронеж: Научная книга, 2010. — 283 с.
6. Дитхелм, Г. Управление проектами / Г. Дитхелм. — СПб, Бизнес-пресса, 2004. Т.1. — 400с.; Т.2. — 288 с.
7. Дмитриев, Д.В. Управление проектами: Практ. рук-во / Д.В. Дмитриев, З.М. Дмитриева, М.Ю. Рыбаков и др. — М.: Юркнига, 2003. — 240 с.
8. Гельруд, Я.Д. Обобщенные стохастические сетевые модели для управления комплексными проектами / Я.Д.Гельруд // Вестник НГУ. Серия: математика, механика, информатика. — 2010. — № 4. — С.36–51.
9. Ильин, А.В. Интерактивный преобразователь ресурсов с изменяемыми правилами поведения / А.В. Ильин, В.Д. Ильин. // Информационные технологии и вычислительные системы. — 2004. — №2. — С. 68–82.
10. Йордон, Э. Управление сложными Интернет-проектами / Э. Йордон. — М.: Лори, 2002. — 326 с.
11. Колосова, Е.В. Методика освоенного объема в оперативном управлении проектами / Е.В. Колосова, Д.А. Новиков, А.В. Цветков. — М.: Апостроф, 2001. — 152 с.
12. Кэмпбелл, К.А. Управление проектом на одной странице / К.А. Кэмпбелл. — М.: Вильямс, 2009. — 160 с.
13. Лотов, А.В. Теория и методы многокритериальной оптимизации / А.В. Лотов, И.И. Поспелова. — М: Макс Пресс, 2008. — 197 с.

14. Михеев, В.Н. Живой менеджмент проектов / В.Н. Михеев. — М.: Эксмо, 2007. — 480 с.
15. Мищенко, А.В. / А.В.Мищенко, А.А. Попов. // Менеджмент в России и за рубежом. — 2002. — № 2. — С. 102–115.
16. Позняков, В.В. Управление проектами для топ-менеджеров / В.В. Позняков. // Управление проектами и программами. — 2012. — № 3. — С. 45–53.
17. Саати, Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Т.Л. Саати. — М.: Издательство ЛКИ, 2008. — 360 с.
18. Тернер, Дж. Р. Руководство по проектно-ориентированному управлению. Пер. с англ. под общей ред. Воропаева В.И. / Дж. Р.Тернер. — М.: Издательский дом Гребенникова, 2007. — 552 с.
19. Топка, В. В. Минимизация времени и стоимости при ограничении на показатель надёжности в дизъюнктивной модели проекта / В. В. Топка. // Автомат. и телемех. — 2012. — № 7. — С. 86–97.
20. Шарп, У.Ф. Инвестиции / У.Ф. Шарп, Г.Д. Александер, Д.В. Бэйли. — М.: Инфра-М, 1997. — 1028 с.
21. Seung Heon Han. Analyzing Schedule Delay of Mega Project: Lessons Learned From Korea Train Express / Seung Heon Han [et al] // IEEE Transactions on Eng. Management. 2009. — Vol. 56, №. 2 (May).
22. Stock portfolio optimization system. (Siemens Business Services Russia). — Режим доступа: <http://sedok.narod.ru/siemens.html>.
23. Supplier Relationship Management. // Siemens PLM Software. — Режим доступа: [http://www.plm.automation.siemens.com/ru\\_ru/products/teamcenter/solutions\\_by\\_product/supplier\\_relationship\\_management](http://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/products/teamcenter/solutions_by_product/supplier_relationship_management).

### **ЧАСТЬ 3. ИНТЕГРИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ**

#### **Глава 10. Формирование методологии создания интегрированной информационно-аналитической системы управления проектами и ее основные составляющие**

##### 10.1. Общие понятия

В современных условиях эффективность деятельности большинства экономических субъектов в значительной степени определяется эффективно организованным информационным обеспечением деятельности. Наличие слаженной системы информационного обеспечения управления может ликвидировать вероятностный характер принимаемых управленческих решений, дублирование информации и ее потери, и ведет к повышению эффективности управления [2].

В целом информация в процессе управления экономическими системами понимается как совокупность данных, используемых для решения экономических и, в частности, управленческих задач. Значение информации в управлении бесспорно, однако традиционные системы используют в основном информацию, обобщающую состояние субъекта управления за укрупненный промежуток времени. Из-за чего необходимые сведения не всегда могут быть предоставлены в срок, а их обобщенность приводит к некоторой относительности, приближенности значений к реальным показателям.

Создание информационно-аналитических систем реально соответствует целям и задачам организаций, является достаточно сложным процессом, включающим этапы формирования концепции, проектирования, разработки, внедрения и сопровождения. Характер этого процесса требует разработки фиксированной технологической схемы, которая описывает процессы жизненного цикла информационно-аналитической системы, последовательность работ и задач, выполняемых определенными исполнителями, состав ролевых функций и порождаемых артефактов (документов, моделей, схем и др.).

Создание информационно-аналитических систем позволяет значительно увеличить количество обрабатываемых данных и более оперативно

предоставлять необходимые сведения, кроме того, ИАС служат основой для создания автоматизированных систем управления [2].

Автоматизация принятия управленческих решений требует большего количества информации, которая не фиксировалась и не хранилась в традиционной системе управления. Однако, дополнительные затраты по сбору информации оправдываются более точными и оперативными управленческими решениями.

Другой аспект связан с возможностью повышения качества информации за счет ее своевременности. Именно информационно-аналитические системы позволяют существенно увеличить скорость обработки и передачи данных.

Основные принципы информационно-аналитической системы были разработаны В. Блумбергом (США) [3] и научной командой Рейтера (Великобритания) [4–5]:

1. *Принцип единой информационной базы* предполагает одноразовый ввод информации, которая используется для решения всех задач управления.

Необходимость выделения данного принципа связана с недостатками поэтапного внедрения автоматизированной системы управления, представляющего собой громоздкий механизм создания по подсистемам и отдельным задачам. Разработка конкретной задачи (подсистемы) сопровождалась разработкой и созданием ее информационного обеспечения путем создания массивов данных, которые необходимы при решении конкретной задачи. Новая задача требовала разработки новых массивов данных. В результате получалось значительное количество не связанных между собой массивов, которые дублировались и значительно увеличивали объемы информации. Одной и той же информацией, как правило, пользуются при решении многих задач управления, а поскольку предпринимательские структуры представляют собой чрезвычайно динамичную систему, то изменения информации происходит практически постоянно. Это приводит к необходимости корректировки повторяющихся в различных массивах данных показателей и усложняет задачу их обновления.

В информационно-аналитических системах набор массивов, содержащих управленческую информацию, сгруппирован по функциональному принципу и называется «банком данных». Количество массивов при этом резко сокращается.

2. *Принцип минимизации ввода и вывода информации.* Именно процесс ввода и вывода информации является наиболее уязвимым с точки зрения точности, объективности и сопоставимости данных. Ошибки в этом процессе могут оказать решающее влияние на всю структуру автоматизированных систем управления.

3. *Принцип ввода изменений.* Постоянные изменения информации касаются различных целей и задач управления, проявляются на различных уровнях, но на машинные носители необходимо записывать только то, что изменяет значение уже имеющихся в системе данных. Нет необходимости вводить всю информацию из документа.

Практически любой участник процесса управления время от времени нуждается в обобщенной информации, которую можно получить посредством информационно-аналитической системы без персонализированного привлечения конкретного специалиста.

Информационно-аналитическая система, как и любая технология, включает набор материальных средств (информационные носители, технические средства обработки, передачи и изменений их состояний и т.д.), способы их взаимодействия, специализированные знания и предметы труда, организацию работы.

Информационная технология включает основные процедуры, куда входит: сбор и регистрация информации, передача к месту обработки, кодирование данных, обработка и использование информации, что в целом заключается в принятии управленческих решений и выработке управляющих воздействий.

Экономическая информация, как правило, проходит все процедуры преобразования, но бывают ситуации, когда изменяется последовательность, полнота некоторых процедур и даже возможно их повторение. Такие изменения во многом зависят от экономического объекта, ведущего автоматизированную обработку информации.

Информационно-аналитические системы сегодня — это надежный и универсальный помощник в области управления информацией и поддержки принятия управленческих решений, они рассчитаны на пользователей с любым уровнем подготовки на любом уровне управления и для любой информационно-компьютерной среды.

Универсальность данной системы определяется отсутствием специальных требований к пользователям, которые могут настроиться на любую предметную область, в которой необходимо:

дать многокритериальную оценку соответствия предъявляемым к объекту требованиям;  
выбрать оптимальное управленческое решение;  
распределить ресурсы между объектами, исходя из текущей приоритетности.

Основной задачей информационно-аналитических систем остается многокритериальная оценка для возможности полноценного сравнения и выбора оптимального варианта из совокупности возможных вариантов решений.

Информационно-аналитическая система представляется как интегрированная система, предназначенная для помощи руководителям различных уровней управления, с целью оптимизации сложившихся каналов сбора информации и обеспечения более полного удовлетворения информационных потребностей руководителей.

Применение системы позволяет эффективно распределить составные элементы процесса подготовки и принятия управленческого решения между всеми участниками управленческой деятельности. Широкое применение на практике связано с функциональными возможностями информационно-аналитической системы, которые позволяют принимать решения не только в случае их подготовки самим руководителем при отсутствии объективных данных о характеристиках сравниваемых вариантов, но и в случаях подготовки решений специалистами с обработкой больших объемов информации [6–7].

Таким образом, применение информационно-аналитических систем — это условие, без которого невозможно эффективное развитие любой организации. Это позволяет автоматизировать систему управления, уменьшить количество неточных управленческих решений и ошибок при их реализации, обеспечить целостность и сохранность данных. Эффективное развитие предпринимательских структур также как и остальных субъектов экономической системы во многом определяется тем, как они распоряжаются имеющимися у них информационными ресурсами.

## 10.2. Информационно-аналитическая система управления проектной деятельностью

Информационно-аналитическая система (ИАС) управления проектной деятельностью предназначена для обеспечения руководителей и аналити-

ков информацией обо всех аспектах разработки и реализации проекта и включает в себя следующие подсистемы:

- подсистему сбора и хранения данных, выполняющую функции сбора и фильтрации данных, накопления и индексирования информации, обеспечивающую возможность использования информации в аналитических целях, а также при поддержке принятия решений на различных уровнях управления проектом;
- подсистему доступа к данным, обеспечивающую их анализ и формирование необходимых форм отчетности, а также включающую в себя проблемно-ориентированные модули по поддержке принятия решений на всех уровнях управления проектом.

Хранилище данных содержит непротиворечивую консолидированную информацию, включающую детализированные и агрегированные характеристики проекта (состав работ, их взаимосвязь, временные и ресурсные параметры), отражающие весь процесс реализации проекта в течение его жизненного цикла, а также данные обо всех заинтересованных сторонах, принимающих участие в его выполнении и последующем функционировании.

Хранилище данных имеет трехуровневую структуру: источники данных — общее хранилище данных — специализированные (проблемно-ориентированные) аналитические базы данных. Подробно состав и назначение проблемно-ориентированных баз данных приведены в главе 12.

Эффект от правильной организации ИАС, предназначенной для стратегического и оперативного планирования проектной деятельности, трудно спрогнозировать количественно, но он заведомо может существенно превзойти затраты на реализацию таких систем. Однако следует понимать, что эффект обеспечивает не сама система, а работающие с ней люди. Информационно-аналитическая система не является системой искусственного интеллекта, ее цель своевременно обеспечить менеджеров всей необходимой информацией для принятия решений. А выбор решения зависит от квалификации конкретного человека.

Подсистема доступа к данным обеспечивает решение задач управления проектом во всех его аспектах — управления финансовыми, кадровыми, техническими ресурсами и т.д. Поэтому, в конечном счете, отдача от внедрения информационно-аналитической системы состоит в резком повышении эффективности управления: оперативного принятия сбалансированных решений, возможности долговременного планирования и прогнози-

вания и т.д. Эффективность управления достигается в том числе и за счет существенного возрастания обоснованности принятых решений на основе больших выборок точных данных и огромного аналитического аппарата.

Технология и методика создания информационно-аналитических систем охватывает следующие виды деятельности:

- сбор, анализ и детализация требований к информационно-аналитической системе, определение приоритетов реализации этих требований и постановка задач по их реализации, определение требований по архитектуре, надежности и защите от несанкционированного доступа и определение состава данных;

- разработка проектных решений по всем аспектам построения информационно-аналитической системы, определение состава источников информации, способов передачи и очистки данных, состава приложений организации доступа к данным, проектирование архитектуры, проектирование баз данных;

- разработка аналитических приложений, выбор и настройка инструментальных средств сбора, преобразования и очистки данных и организации доступа пользователей к данным, разработка метаданных, тестирование, разработка документации пользователей.

Представленная в данном учебном пособии методология состоит из следующих основных составляющих:

1. *Функции управления проектами* описаны в главе 11.
2. *Компетенции участников управления проектами* представлены в главе 3 (табл.2.3.1).
3. *Комплекс математических моделей системы управления проектами* описан в части 2.
4. *Процедура управления временем в проекте* описана в главе 7 п.7.6.
5. *Процедура управления стоимостью и финансами проектов* описана в главе 7 п.7.7.
6. *Процедура управления качеством проектов* описана в главе 7 п.7.8.
7. *Процедура риск-менеджмента проектов* описана в главе 7 п.7.9.
8. *Процедура ресурс-менеджмента проектов* описана в главе 7 п.7.10.
9. *Архитектура и описание интегрированной системы управления проектами* представлены в главе 11.
10. *Математическая модель функционирования интегрированной информационно-аналитической системы* представлена в главе 12 п.12.2.

## Глава 11. Структура и функции интегрированной информационно-аналитической системы управления сложным проектом

### 11.1 Информационно-логическая схема взаимодействия стейкхолдеров

Укрупненная информационно-логическая схема взаимодействия стейкхолдеров приведена на рис. 3.11.1.



Рис. 3.11.1. Взаимосвязь математических моделей управления проектом

Бизнес-план и План по вехам содержат наиболее возможные варианты плана финансирования проекта и его частей и соответствующие сроки реализации.

Детальный план производства работ формируется из описания сложного проекта, которое базируется на использовании циклической альтернативной сетевой модели (ЦАСМ), при этом классические, обобщенные и альтернативные сетевые модели являются ее частными случаями.

Комплексный укрупненный план представляет собой обобщенную сетевую модель проекта, которая разрабатывается командой проекта на основе детализированной модели проекта.

План налогообложения содержит сроки и объемы реализации проекта и его пусковых комплексов.

План поставок содержит плановые объемы поставок по всей номенклатуре ресурсов и лимиты финансирования по группам ресурсов.

План финансирования содержит объемы финансирования проекта собственными силами, объемы кредитования по периодам и наиболее эффективные варианты реализации проекта.

Основные требования к проекту со стороны заказчика задают конфигурацию проекта и продукта, сроки свершения событий укрупненного графика и продолжительности укрупненных работ.

Требования и ограничения со стороны регулирующих органов относятся к объемам налогообложения, оценкам экологических рисков и качеству жизни людей.

Требования и ограничения со стороны поставщика содержат объемы и сроки поставок всех материальных ресурсов, объемы и сроки закупок у субпоставщиков.

#### 11.2. Функции управления сложным проектом, включенные в интегрированную систему математических моделей

Все функции системы сгруппированы по стадиям разработки проекта:

- инициация проекта;
- планирование проекта;
- организация и контроль выполнения проекта;
- анализ и регулирование выполнения проекта;
- закрытие проекта.

На каждой стадии выделены укрупненные функции (*трудовые*), которые в свою очередь подразделяются на детальные (*действия*). Далее в табл. 3.11.1–3.11.4 в графе 1 приведены трудовые функции, в графе 2 входящие в их состав детальные функции, включенные в интегрированную систему математических моделей, и в графе 3 название заинтересованной стороны (стейкхолдера), реализующей данную функцию.

Детальные функции, включенные в интегрированную систему математических моделей на стадии Инициации проекта, представлены в табл. 3.11.1.

Таблица 3.11.1

| Трудовая функция   | Детальные функции, включаемые в ИСУПр  | Стейкхолдер                                    |
|--|--|--|
| Разработка концепции управления предметной областью проекта        | Анализ альтернатив для решения проблемы и выбора варианта проекта  | Инвестор, Заказчик                             |
| Разработка концепции управления проектом по временным параметрам   | Разработка укрупненного календарного плана осуществления проекта   | Руководитель и команда проекта                 |
| Разработка концепции управления проектом по стоимостным параметрам | Разработка укрупненного графика финансирования   | Инвестор                                       |
| Разработка концепции управления качеством в проекте                | Разработка стратегии управления качеством  | Заказчик                                       |
| Разработка концепции управления рисками проекта                    | Анализ альтернатив осуществления проекта   | Заказчик                                       |
| Разработка концепции управления человеческими ресурсами в проекте  | Определение потребности в трудовых ресурсах проекта  | Руководитель и команда проекта                 |
| Разработка концепции управления закупками и контрактами в проекте  | Построение дерева ресурсов на основе схемы декомпозиции работ проекта<br>Разработка стратегии управления контрактами (учет стратегии компании, определение критериев выбора, анализ альтернатив) | Руководитель и команда проекта<br>Генпоставщик |

Детальные функции, включенные в интегрированную систему математических моделей на стадии Планирования проекта, представлены в табл. 3.11.2.

Таблица 3.11.2

| Трудовая функция                               | Детальные функции, включаемые в ИСУПр   | Стейкхолдер                                |
|--|---|--|
| Планирование предметной области проекта        | Разработка плана управления предметной области проекта  | Руководитель и команда проекта             |
| Планирование проекта по стоимостным параметрам | Планирование ресурсов и определение их количества, необходимого для успешного выполнения проекта<br>Разработка плана финансирования | Руководитель и команда проекта<br>Инвестор |

## Окончание табл. 3.11.2

| Трудовая функция   | Детальные функции, включаемые в ИСУПр  | Стейкхолдер   |
|--|--|---|
| Планирование проекта по временным параметрам             | <p>Определение последовательности выполнения работ, которая отображается организационно-технологической (сетевой) моделью (или сетевым графиком)</p> <p>Определение расписаний (календарного графика) работ проекта методом критического пути</p> <p>Определение и анализ графиков проекта в ресурсах</p> <p>Оптимизация расписаний работ проекта по временным и ресурсным критериям</p> | <p>Руководитель и команда проекта</p> <p>Руководитель и команда проекта</p> <p>Руководитель и команда проекта</p> <p>Руководитель и команда проекта</p> |
| Планирование управления качеством в проекте              | Разработка плана управления качеством  | Заказчик  |
| Планирование мер реагирования на рискованные события     | Предотвращение или снижение ущерба от рискованных событий  | Заказчик  |
| Планирование работ по подготовке и исполнению контрактов | <p>Определение перечня контрактов в проекте</p> <p>Формирование графика поставок</p>   | <p>Генпоставщик</p> <p>Генпоставщик</p>   |
| Прогнозирование и планирование изменений                 | Прогнозирование изменений  | Заказчик  |

Детальные функции, включенные в интегрированную систему математических моделей на стадии Организации и контроля выполнения проекта, представлены в табл. 3.11.3.

Таблица 3.11.3

| Трудовая функция  | Детальные функции, включаемые в ИСУПр                     | Стейкхолдер                    |
|---|---|--------------------------------|
| Организация и выполнение проекта                                  | Ведение баз данных о состоянии предметной области проекта | Руководитель и команда проекта |
| Организация и контроль выполнения проекта по временным параметрам | Ведение баз данных и архива версий расписаний проекта     | Руководитель и команда проекта |

## Окончание табл. 3.11.3

| Трудовая функция  | Детальные функции, включаемые в ИСУПр  | Стейкхолдер                              |
|---|--|--|
| Организация и контроль выполнения проекта по стоимостным параметрам | Введение в действие системы управления стоимостью и финансированием в проекте  | Руководитель и команда проекта, Инвестор |
| Организация управления и контроль качества в проекте                | Сбор фактической информации о качестве в проекте   | Заказчик                                 |
| Организация и контроль мер реагирования на рисковые события         | Организация управления рисками (применение системы управления рисками в проекте, распределение ответственности при управлении рисками) | Заказчик                                 |
| Организация подготовки и контроль выполнения контрактов             | Подготовка и проведение конкурса   | Генпоставщик                             |
| Организация и контроль изменений в проекте                          | Принятие решений и внесение изменений в проект   | Руководитель и команда проекта           |

Детальные функции, включенные в интегрированную систему математических моделей на стадии Анализ и регулирование выполнения проекта, представлены в табл. 3.11.4.

Таблица 3.11.4

| Трудовая функция   | Детальные функции, включаемые в ИСУПр  | Стейкхолдер                                 |
|--|--|---|
| Анализ и регулирование предметной области проекта                  | Принятие решений о регулирующих воздействиях и внесение изменений в предметную область проекта | Руководитель и команда проекта              |
| Анализ и регулирование проекта по временным параметрам             | Корректировка расписания работ проекта с учетом внесенных изменений                            | Руководитель и команда проекта              |
| Анализ состояния и регулирование проекта по стоимостным параметрам | Прогнозирование состояния выполнения работ проекта по стоимости                                | Руководитель и команда проекта, Инвестор    |
| Анализ состояния и регулирование обеспечения качества в проекте    | Анализ состояния и прогресса качества в проекте на протяжении его жизненного цикла             | Заказчик<br>Руководитель и команда проекта  |
| Анализ состояния и регулирование мер по снижению рисков            | Анализ состояния управления рисками в проекте  | Заказчик,<br>Руководитель и команда проекта |
| Анализ и регулирование исполнения контрактов                       | Анализ состояния и прогноз ситуации  | Генпоставщик                                |

| Трудовая функция                 | Детальные функции, включаемые в ИСУПр  | Стейкхолдер  |
|----------------------------------|--|--|
| Анализ и регулирование изменений | Прогнозирование хода выполнения работ проекта, с учетом рекомендуемых корректив<br>Корректировка планов работ проекта с учетом внесенных изменений | Руководитель и команда проекта<br>Руководитель и команда проекта |

## Глава 12. Взаимодействие комплекса математических моделей управления проектами в рамках интегрированной информационно-аналитической системы

### 12.1. Агрегирование сетевых моделей

Здесь рассмотрены процедуры агрегирования сетевых моделей, описанных в параграфе 11, для каждого уровня управления и каждого стейкхолдера с учетом компетенций каждой заинтересованной стороны, определены необходимые типы сетевых моделей, их параметры и методы обработки. Алгоритмы агрегирования подробно описаны в [1].

На рис. 3.12.1 схематично показаны уровни управления и соответствующие им сетевые модели описания проекта для каждой заинтересованной стороны.

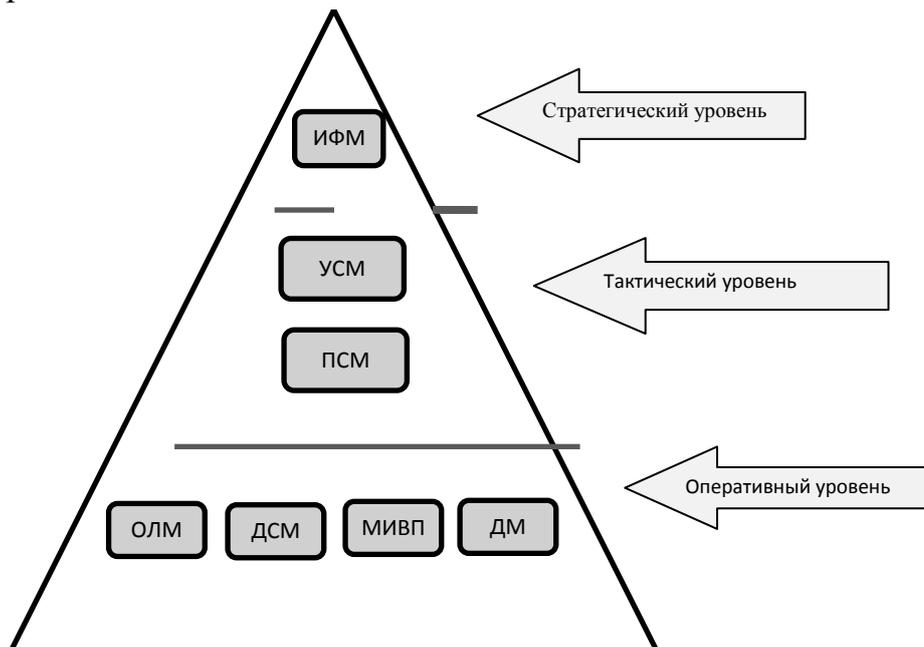


Рис. 3.12.1. Функциональные сетевые модели и уровни управления

Здесь:

- ИФМ (Инвестиционно-финансовая модель) — для Инвестора;
- УСМ (Укрупненная сетевая модель) — для Генерального подрядчика;
- ПСМ (Приемо-сдаточная модель) — для Заказчика;
- ОЛМ (Операционно-логистическая модель) — для Поставщика;
- ДСМ (Детальная сетевая модель) — для команды управления проектом, проектного офиса;
- МИВП (Модель исполнения властных полномочий) — для регулирующих и надзорных органов, органов власти;
- ДМ (Доходная модель) — для коммерческой службы.

Ниже представлены основные принципы, по которым построены сетевые модели управления проектной деятельностью с позиций ключевых заинтересованных сторон.

*Принцип 1.* Отражение всех свойств объектов моделирования.

Новые сетевые модели должны соответствовать объекту моделирования. Они должны включать временные, ресурсные и другие ограничения. Необходимо учитывать альтернативный, стохастический, вероятностный характер объекта моделирования.

*Принцип 2.* Универсальная сетевая модель.

Предложенные модели должны обладать признаком универсальности. Для этого в сетевой модели для учета интересов разных заинтересованных сторон должны быть отображены разные виды технологических зависимостей, ресурсов и других видов ограничений.

*Принцип 3.* Одна модель для одной роли

Каждая сетевая модель управления проектной деятельностью для отдельной роли (инвестор, заказчик, поставщик и т.д.) должна учитывать пользовательские требования данного стейкхолдера. Каждая отдельная модель должна включать набор определенных элементов, обеспечивающих стейкхолдеру эффективное исполнение своих функций в рамках роли.

*Принцип 4.* Комбинирование отдельных моделей.

Как уже было замечено выше, часто одна и та же компания может выступать в двух и более ролях стейкхолдеров. Иногда все роли могут быть сосредоточены «в одной руке», иногда — «несколько, но не все». Число таких возможных комбинаций может быть довольно большое.

Действительно, если  $n$  — число стейкхолдеров, то  $C_n^k$  — число различных комбинаций из  $n$  по  $k$ , причем на каждую комбинацию остальные  $n-k$

стейкхолдеров могут образовывать свои различные комбинации. Итого получаем:

$$\sum_{k=0}^n C_n^k \sum_{i=0}^{n-k} C_{n-k}^i = \sum_{k=0}^n C_n^k \cdot 2^{n-k} = (1 + 2)^n = 3^n. \quad (3.12.1)$$

При 7 стейкхолдерах получаем  $3^7=2187$  вариантов различных сочетаний.

Таким образом, должна существовать возможность для автоматизированного сочетания отдельных моделей управления и создания комбинированных моделей. Назовем такие модели комбинированными моделями.

*Принцип 5. Комплексность.*

Главной моделью крупного проекта является комплексная укрупненная сетевая модель, включающая все виды проектной деятельности на протяжении всего жизненного цикла проекта (подготовку проекта, управление проектом, проектирование, создание, материально — техническое снабжение, продажи и получение выручки, и использование продукта). В модели отражаются все виды деятельности стейкхолдеров и состояние интересующих их параметров. Назовем эту модель комплексная модель.

Иерархически комплексная модель может включать как отдельные, так и комбинированные модели.

*Комплексная укрупненная сетевая модель (КУСМ).* Как было отмечено выше, главной должна является Комплексная Укрупненная Сетевая Модель (КУСМ), содержащая в себе отдельные модели разных заинтересованных сторон (стейкхолдеров) и их возможные комбинации, т.е. комбинированные модели. КУСМ предназначена для высшего руководства, лиц, принимающих стратегические решения по проекту и проектной деятельности.

Модель входит в состав инструментов для управления проектной деятельностью (далее ПД) с позиций различных стейкхолдеров. КУСМ является основным элементом программного продукта, содержащего средства управления проектом для разных заинтересованных сторон. Включает все виды деятельности и все отдельные и комбинированные модели.

*Назначение модели КУСМ.* Составление на ее основе перспективного плана создания продукта проекта, включающего все виды деятельности его участников (стейкхолдеров) на протяжении жизненного цикла проекта от организации работ по проекту до реализации проектной продукции — мониторинга, контроля, анализа, регулирования, прогнозирования, т.е. весь управленческий цикл, включая обратную связь. Перспективный план должен учитывать и описывать технологическую последовательность от-

дельных процессов и работ по всем видам включенной в него деятельности на основе универсальной сетевой модели.

*Состав модели КУСМ.* КУСМ представлена ориентированным графом, в котором представлены в технологической взаимосвязи все работы по организации проекта, управлению проектом, проектированию, обеспечению и осуществлению комплектных поставок, технологического и других видов оборудования, строительству, монтажу, пуску, наладке, вводу в эксплуатацию, выполнению надзорных функций со стороны органов власти, а также процессы реализации готовой продукции, как в период создания продукта, так и после его завершения.

Основными составными частями КУСМ являются отдельные сетевые модели и их возможные комбинации, т. е. комбинированные модели. Все эти модели, входящие в состав КУСМ, представляют собой сетевые модели с разной степенью агрегированности (см. рис.3.12.1).

*Преимущества используемой модели КУСМ:*

1. Использование универсального аппарата моделирования.
2. Комплексность, учет всех фаз и процессов жизненного цикла создания проектного продукта.
3. Учет интересов всех основных стейкхолдеров, представление им комфортных условий для выполнения своих функций в проектной деятельности.
4. На основе этого достигается высокий уровень совершенствования управления и высокая эффективность самой ПД.

Рассмотрим далее назначение и состав отдельных сетевых моделей.

*Детальная сетевая модель (ДСМ).* ДСМ предназначена для оперативного и среднесрочного управления работами и ПД исполнителями нижнего уровня. На ее основе составляются оперативные графики выполнения работ, поставок и других видов деятельности, также осуществляется оперативный учет, отчетность, контроль, мониторинг, регулирование и обратная связь. ДСМ является процессной моделью всех видов деятельности и работ по созданию проектного продукта. ДСМ представлена ориентированным графом, в котором в технологической взаимосвязи показаны все работы с детерминированными и вероятностными характеристиками, с альтернативными, детерминированными и вероятностными связями, с возможностью образования циклов, т.е. описание проекта произведено с использованием всех возможностей УЦАСМ, описанной в главе 3. Главными эле-

ментами ДСМ являются работы, события, зависимости, временные и ресурсные ограничения.

*Инвестиционно-финансовая модель (ИФМ).* ИФМ является укрупненной (агрегированной) моделью проекта, содержащей возможные варианты его реализации. Предназначена для инвестора и высшего руководства ПД, принимающего стратегические решения. Включает все виды деятельности и их финансовые характеристики, необходимые для организации работ Инвестора и взаимодействующих с ним структур. На ее основе составляются перспективные и среднесрочные планы финансирования проекта, включающие все виды деятельности Инвестора на протяжении жизненного цикла от организации проекта до его реализации. А также для мониторинга, контроля, анализа, регулирования и прогнозирования. ИФМ учитывает и описывает технологическую последовательность отдельных процессов и работ по всем видам включенной в него деятельности для обеспечения проекта необходимыми средствами и отслеживания процесса финансирования. Основными элементами модели являются центры затрат, инвестиций, доходов, прибыли взаимосвязи, события и вехи, ограничения.

*Приемо-сдаточная модель (ПСМ).* ПСМ входит в состав инструментов для управления ПД с позиций Заказчика и связанных с ним структур. Предназначена для составления перспективного плана создания проектного продукта и поэтапного плана сдачи его готовых элементов (комплексов). В основе формирования ПСМ находится декомпозиция проекта на эти этих сдаточные элементы. Все элементы имеют свои измерения (трудоемкость, килограммы, длина, ширина, объемы работ, продолжительности) и все допустимые типы зависимостей между ними.

*Укрупненная сетевая модель (УСМ).* УСМ является средством управления проектом для Генконтрактора и предназначена для составления перспективных и среднесрочных планов создания продукта проекта, включающего все виды деятельности Генконтрактора на протяжении жизненного цикла от организации проекта до его реализации. А также для мониторинга, контроля, анализа и регулирования, прогнозирования, включая обратную связь. УСМ представлена ориентированным универсальным или специальным графом, в котором показаны в технологической взаимосвязи все работы по организации проекта, управлению проектом, проектированию, обеспечению комплектных поставок, технологического и других видов оборудования, строительству, монтажу, пуску, наладке, вводу в эксплуатацию, выполнению функций авторского надзора.

*Операционно-логистическая модель (ОЛМ).* ОЛМ предназначена для оперативного и среднесрочного управления работами и ПД исполнителями Поставщика и его структур. На ее основе составляются оперативные графики планирования и осуществления поставок и других логистических видов деятельности для обеспечения проекта всеми необходимыми материалами и оборудованием, также осуществляется оперативный учет, отчетность, контроль, мониторинг, регулирование и обратная связь. ОЛМ предназначена для управления поставками и обеспечения качества, как поставляемых материалов, так и качества процесса организации поставок. Главными элементами ОЛМ являются: место, время, объемы, сроки операций и поставок и их продолжительности, временные, стоимостные и ресурсные ограничения.

*Модель исполнения властных полномочий (МИВП).* МИВП предназначена для оперативного и среднесрочного управления работами и ПД исполнителями организаций, исполняющих функции регулирующих и надзорных органов, а также — органами власти. На ее основе составляются оперативные графики выполнения работ и других видов деятельности, также осуществляется оперативный учет, отчетность, контроль, мониторинг, анализ, регулирование и обратная связь. Применение модели дает возможность регулирующим и надзорным органам, а также органам власти, обеспечивать исполнения требований законодательства разных уровней, согласование и экспертиза документов, учет национальных, страновых, социокультурных, географических, политических, экологических и других факторов (зависит от масштаба проекта). Главными элементами МИВП являются экспертные решения, разрешения, согласования, налоги, санкции, продолжительности операций, события, зависимости, временные и ресурсные ограничения.

*Доходная модель (ДМ).* ДМ предназначена для оперативного и среднесрочного управления работами и ПД исполнителями коммерческой службы, отвечающей за реализацию проектного продукта. На ее основе составляются оперативные графики выполнения работ, событий, других видов деятельности, также осуществляется оперативный учет, отчетность, контроль, мониторинг, анализ, регулирование, прогнозирование и обратная связь. Главными элементами ДМ являются вехи, работы по маркетингу и продажам, зависимости, обратный расчет, договора, финансовые параметры, работа с рекламациями.

## 12.2. Математическая модель

Общая математическая модель интегрированной информационно-аналитической системы управления проектами выглядит следующим образом:

$$Q_i(\text{ДСМ})=G_i, (i=1,2,\dots,6), \quad (3.12.2)$$

где  $Q_i$  — операторы агрегирования детальной сетевой модели,

$$G_i = ( \text{ИФМ} \vee \text{ПСМ} \vee \text{УСМ} \vee \text{ОЛМ} \vee \text{МИВП} \vee \text{ДМ} ), \\ R_i(G_i), \quad (3.12.3)$$

где  $R_i$  — операторы формирования плана, оптимального по критериям  $i$ -го стейкхолдера, в соответствии с присущим ему комплексом математических моделей,

$$Q_i^{-1}[R_i(G_i)] = \text{ДСМ}', \quad (3.12.4)$$

где  $Q_i^{-1}$  — операторы, обратные агрегированию сетевой модели для  $i$ -го стейкхолдера, заключаются в корректировке детальной сетевой модели, путем задания ограничений на отдельные работы, комплексы работ, вехи в детальной сетевой модели.

## 12.3. Алгоритм интеграции моделей

Принятие решений в интегрированной информационно-аналитической системе управления проектами определяется последовательностью выполнения преобразований (3.12.2)–(3.12.4), учитывающей приоритетность стейкхолдеров в конкретном проекте. Наиболее распространенной на практике является схема, представленная на рис.3.12.2:



Рис.3.12.2. Схема взаимодействия стейкхолдеров

В схеме интеграции, приведенной на рис. 3.11.1, использованы все разработанные и описанные в главе 2 математические модели, показаны информационные потоки, циркулирующие в интегрированной системе управления проектом между всеми стейкхолдерами. В таблицах 3.11.1–3.11.4 дано соответствие разработанных моделей реализуемым функциям.

### Библиографический список к части 3

1. Баркалов, С.А. Методы агрегирования в управлении проектами / С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, Н.М. Гилязов. — М.: ИПУ РАН, 1999. — 65 с.
2. Баронов В.В. Информационные технологии и управление предприятием / В.В. Баронов, Г.Н. Калянов, Ю.Н. Попов, И.Н. Титовский. — М.: Компания АйТи, 2009. — 328 с.
3. Блумберг, М. Майкл Блумберг о Bloomberg / Московская школа управления СКОЛКОВО, 2010. Издание на русском языке, перевод, оформление. ООО «Альпина Паблишерз», 2010. Электронное издание. ООО «Альпина Паблишер», 2012. — 224 с.
4. Данилин, А.В. Архитектура и стратегия. «Инь» и «Янь» информационных технологий предприятия / А. Данилин, А. Слюсаренко. — М. ИНТУИТ, 2005. — 504 с.
5. Логиновский, О.В. Информационно-аналитические системы: концепции и методология создания / О.В. Логиновский, В.Н. Любицин // Информационно-аналитические компьютерные системы и технологии в региональном и муниципальном управлении: Научные труды. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, ЦНТИ, РАЕН, 2001. — С. 41–52.
6. Репкина О. Б. Использование информационно-аналитических систем для повышения эффективности управления предпринимательскими структурами [Текст] / О. Б. Репкина // Молодой ученый. — 2011. — №1. — С. 98-100.
7. Скрипкин К. Экономическая эффективность информационных систем в России. — М: Проспект, 2016. — 160 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### СОВРЕМЕННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

#### 1. Общие понятия

Программное обеспечение для управления проектами традиционно разделяется на профессиональные системы и системы для массового пользователя («настольные»).

Профессиональные системы предоставляют более гибкие средства реализации функций планирования и контроля, но требуют больших затрат времени на подготовку и анализ данных и, соответственно, высокой квалификации пользователей. Второй тип пакетов адресован пользователям-непрофессионалам, для которых управление проектами не является основным видом деятельности.

Развитие информационных технологий последних лет практически свело на нет различия между этими группами систем по объемным показателям мощности (размеры планируемого проекта по работам и ресурсам, скорость пересчета проекта). Даже дешевые пакеты сегодня способны поддерживать планирование проектов, состоящих из десятков тысяч работ и использующих тысячи видов ресурсов. Основные различия между системами проявляются в реализации функций ресурсного планирования и многопроектного планирования и контроля.

Отметим, что на сегодняшний день все основные производители программного обеспечения для управления проектами (за исключением Scitor) представлены в России.

В данном кратком обзоре рассматриваются последние версии популярных пакетов, представляющих различные сектора рынка программного обеспечения для управления проектами: Microsoft Project 2010, Time Line 6.5, Open Plan Professional, Primavera, Spider Project, ArtemisViews.

#### 2. Microsoft Project (корпорация Microsoft, США)

В конце 1997 года корпорация Microsoft объявила о выходе новой версии своего пакета для управления проектами — Project 98, который пришел на смену MS Project 4.1. Это наиболее распространенный в мире пакет, в данном пункте мы дадим его описание, а затем приведем отличия от него версии пакета 2010 года, в конце от новой версии 2016 года.

Project 98 не имеет ограничений на количество работ проекта и позволяет планировать до 10,000 ресурсов. Количество объединяемых проектов 1000. Есть возможность объединять подпроекты внутри проектов.

*Работа.* Возможно описание работ трех типов — с фиксированной длительностью, с фиксированным объемом работ, с фиксированным количеством исполнителей.

Имеется возможность прерывания и возобновления выполнения отдельных работ. Данная операция выполняется пользователем вручную. Приняв решение о выполнении некоторой работы с прерываниями, руководитель может легко смоделировать данную ситуацию в графическом режиме на календарной диаграмме, расщепив работу и сдвинув отдельные ее части на более поздние сроки. Прерывания в выполнении работы также могут быть смоделированы за счет прерывания назначения ресурса на работу в таблице использования ресурсов (Task Usage).

*Ресурсы.* Project 98 работает с двумя типами ресурсов: люди/оборудование и деньги. Во многих проектах, однако, необходимо планировать и третий вид ресурсов — материалы/комплектующие.

Что касается людей, то возможности для описания данного ресурса весьма удобны. Вся информация о каждом ресурсе подразделяется на общие данные, график рабочего времени ресурса, информацию о стоимости ресурса и дополнительные заметки. Project 98 предоставляет возможность задания до пяти профилей расценок для каждого ресурса. Таким образом, на разных работах ресурс может работать по разным расценкам, что весьма актуально в областях, где оплата работы зависит от ее сложности и квалификации ресурса. Кроме того, каждая расценка включает три составляющих — стандартная расценка, расценка за сверхурочное время и фиксированную цену назначения.

Два представления данных, Task Usage и Resource Usage, позволяют наглядно отслеживать и корректировать ежедневную (или еженедельную/ежемесячную) загрузку исполнителей на работах проекта, сгруппированную, соответственно, по работам или по исполнителям.

Затраты, не связанные с ресурсами, могут быть введены отдельно в поле Fixed Cost. Для каждой работы может быть задан профиль распределения затрат. Ограничением здесь является невозможность разбиения расходов по статьям затрат.

Project 98, оставаясь системой, простой в использовании и доступной для непрофессионалов, содержит возможности, позволяющие осуществ-

лять достаточно гибкое планирование и управление людскими ресурсами. Приоритетными областями применения Project 98 являются проекты, связанные с планированием офисной деятельности, где основными ресурсами являются конкретные исполнители, а основной задачей менеджера — назначение исполнителей на работы и координация выполнения отдельных заданий. Отсутствие возможности описывать материальные ресурсы в явном виде может существенно ограничить использование пакета для строительных проектов.

В мае 2010 года Microsoft официально объявила о выходе новой версии одного из основных своих продуктов — Microsoft Project. Как и все остальные приложения офиса, этот продукт содержит множество важных изменений и усовершенствований, часть из которых была предложена и российскими партнерами компании Microsoft.

Остановимся на основных новшествах продукта.

*Лента.* В этой версии интерфейс программы получил кардинальные изменения. Привычное меню заменено на Ленту. 350 команд упорядочены по логическим группам на вкладках — «Задача», «Ресурс», «Проект», «Вид», «Формат». Еще одна вкладка — «Файл» — предназначена для работы с файлами и настройками параметров.

Во вкладке «Задача» размещено все, что требуется для добавления и форматирования задач, включая возможность установки процента выполнения, связывания их между собой, преобразования задач из назначенных вручную в формируемые автоматически.

Из названия «Ресурс» уже ясно, что здесь собраны команды управления ресурсами — трудовыми, материальными. Здесь можно добавлять и назначать их задачам, выравнивать загрузку и запускать планировщик работы группы.

Управление проектом в целом производится на вкладке "Проект", но и не только управление, включая возможность добавления подпроектов, но и получение отчетов, в том числе в виде диаграмм, графиков. Эта вкладка дает возможность сравнивать разные версии проекта. В результате сравнения теперь включаются отрезки диаграмм Гантта, иные графические изображения, помогающие яснее видеть отличие одной версии проекта от другой.

Вкладка «Формат» дает возможность изменить представление проекта или переходить от одного представления к другому. Здесь можно выбрать в качестве основных представлений диаграмму Гантта, использование за-

дач и планировщик работы группы, при этом каждое из представлений имеет дополнительные опции. Через эту же вкладку можно включить отображение шкалы времени, на которую могут быть добавлены любые задачи из проекта. Отображается эта шкала под лентой.

Планировщик работы группы — это тоже новинка Microsoft Project. С его помощью можно увидеть, какие задачи решают участники группы, передавать задачи от одного участника группы другому, назначить нераспределенные работы исполнителям. Шкала времени может использоваться для компактного представления всего расписания работ по проекту, либо для выделения наиболее важных этапов работ. После того, как задачи будут добавлены на шкалу времени, вы сможете легко расположить их на разных рядах на шкале (перетаскивая их внутри серой полосы, обозначающей проект) или в виде выносок (вытащив их за пределы серой полосы).

В зависимости от выбранного элемента представления (диаграмма Ганта, временная шкала, форма задачи, календарь и так далее) изменяется наполнение еще одной вкладки — «Формат». Это наполнение изменяется автоматически при изменении представления. Кнопки, расположенные на этой вкладке, позволяют настраивать текст, столбцы, цвета и другие элементы для представлений всех типов. Для изменения масштаба повременных частей представлений предлагается использовать «ползунок масштаба», размещенный в строке состояния. Ползунок масштаба можно использовать в диаграмме Ганта, в сетевой диаграмме и в представлениях календаря, а также во всех представлениях графиков.

Новый интерфейс (Лента) более интуитивный и понятный, чем старые «меню». Многие функции, которые раньше были скрыты в глубинах меню, теперь находятся на виду — легко включить суммарную задачу, настроить вид Ганта и т.п. Следует отметить и еще одну новинку интерфейса — автоматический подбор высоты строк для длинных названий задач. Сразу после ввода названия строка выравнивается, также работает и двойной щелчок по границе строк для выравнивания их высоты.

Но не всегда лента бывает удобной из-за большого набора команд, размещенных в ней. Для быстрого доступа к наиболее часто применяемым командам можно использовать контекстное меню любого элемента проекта.

*Планирование и управление задачами.* В версии Project 2010 добавлены новые мощные средства планирования. Помимо автоматического, добавлена возможность ручного планирования как всех, так и отдельных задач.

Что это означает? То, что вместо системы планирования, заложенной в программу, вы будете самостоятельно назначать начальные и конечные точки выполнения задач. При любых перерасчетах и изменениях, вносимых в проект, установленные даты пересчитываться не будут. Понятно, что в этом случае могут возникать проблемы связанных задач. По умолчанию все новые задачи — обычная, суммарная или веха — формируются именно в ручном режиме.

Еще одна новинка — включение в проект задач, для которых отсутствуют необходимые для планирования данные, но она необходима для понимания целостности работ. При вводе вручную без указания действительной даты начала или окончания и продолжительности Microsoft Project помечает эту задачу как «Заполнитель». Поле, соответствующее этой метке, можно включить в лист задач, такой как представление «Диаграмма Гантта». Его можно использовать для отбора, фильтрации, сортировки задач.

Если заполнитель задачи содержит только сведения о продолжительности, то на диаграмме Гантта более светлым оттенком будет выделен отрезок, идущий от даты начала суммарной задачи, ближайшей к данной задаче. Если в двух из трех полей указаны действительные данные, то Project переводит задачу из режима «Заполнитель» в режим «Задача, запланированная вручную».

Задачи, включенные в проект, можно преобразовывать в неактивные. Эта возможность подходит для использования в различных ситуациях, например, для того, чтобы проверить планирование проекта при изменении набора включенных в проект работ. Неактивную задачу можно использовать и в том случае, когда ее хотелось бы добавить в проект, но на текущий момент не планировать, либо для отмены ранее запланированной задачи без удаления ее из проекта.

Проще стало работать с суммарными задачами. Теперь нет необходимости вначале формировать необходимые работы, а затем сводить их в группу. Достаточно выбрать команду «Вставить суммарную задачу», а уже затем можно добавлять в нее частные. В этом — коренное отличие новой версии от предыдущих, поскольку в этом, казалось бы, незначительном, изменении скрыто кардинальное изменение — в дополнение к проектированию «снизу вверх», добавлена возможность создания проекта «сверху вниз».

На вкладке «Ресурсы» появилась новая функция «Планировщик команды». В окне, соответствующем этой функции, отображаются задачи каждого члена команды. Для каждого участника задачи отображаются в отдельной строке, что позволяет быстро понять, кто, что и когда делает. Превышения доступности ресурсов выделяются красным.

Ресурсное планирование стало несколько проще, особенно в части передачи задач от исполнителя исполнителю. Также стало проще вручную проводить выравнивание загрузки ресурсов. Появились и новые функции:

- неназначенные и незапланированные области;
- автоматическое выравнивание;
- обновление статуса задач;
- настройка цвета, шрифта, разделов, фильтры и группировки.

*Интеграция.* Пользователи Project 2010 могут экспортировать файлы проекта в список SharePoint. Это позволяет руководителям проектов быстро и просто обнародовать состояние проекта или создать отчеты, которые будут доступны для всей организации. Для синхронизации со списком SharePoint не требуется Project Web App.

Интеграция MS Project 2010 с Exchange Server обеспечивает возможность членам команды проекта просматривать, обновлять, удалять и отчитываться о состоянии опубликованных задач.

Ниже представлен краткий обзор новых и значительно обновленных функций в Project Server 2016. При этом особое внимание уделяется областям, интересующим ИТ-специалистов, включая следующие:

- задействование ресурсов;
- единая установка Project Server и SharePoint Server;
- базовые языки установки и языковые пакеты;
- требования к оборудованию и программному обеспечению;
- обновление до Project Server 2016;
- одна база данных для множества экземпляров;
- ограничения для настраиваемых полей;
- изменения Project Web App.

*Задействование ресурсов.* Новые возможности задействования ресурсов в Project Server 2016 помогают руководителям проектов и диспетчерам ресурсов согласовывать между собой объемы работ и периоды времени для работы с определенными ресурсами, связанными с проектом.

Задействование ресурсов предоставляет следующие возможности:

1. Руководители проектов могут создавать запросы о ресурсах с помощью нового представления «План использования ресурсов» в Project профессиональный 2016.

2. Администраторы ресурсов могут просматривать все запросы о ресурсах на новой странице «Запросы ресурсов», а также предоставлять сведения о доступности своих ресурсов с помощью тепловой карты планирования загрузки.

Одно из главных изменений в Project Server 2016 – единый процесс установки. Новый сервер Project Server 2016 работает как приложение службы в SharePoint Server 2016 Enterprise. MSI-файл SharePoint Server 2016 Enterprise также содержит файлы для установки Project Server 2016, поэтому отдельная установка теперь не требуется, в отличие от предыдущих версий Project Server. Для активации Project Server 2016 потребуется ключ активации.

*Базовые языки установки и языковые пакеты.* Project Server 2016 и новый сервер SharePoint Server 2016 устанавливаются одновременно, поэтому для них автоматически устанавливается один базовый язык. Например, если установить SharePoint Server 2016 (английский, США), то базовым языком для Project Server 2016 и SharePoint Server 2016 будет английский (США).

Так как в Project Server 2016 не доступен соответствующий язык для всех доступных языковых пакетов SharePoint Server 2016, предоставляется альтернативный язык.

*Требования к оборудованию и программному обеспечению.* Сервер Project Server 2016 теперь является приложением службы в SharePoint Server 2016, поэтому требования к оборудованию, программному обеспечению и браузеру для Project Server 2016 будут такими же, как и для SharePoint Server 2016.

*Одна база данных для множества экземпляров.* В Project Server 2016 для всех экземпляров PWA используется одна база данных (база данных контента SharePoint). Все данные сохраняются в одной базе данных, но данные из каждого отдельного экземпляра все равно изолируются от данных других экземпляров.

Хранение данных Project в одной базе данных упрощает операции с базой данных, например резервное копирование и восстановление, миграцию. Ограничения для настраиваемых полей Для достижения максимальной производительности отчетов Project Server 2016 действуют ограниче-

ния на количество настраиваемых полей с одним значением, хранящихся в схеме отчетов.

*Изменения Project Web App.* Администраторам следует знать о нескольких важных изменениях Project Web App, влияющих на пользователей.

*Упрощенное создание проекта.* В Project Server 2016 можно с легкостью создать проект в окне «Начало работы с Project Web App», которое отображается на домашней странице Project Web App. Нажмите «Создать или импортировать проект», чтобы открыть мастер создания проекта, который поможет пользователю выполнить необходимые действия.

### 3. TIME LINE 6.5 (корпорация TIME LINE SOLUTIONS, США)

Time Line 6.5, так же как и MS Project, относится к классу недорогих систем, однако обладает рядом возможностей, позволяющих более широко использовать систему.

Time Line 6.5 предлагает достаточно мощные алгоритмы работы с ресурсами, включающие средства межпроектного назначения и выравнивания перегрузок ресурсов, гибкие возможности по описанию специфических календарных графиков работы ресурсов.

Time Line предлагает три дополнительных типа затрат: Time Cost — затраты зависят от количества отработанного времени, Unit Cost — затраты на материалы и комплектующие, зависят от физических объемов назначенных ресурсов (штуки, тонны, м<sup>3</sup> и т.д.), Fixed Cost — фиксированные затраты (позволяет учитывать неограниченное количество статей затрат).

Возможность создания неограниченного количества пользовательских колонок и использование собственных формул в электронной таблице задач позволяет настраивать расчетную модель проекта на потребности конкретного клиента. Таким образом, для задач проекта могут быть добавлены любые дополнительные показатели (например, объемы работ в физических единицах, нормативные трудозатраты, доход или прибыль от реализации задачи, дополнительные коды и т.п.). Благодаря данной возможности Time Line были реализованы решения для расчета объемов и стоимости работ, сроков реализации строительных проектов.

В то же время Time Line не позволяет формировать иерархическую структуру ресурсов, производить назначение исполнителей в соответствии с их квалификацией, что снижает гибкость при планировании загрузки ресурсов и оптимизации плана работ.

Time Line 6.5 простая в использовании система, не требующая профессиональной подготовки пользователя, однако, способна обеспечить средства моделирования достаточно сложных проектов. Может быть рекомендована для исполнителей, заказчиков и инвесторов промышленных, технических и строительных проектов. Уступает MS Project в области организации взаимодействия членов проекта посредством электронной почты в режиме реального времени.

Time Line используется в значительном количестве компаний, в том числе и строительных. Большинство пользователей, однако, применяют систему лишь на стадии планирования. Например, Мостоотряд N18 использовал Time Line для разработки исходных планов десятков проектов в России и за рубежом и лишь в 2000 году начал использовать систему и для оперативного контроля. На проекте Москва-СИТИ, в связи с ограничениями на проведение работ на Москва-реке в дневное время, руководство столкнулось с необходимостью четкого планирования использования плавсредств на строительстве моста в центре Москвы. Time Line позволил построить модель проведения работ, рассчитать и скоординировать расписания работы оборудования и график поставки материалов и комплектующих. Благодаря оперативному контролю хода работ отклонения от плана не превышали одного-двух дней. Основными отличительными особенностями Time Line 6.5 являются реализация концепции многопроектного планирования в рамках организации, гибкие средства поддержки формирования отчетов и средства настройки на пользовательскую информационную среду. В Time Line 6.5 нет ограничений на размерность проектов.

Time Line 6.5 позволяет хранить все данные, касающиеся проектов организации в единой SQL базе данных, которая, кроме описания проектов и единого для организации списка ресурсов, содержит все элементы настроек управленческой среды принятой в компании для работы с проектами. Все основные объекты базы данных объединены в окне OverView в соответствующих разделах. С помощью данного окна можно просмотреть структуру базы данных проекта и осуществить доступ к любому элементу, а также создать свои пользовательские элементы в списках.

Time Line 6.5 предлагает достаточно мощные алгоритмы работы с ресурсами, включающие средства межпроектного назначения и выравнивания перегрузок ресурсов, гибкие возможности по описанию специфических календарных графиков работы ресурсов. Недостатком данных

средств является отсутствие возможностей описания и отображения иерархии ресурсов организации.

В настоящее время в России распространяется англоязычная версия системы. Time Line 6.5 может быть рекомендован для планирования проектов средней сложности или комплексов малых проектов.

#### 4. PRIMAVERA (PRIMAVERA SYSTEMS INC., США)

Центральный программный продукт семейства Primavera, Primavera Project Planner (P3) хорошо известен в среде профессиональных менеджеров проектов во всем мире. Сегодня P3 применяется для управления средними и крупными проектами в самых различных областях.

Primavera Project Planner предоставляет достаточно стандартный для всех подобных систем графический интерфейс, но у P3 есть несколько дополнительных возможностей. Во-первых, это возможность группировки и упорядочивания работ по различным признакам на разных уровнях детализации проекта, что позволяет представить информацию в более удобном виде для конкретной управленческой ситуации. Например, используя данные средства, всю информацию по проекту можно сгруппировать по фазе проекта на первом уровне иерархии, по ответственному ресурсу на втором и отсортировать по дате начала работ на третьем. Для каждой группы могут быть заданы собственные шрифт и цвет (текста и фона), постраничное разбиение.

Другая полезная особенность — это возможность разбиения экрана по горизонтали на две части, каждая из которых может быть просмотрена независимо. Это дает возможность одновременно просматривать разные части проекта.

Кроме того, P3 имеет определенные отличия от других пакетов в средствах ресурсного планирования.

При описании ресурса могут быть указаны нормальное и максимальное количество наличия данного ресурса, а также его цена по шести временным интервалам. Ресурс может быть помечен как управляющий (объем назначения управляющего ресурса на задачу будет влиять на длительность ее выполнения). Например, определив, что рабочие — это управляющий ресурс, а бригадир — нет, можно добиться сокращения сроков выполнения задачи «Прокладка траншеи» за счет назначения большего количества рабочих. Увеличение же количества бригадиров не повлияет на длительность работы. При планировании загрузки ресурсов может возникнуть необхо-

димось в описании нелинейного профиля потребления ресурса отдельной задачей. РЗ дает возможность описать различные кривые распределения ресурса, предлагая девять стандартных кривых и возможность определить собственный профиль потребления, разбив временную фазу задачи на 10 периодов.

Средства автоматического перепланирования задач с учетом ограничений на ресурсы приобретают особую важность для крупных проектов, когда менеджер не в состоянии самостоятельно проанализировать причины нехватки ресурсов и найти решение для каждой конкретной работы. РЗ позволяет выбрать режим перерасчета расписания и подобрать критерий перепланирования работ, обеспечивающий получение более короткого расписания. Среди режимов перерасчета можно выделить выравнивание вперед (определение возможной даты окончания проекта при заданной начальной дате), выравнивание назад (определение самой поздней допустимой даты начала проекта), сглаживание перегрузок ресурсов в рамках временных резервов работ или в рамках заданного интервала с учетом приоритетов, определяемыми различными характеристиками работ, которые могут меняться в зависимости от конкретной ситуации. Кроме того, РЗ предполагает изменение интенсивности использования ресурсов в рамках ограничений или приостановку работ, что обеспечивает более точное планирование в условиях ограниченных ресурсов. Одновременно может проводиться выравнивание не более чем по 500 ресурсам, хотя любой управленец понимает некорректность такой постановки, поскольку выравнивание — процесс, сильно влияющий на расписание, и выравнивание даже по одному ресурсу может настолько сильно изменить график, что без дополнительного анализа ситуации отдавать решение проблемы машине не целесообразно.

РЗ поддерживает календарь проекта, календари работ (до 31 с разными рабочими неделями и нерабочими периодами), а также календари ресурсов, что позволяет планировать работы, не учитывающие календари ресурсов, учитывающие календари ресурсов и использующие ресурсы независимо или одновременно.

Средства поддержки многопроектной среды управления в РЗ включают возможность определения иерархии и права доступа к мастер-проекту и подпроектам, а также фрагментам проекта по фильтрам. Менеджер-координатор проекта имеет право редактировать мастер-проект и все подпроекты. Менеджер подпроекта имеет право добавлять ресурсы в словарь

ресурсов, но не удалять их и не изменять их цены. Если разрешение ресурсных конфликтов в рамках подпроекта требует данные другого подпроекта, менеджер может это сделать только при наделении его дополнительными полномочиями со стороны менеджера-координатора проекта. Однако ресурсное планирование по всему проекту в целом может осуществляться только менеджером-координатором. Только он может определить связи между подпроектами. По сравнению со многими другими программными продуктами, которые также дают возможность многопроектного управления, отличительной особенностью РЗ является подробное описание принципов многопроектного управления в документации, где они рассматриваются с двух точек зрения: менеджера-координатора проекта и менеджера подпроекта.

Ограниченные права доступа позволяют выборочно наделить полномочиями тех или иных сотрудников в соответствии с их обязанностями. Это может быть расчет расписания, выполнение глобальных замен или импорт данных в проект, редактирование данных по работам, изменение настроенных словарей и спецификаций отчетов. Для словаря ресурсов предусмотрено дополнительное ограничение не только на корректировку, но и на просмотр, поскольку именно там находится конфиденциальная информация о расценках на ресурсы, заработной плате сотрудников и т.д.

РЗ имеет специальные средства для анализа логики проекта. Кроме стандартной функции контроля возникающих петель в проекте и сообщения о работах, попавших в нее, PERT –представление позволяет просмотреть как общую логику проекта, так и проследить цепочки работ.

РЗ предусматривает много возможностей для уменьшения рутинной работы при создании и контроле проектов. При создании проектов можно воспользоваться заранее сохраненными фрагментами (если уже есть опыт работы в РЗ с аналогичным проектом), или воспользоваться Batch-системой, которая одновременно загрузит накопленные данные в другой базе данных, электронной таблице или даже текстовом документе. После создания проекта часто возникает необходимость изменения данных, что упрощается с помощью функции Global Change, которая позволяет для выбранных по фильтру работ пересчитать длительности работ, ресурсные и стоимостные показатели, назначить ресурсы или сохранить информацию в пользовательских полях, если у менеджера появляется в этом необходимость (например, сохранение желаемых, а не плановых показателей, предварительных данных по работам и ресурсам, расчетных полей). Сбор ин-

формации также упрощен с помощью полностью русифицированного бесплатного приложения Post Office, который в виде простой таблицы по электронной почте может передать исполнителям плановые показатели и собрать от них фактические данные, обновив при этом проект. Заполнение такой таблицы не займет у каждого исполнителя и 5 минут, тогда как актуализация информации без дополнительных средств автоматизации зачастую занимает сутки рутинной работы диспетчерского отдела.

Гибкие правила расчета стоимости позволяют настроить зависимость между временными, ресурсными и стоимостными показателями для отражения процедур анализа информации проекта. РЗ поддерживает методику освоенных объемов, что дает управленцам дополнительные возможности анализа текущей ситуации по проекту и возможности предсказания развития событий.

Важным свойством РЗ является возможность установки языка для отчетов по проекту. Сегодня, когда большинство проектов являются международными, необходимость предоставления отчетности на национальном языке ежедневная необходимость. РЗ поддерживает 19 национальных языков, обеспечивая перевод заголовков колонок, дат и легенды отчета на требуемом языке, будь то русский, английский, немецкий, японский или китайский. Кроме того, более 100 тысяч пользователей РЗ во всем мире встречаются в разных проектах и понимают друг друга на языке Primavera. Около 200 типовых отчетов и возможность настройки пользовательских отчетов обеспечивают возможность анализа информации в типовых формах на языке пользователя.

РЗ, являясь частью информационной системы любой организации пользователя, может иметь интерфейсы с системами для разработки проектно-сметных расчетов, системами трехмерной графики типа PDS, Microstation или AutoCAD, системами анализа экономической эффективности проектов, системами управления производством R/3 и Baan, системами документооборота, специальными средствами для конкретных областей типа LINEA — программного продукта для анализа потоковых диаграмм при строительстве линейных объектов. Сама фирма Primavera и ее партнеры разрабатывают специальные средства для интеграции РЗ и других программных продуктов Primavera с базами данных, специализированным программным обеспечением. Среди них Ra, PEAK, Data Store, Flint, Oberon Prospero, Expedition API.

Кроме P3, компанией Primavera Systems поставляется облегченная система для УП — SureTrak. Этот программный продукт ориентирован на небольшие проекты, подпроекты, работу конкретных исполнителей с фрагментами проектов. SureTrak имеет те же средства, что и P3 в плане организации проекта по кодам и фильтрации информации, установки ограничений и расчета расписания, но в то же время существует ряд ограничений и дополнительных возможностей.

Из ограничений следует отметить отсутствие многопользовательской среды (т.е. возможности одновременной работы нескольких пользователей с одним проектом), меньшую размерность проектов (до 10 тысяч работ), более скромные средства создания отчетов. Однако в SureTrak у ресурсов появилась дополнительная категория — доход. SureTrak отличается от всех остальных продуктов Primavera тем, что он полностью русифицирован и поставляется вместе с руководством для пользователя на русском языке. SureTrak осуществляет импорт/экспорт файлов в форматах P3 и MS Project.

Таким образом, работая совместно, P3 и SureTrak предлагают масштабируемый подход к управлению проектами различного размера и сложности, возможности которых могут быть расширены при использовании еще одного программного продукта — Webster — средства для автоматизации учета затрат рабочего времени. Кроме вышеназванных продуктов из семейства Primavera интерес может представлять система анализа рисков проекта Monte Carlo for Primavera, которая наряду с вероятностными оценками длительности работ, объема и интенсивности использования ресурсов и их стоимостей, предполагает возможность анализа вероятности развития событий при разных результатах выполнения работ. Предположим, при положительном исходе опытных испытаний можно переходить к промышленному производству, тогда как при отрицательном исходе испытаний необходимо продолжить работы по совершенствованию опытного образца. Monte Carlo позволяет оценить пессимистические, оптимистические, наиболее реальные даты завершения проекта, а также оценить вероятность завершения проекта к заданному сроку. Еще одна система, необходимая управляющим проекта — это Expedition — система контроля реализации контрактов и сопровождения документов по проекту. Полностью интегрированная с P3, она позволяет отслеживать этапы реализации и оплату контрактов, поставки и платежные требования. Любая задержка в согласовании и утверждении спецификаций или других документов может отразить-

ся на графике реализации проекта в РЗ. Expedition может работать как самостоятельно (обычно у Заказчиков проекта) или совместно с РЗ.

Фирма Primavera Systems существует с 1983 года. Ее российский дилер — Консалтинг ПРИМ — с 1993 года предоставляет комплекс услуг, связанных с автоматизированными системами управления проектами на основе программных продуктов Primavera. Прежде всего, это поставка программного обеспечения, техническая поддержка пользователей и локализация программных продуктов. Также Консалтинг ПРИМ разрабатывает и внедряет автоматизированные системы управления проектами. Сегодня в России работают уже более 200 программных продуктов Primavera и около 500 пользователей этих систем.

Последняя версия 2008г. предназначена для ключевых участников инвестиционного процесса: заказчиков/инвесторов, генеральных подрядчиков, поставщиков и производителей оборудования, проектных и инженеринговых организаций, ремонтных и сервисных предприятий. Primavera Systems, Inc. — мировой лидер на рынке систем управления проектами. Более 500 000 пользователей.

## 5. OPEN PLAN (корпорация WELCOM SOFTWARE TECHNOLOGIES, США)

Open Plan Professional — один из лидеров в области профессиональных систем для управления проектами. Система полностью переведена на русский язык.

Реализация непосредственно стандартных функций систем управления проектами и различных дополнительных возможностей позволяет выделять Open Plan как систему обеспечивающую:

- открытое, масштабируемое решение для всего предприятия;
- мощные средства многопроектного планирования и контроля;
- средства организации многопользовательского режима работы с проектами, распределенного по уровням управления;
- мощные средства структуризации проектов, стандартизации среды и функций управления проектами, настройку на задачи конкретного пользователя.

Система Open Plan включает средства разработки модели проекта и анализа комплекса работ проекта по методу критического пути, гибкие средства ресурсного планирования, средства расчета, контроля и анализа затрат по проекту на основе фактической выработки, анализ рисков по ме-

тоту Монте-Карло. Архитектура системы позволяет в сравнительно небольшие сроки осуществить разработку и поддержку единой системы управления проектами в корпорации.

#### *Разработка комплекса работ.*

Структуризация проекта — одна из ключевых идей концепции управления проектами, обеспечивающая иерархическое разбиение проекта на компоненты, более легко поддающиеся планированию и контролю. Применение иерархической системы кодов для работ в проектах Open Plan позволяет получать отчеты в желаемых разрезах. Система кодов может быть построена на базе произвольной классификации, например, структура затрат, направления деятельности, иерархическая структура предприятия или любая другая классификация, для которой возможно задать иерархию. Благодаря назначению кодов различным элементам проекта на основании заданной иерархической структуры достигается суммирование данных проекта на соответствующем уровне для получения отчетов, отражающих информацию в желаемом разрезе.

Open Plan предоставляет гибкие возможности описания характеристик работ, на основании которых рассчитываются даты начала и окончания работ. В системе предусмотрены все стандартные возможности создания логической структуры проекта, включая любые типы связей между задачами и задание внешних ограничений на сроки выполнения работ.

#### *Управление ресурсами.*

Одним из основных отличий системы являются мощные средства ресурсного планирования, которые позволяют значительно облегчить задачу нахождения наиболее эффективного распределения ресурсов и составления их рабочего расписания.

Развитые средства ресурсного планирования Open Plan позволяют корректно управлять всеми видами ресурсов: людьми, оборудованием, материалами, финансами. Open Plan позволяет создавать иерархическую структуру ресурсов, назначать им квалификации, описывать изменения в доступности и стоимости во времени. Выполняется автоматический поиск оптимального с точки зрения загрузки ресурса назначения на задачу по указанному пользователем критерию.

В параметры ресурса включено описание доступности ресурса, стоимости за единицу (которая может меняться во времени), квалификаций и другие характеристики. Изменение стоимости ресурсов отражается на затратах проекта. Open Plan позволяет рассчитать «экономное» расписание ре-

лизации проекта с учетом изменения стоимостей ресурсов. При назначении ресурсов на работы можно указывать не конкретного исполнителя, а требуемые квалификации. Open Plan автоматически выберет ресурсы, обладающие необходимой квалификацией и наименее загруженные в данный период.

При назначении ресурсов на работу есть два способа описать расходование ресурсов:

- задать количество ресурсов, используемых за день работы;
- задать общее количество ресурсов на время работы, определив характер функции потребления.

Ресурс может быть назначен не на весь срок работы, а на ограниченный срок, начиная с указанного дня от начала работы. При назначении ресурса на работу есть возможность задать альтернативный ресурс, который в случае недоступности первоначально назначенного ресурса предлагается использовать.

В отличие от других пакетов Open Plan позволяет проводить анализ и перепланирование не только для людей и оборудования, но и для материалов.

Open Plan предусматривает два базовых метода для вычисления дат при ресурсном планировании:

- планирование при ограниченном времени;
- планирование при ограниченных ресурсах.

При планировании проекта рекомендуется совмещать использование двух методов ресурсного планирования.

#### *Анализ затрат.*

Open Plan предусматривает процедуры планирования и контроля затрат, включая средства анализа и отчетности по фактической выработке. Средства «запоминания» нескольких вариантов реализации проекта и ввода фактических данных по отработке ресурсов и затратах на работу позволяют анализировать расходы по проекту, как прогнозные, так и реальные.

Фактическая отработка ресурсов может, как автоматически вычисляться из процента выполнения работ, на которые ресурсы назначены, так и вводиться пользователем вручную (в том числе предусмотрен ввод данных о количестве и стоимости ресурсов, первоначально не назначенных на работу).

#### *Анализ рисков.*

Встроенные в Open Plan аналитические инструменты, базирующиеся на методе Монте-Карло, позволяют определить возможные риски в оценке длительности отдельных работ, этапов и всего проекта. Таким образом, оценивается вероятность выполнения проекта в заданные сроки и, как следствие, превышение бюджета и другие негативные последствия. Анализ рисков в Open Plan реализуется следующими средствами:

- Процедуры ввода оптимистических и пессимистических оценок параметров для избранных или всех работ проекта;
- Выполнение анализа рисков по методу Монте-Карло для определения вероятностей завершения работ проекта в определенные сроки;
- Предоставление отчетов, которые используются для анализа влияния неопределенностей на реализацию проекта.

*Мультипроектный анализ и структуризация проектов.*

Для работы в многопроектном режиме Open Plan предоставляет пользователям средства для объединения проектов организации в единое целое, составления общего расписания, согласования деятельности различных подразделений и организаций, участвующих в реализации проектов.

Таким образом, объединяя проекты, пользователь Open может, во-первых, проводить планирование ресурсов для проектов, использующих одни и те же ресурсы; во-вторых, есть возможность обеспечить среду для интегрированного управления большими комплексными проектами, разбитыми на подпроекты. Во втором случае у каждого подпроекта может быть свой файл ресурсов.

*Документирование проекта согласно корпоративным стандартам.*

Отчеты по проектам в Open Plan могут представляться в табличных форматах, отображающих свойства работ и ресурсов проекта в виде таблиц, и в графическом виде, представляющем информацию по проекту в виде различных диаграмм и гистограмм.

Система позволяет сформировать отчет один раз в виде шаблона и использовать его для других проектов.

*«Директор Управления Проектами».*

Встроенное средство «Директор Управления Проектами» позволяет использовать Open Plan для автоматизации сбора и распределения относящихся к проекту форм предоставления информации. Использование «Директора» позволяет настроить стандартные процедуры планирования и контроля.

С системой поставляется набор шаблонов процессов, разработанных на основе опубликованных исследований Комитета по Стандартам Института по Управлению Проектами (Project Management Institute (PMI) Standards Committee). Пользователь также имеет возможность создавать собственные процессы.

Open Plan выпускается в двух вариантах: профессиональный (Open Plan Professional) и настольный (Open Plan Desktop).

И профессиональная, и настольная версии Open Plan включают в себя полный комплект функций по управлению проектами. Однако две версии системы были созданы с рядом различий для обеспечения оптимального функционирования системы в режиме архитектуры клиент/сервер и настроенные на разный уровень пользователей.

Пользователи Open Plan Desktop получают в распоряжение все средства для создания проектов, управления ими в процессе реализации, отчетности, но не имеют доступ к ряду процедур настройки, таким образом, они могут использовать в своей работе все мощные средства, предоставляемые системой, но без излишних усложнений.

В Open Plan Professional имеются следующие функции, не предусмотренные в настольной версии:

1. Создание пользовательских отчетов.
2. Спецификация полей пользователя и нелинейных календарей отчетности.
3. Создание и настройка процедур «Директора управления проектами».
4. Возможности работы в многопроектном режиме.

В рамках организации управления проектами на предприятии целесообразно пользоваться большим количеством настольных и меньшим количеством профессиональных версий Open Plan. Обладатели настольных версий смогут пользоваться настройками, созданными для них в профессиональной версии. А пользователи профессиональных версий могут собирать в объединяющих проектах данные из проектов, созданных на более низких уровнях организации.

Программное обеспечение можно настроить на работу с разнообразными базами данных. Open Plan обладает прямым доступом к SQL базам данных. Пользователь может выбрать, в каком формате хранить данные по проектам (в собственном формате Open Plan, в форматах Oracle, SQL Server, Sybase, xBase).

Сегодня в мире насчитываются десятки тысяч пользователей системы Open Plan.

Open Plan рекомендуется применять для управления крупными проектами, требующими детального планирования, оптимизации и контроля использования различных типов ресурсов; для решения задач многопроектного календарного планирования и управления. Open Plan особенно эффективен, если требуется организация одновременной работы пользователей с одной базой данных и распределенный сбор и обновление информации, интеграция информационной системы управления проектами с другими автоматизированными системами организации.

Вместе с Open Plan рекомендуется применять:

Sobra — система управления бюджетом проектов, позволяющая планировать и контролировать стоимость реализации проекта, а также проводить анализ и прогнозировать ход выполнения проекта на основе показателей освоенного объема;

WelcomHome — Web-ориентированный инструмент для создания виртуального офиса проекта, позволяющий значительно повысить качество коммуникаций между членами распределенной команды при совместной работе над проектом.

Эти программные продукты образуют семейство Welcom, особенностью которого является их тесная интеграция между собой, а также открытая архитектура и богатые возможности по обмену данными с другими приложениями. Это позволяет строить эффективные системы управления проектами на предприятиях с уже сложившейся информационной инфраструктурой.

В основе подхода Welcom к построению единой системы управления проектами на предприятии лежит создание интегрированного решения. Это, в частности, подразумевает наличие единого хранилища данных проекта и доступ к этим данным из разных приложений в соответствии с правами доступа и ролью пользователя в проекте. Причем доступ возможен как в локальной сети, так и удаленно через Internet.

## 6. ARTEMIS VIEWS (ARTEMIS INTERNATIONAL, США)

Традиционно программное обеспечение семейства Artemis (Artemis 2000, Artemis 9000, затем Prestige) использовалось для управления крупными инженерными проектами. На сегодняшний день корпорация Artemis

International распространяет под этой торговой маркой серию программ под общим названием ArtemisViews.

Семейство ArtemisViews состоит из набора модулей автоматизирующих различные аспекты управления проектами: ProjectView, ResourceView, TrackView, CostView. Все модули совместимы по данным, работают в архитектуре клиент/сервер, поддерживают ODBC стандарт и легко интегрируются с популярными СУБД Oracle, SQLBase, SQLServer, Sybase. Каждый модуль может работать как независимо, так и в комбинации с другими.

ProjectView позволяет реализовать мультипроектную, многопользовательскую систему планирования и контроля проектов в организации. ProjectView позволяет разделять проектные данные (календари, кодификаторы, списки ресурсов) между пользователями или пользовательскими группами, обеспечивает средства безопасности при одновременной работе пользователей с проектом. Система позволяет получать значительное количество различных отчетов с помощью собственных средств или с использованием специализированного программного обеспечения (например, Quest). В комбинации со средствами управления ресурсами ResourceView позволяет реализовать интегрированный подход к управлению проектными работами и текущими операциями.

ResourceView — специализированная система для планирования и контроля использования ресурсов как в проектной или матричной среде управления, так и для текущих работ. В системе реализованы средства поддержки согласования руководителями распределения ресурсов между работами. Графическая панель управления ресурсами позволяет менеджерам планировать, контролировать и оптимизировать их загрузку за счет перераспределения очереди работ в соответствии с наличием ресурсов.

TrackView предоставляет средства ведения фактической информации по выполненным объемам работ, контроля состояния выполнения и стоимости текущих работ (проектных и внепроектных). Система позволяет интегрировать данные для различных уровней управления в организации от рядовых исполнителей, ведущих информацию по своим задачам, до высшего руководства, которое может получить укрупненные данные по фактическим затратам и объемам работ.

CostView обеспечивает поддержку центрального депозитария для информации по всем затратам и доходам проектов. Пакет позволяет анализировать экономическую эффективность контрактов, строить таблицы де-

нежных потоков, предсказывать затраты и рассчитывать показатели внутренней нормы рентабельности проектов. Безусловно ArtemisViews позволяет создать мощное интегрированное решение, однако, затраты, связанные с приобретением и внедрением данного программного обеспечения, существенно ограничивают круг потенциальных пользователей.

## 7. SPIDER PROJECT (SPIDER TECHNOLOGIES, РОССИЯ)

Обзор систем Управления Проектами, доступных на Российском рынке, был бы неполон без упоминания российской разработки — Spider Project. По информации, полученной от специалистов, разрабатывающих и поддерживающих пакет (Spider Technologies Group), система была инсталлирована для управления несколькими десятками крупных проектов.

Данный пакет имеет несколько отличительных особенностей, позволяющих ему конкурировать с западными системами на крупных, промышленных проектах. Во-первых, это мощные алгоритмы планирования использования ограниченных ресурсов. Тестирование известных пакетов Управления Проектами (Artemis Views и Primavera не тестировались) показало преимущество алгоритмов Spider Project по качеству составляемых планов выполнения работ при ограниченности имеющихся ресурсов. Для 32 из 100 проектов, участвовавших в тестировании, Spider Project составил более короткие расписания работ, а для остальных 68 его расписания не уступали лучшим из расписаний, составленных западными пакетами.

В пакете реализована возможность использования при составлении расписания работ взаимозаменяемых ресурсов (пулы ресурсов), которая, по утверждению разработчиков, также позволяет получить более короткие расписания. Использование ресурсных пулов избавляет менеджера от необходимости жестко назначать исполнителей на работы проекта. Ему достаточно указать общее количество необходимых для производства работ ресурсов, и из каких ресурсов это количество выбирать. Это позволяет и сократить непроизводительные простои ресурсов и облегчить работу проектного менеджера, избавляя его от необходимости производить утомительные на больших проектах оценки «что если».

Еще одной особенностью пакета является возможность использования нормативно-справочной информации — о производительностях ресурсов на тех или иных видах работ, расходе материалов, стоимостях работ и ресурсов. Spider Project позволяет неограниченно наращивать число учитываемых в проектах показателей, создавать и использовать в расчетах лю-

бые дополнительные табличные документы и базы данных, вводить любые формулы расчета. Возможность настройки системы позволяет пользователям получать от пакета не только расписание работ, графики загрузки ресурсов и стоимостные характеристики проекта, но и технологические характеристики составленных расписаний. Так, например, в горнодобывающей промышленности пользователи Spider Project получили возможность планировать не только порядок выемки объемов руды, но и учитывать объемы отдельных компонентов, содержащихся в руде.

Превосходя многие западные пакеты по мощности и гибкости реализации отдельных функций и задач УП, Spider Project, в целом, уступает в области программного сервиса (использование стандартов обмена данными, пользовательский интерфейс и т.д.).

## 8. Рекомендации по использованию

Следует отметить, что все пакеты являются колоссальными по объему и с повышенным требованиям к техническим средствам, однако «математическая начинка» и функциональное развитие практически остановились на уровне 60–70 г. Даже лучшие западные пакеты используют примитивные алгоритмы составления расписания выполнения работ, которые вызывают серьезные замечания со стороны работающих профессионалов-практиков. Массовость и неразвитость рынка Управления Проектами привела к тому, что некоторые разработчики пакетов стали ориентироваться на неквалифицированных и начинающих пользователей, для которых красивая обертка часто привлекательнее сути решаемых проблем. Идя на поводу у такого «рынка», сравнение пакетов в компьютерных журналах проводится в основном по легкости обучения и применения, качеству выходной документации, по скорости работы, оставляя в стороне наиболее важные для управления проекта характеристики, такие как:

- адекватность представления информации;
- качество составляемых планов;
- «прозрачность» алгоритмов поиска «лучших планов»;
- адаптивность к работе с различной спецификой проектов;
- возможности работы с ресурсами.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....   | 3   |
| <b>ЧАСТЬ 1. ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ОСНОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ</b>   |     |
| Глава 1. Эволюция развития проектного управления .....  | 5   |
| Глава 2. Анализ этапов развития сетевых моделей, их содержание и классификация .....  | 15  |
| Задание на контрольную работу.....  | 44  |
| Библиографический список к введению и части 1.....  | 50  |
| <b>ЧАСТЬ 2. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ С ПОЗИЦИЙ РАЗЛИЧНЫХ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ СТОРОН</b>  |     |
| Глава 3. Обоснование концепции проектного управления, учитывающей интересы различных стейкхолдеров .....  | 52  |
| Глава 4. Модели и методы проектного управления для инвестора... ..  | 57  |
| Глава 5. Модели и методы проектного управления для заказчика.....   | 66  |
| Глава 6. Модели и методы проектного управления для поставщика... ..   | 78  |
| Глава 7. Математические модели управления для генконтрактора, руководителя и его команды управления проектом .....                                    | 99  |
| Глава 8. Математические модели проектного управления для регулирующих и надзорных органов .....   | 118 |
| Глава 9. Математические модели проектного управления для коммерческой службы.....   | 132 |
| Библиографический список к части 2.....   | 148 |
| <b>ЧАСТЬ 3. ИНТЕГРИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ</b>  |     |
| Глава 10. Формирование методологии создания интегрированной информационно-аналитической системы управления проектами и ее основные составляющие ..... | 150 |
| Глава 11. Структура и функции интегрированной информационно-аналитической системы управления сложным проектом.....                                    | 156 |
| Глава 12. Взаимодействие комплекса математических моделей управления проектами в рамках интегрированной информационно-аналитической системы.....      | 161 |
| Библиографический список к части 3.....   | 168 |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ. СОВРЕМЕННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ</b> .....  | 169 |

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

***Буркова Ирина Владимировна*** — доктор технических наук, автор более 110 научных трудов, в том числе 3 научных монографий и 4 учебных пособий, ведущий научный сотрудник лаборатории активных систем Института проблем управления им. В.А.Трапезникова Российской академии наук.

***Гельруд Яков Давидович*** — доктор технических наук, автор 130 научных трудов, в том числе 3 научных монографий и 10 учебных пособий, профессор кафедры информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах Южно-Уральского государственного университета.

***Логиновский Олег Витальевич*** — доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, автор 490 научных трудов, в том числе 20 научных монографий и 19 учебных пособий, заведующий кафедрой информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах Южно-Уральского государственного университета, руководитель научно-образовательного центра Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук при ЮУрГУ. С 1990 по 2010 гг. — председатель Комитета информационного и программного обеспечения Правительства Челябинской области.

***Шестаков Александр Леонидович*** — доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, автор 190 научных трудов, в том числе 11 научных монографий и 10 учебных пособий, ректор Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета), вице-президент Союза ректоров высших учебных заведений Российской Федерации.

*Учебное издание*

**Буркова Ирина Владимировна,  
Гельруд Яков Давидович,  
Логиновский Олег Витальевич,  
Шестаков Александр Леонидович**

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ  
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ**

Учебное пособие

Техн. редактор *А.В. Миних*  
Дизайн обложки *Н.А. Петровой*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 16.04.2018. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 11,39. Тираж 500 экз. Заказ 102/226.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика  
в типографии Издательского центра ЮУрГУ.  
454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76.