

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

531 (07)

X 982

А.В. Худяков, В.А. Ващук

**МЕХАНИКА**  
Задания для расчетно-графических работ

Учебное пособие

Министерство образования Российской Федерации  
Южно - Уральский государственный университет  
Кафедра "Прикладная механика, динамика и прочность машин"

531 (07)  
X 982

А.В. Худяков, В.А. Ващук

**МЕХАНИКА**

Задания для расчетно-графических работ

Учебное пособие

4875



Челябинск  
Издательство ЮУрГУ  
2000

Худяков А.В., Ващук В.А. Механика: Задания для расчетно-графических работ: Учебное пособие.– Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2000.– 61 с.

Учебное пособие содержит задачи, входящие в семестровые задания по дисциплине "Механика" для немеханических специальностей; контрольные вопросы по основным разделам курса; справочные данные и методические рекомендации, необходимые для решения задач. В приложении приведены рабочая программа курса и вопросы для подготовки к зачетам и экзаменам.

Ил. 17, табл. 20, список лит. – 14 назв.

Одобрено учебно-методической комиссией факультета прикладной тематики и физики.

Рецензенты: А. В. Ильин, В.И. Симонов.

Техн.редактор А.В.Миних

Издательство Южно-Уральского государственного университета

ИД № 00200 от 28.09.99. Подписано в печать 22.12.2000. Формат 60x84 1/16. Печать офсетная. Усл.печ. л. 3,49. Уч.-изд. л. 3, 52. Тираж 150 экз. Заказ 588/405. Цена 4 р. 70 к.

УОП Издательства. 454080, г.Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76.

Студенты немеханических специальностей выполняют по механике расчетно-графические задания, включающие задачи по темам, в основном, двух первых частей программы: "Теоретическая механика" и "Сопротивление материалов". Основные разделы третьей части – "ТММ и детали машин" осваиваются при выполнении курсового проекта.

Объем каждого задания устанавливается преподавателем на текущий учебный год с учетом особенностей специальности.

При выполнении заданий следует придерживаться изложенных ниже рекомендаций.

1. Приступая к решению задачи, следует сначала усвоить соответствующий раздел теории по учебникам, пособиям, конспектам лекций, ответить на контрольные вопросы. При необходимости воспользоваться методическими указаниями, приведенными в конце каждой задачи.

2. Сопровождать расчет на всех этапах необходимыми схемами, построением эпюр, выполненных с обязательным соблюдением масштаба. Хорошее графическое оформление не только помогает правильно произвести расчет, но и облегчает контроль правильности решения задачи.

3. Исходные данные к задачам выбираются из таблиц согласно индивидуальному варианту. Вариант определяется номером зачетной книжки или студенческого билета, при этом используется только две последние цифры номера, которым следует поставить в соответствие буквы А и Б.

Например, если номер зачетной книжки 95158, то двум последним цифрам соответствует вариант 58 (А = 5, Б = 8).

Из каждого столбца таблицы с исходными данными, обозначенными внизу буквой А или Б, выбирается только одно число, стоящее в той горизонтальной строке, номер которой совпадает с номером буквы. Так, для задачи 1 исходные данные согласно варианту 58 будут иметь следующие значения, которые следует представить в виде таблицы.

А => 5		Б => 8	
R, м	$\alpha$ , град	$\omega$ , 1/с	№ схемы
1,0	45	2	VIII

Приступая к выполнению задачи 1, студент должен изобразить в масштабе расчетную схему VIII, приняв радиус  $R = 1,0$  м, угол  $\alpha = 45^\circ$ , угловую скорость  $\omega = 2$  1/с. Если в таблицах параметры заданы со знаком минус, то необходимо изменить на схеме их направление на противоположное, после чего знак минус опустить.

Задачи, выполненные по исходным данным, не соответствующим варианту студента, не принимаются.

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

Текстовая часть задания, схемы, расчеты и пояснения оформляют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-95 на одной стороне листа формата А4 (297x210 мм) с оставлением полей: левого 20...25 мм, остальных 5...10 мм.

В начале каждой задачи должны быть приведены: фамилия и инициалы студента (индекс факультета и номер группы); номер задачи; таблица исходных данных; краткий текст условия и перечень искомых величин.

1. Текст задания и пояснительной записки пишут четким почерком чернилами одного цвета (кроме красных и зеленых). Высота букв – не менее 2,5 мм, цифр – 5 мм (ГОСТ 2.304-81). Допускается печать текста на пишущей машинке через 2 интервала или принтере (размер кегля – 12 пунктов).

2. Схемы и рисунки в тексте выполняются черной тушью (чернилами) или мягким простым карандашом с соблюдением стандартов. На схемах и эпюрах должны быть представлены буквенные обозначения размеров, нагрузок и опорных реакций.

3. Решение задачи по возможности выполняют в общем виде. Если расчетная величина определяется по готовой формуле, то недостаточно привести эту формулу и конечный результат, следует показать, как, в каких единицах производится расчет. При этом используется международная система единиц СИ. Расчеты выполняют последовательно, аккуратно в соответствии с требованиями задания, сопровождая их краткими, понятными пояснениями.

Числовой ответ округляют до трех, максимум до четырех значащих цифр (например, 0,0227 м; 1,03 Р; 1,43  $10^m$  и т.д.), так как в инженерных расчетах допускается, как правило, отклонение от нормальных данных в пределах 5%.

4. Линейные размеры, полученные расчетом, следует округлить до ближайшего номинального (допустимого) значения. ГОСТ 6636-69 предусматривает четыре ряда номинальных линейных размеров: Ra5; Ra10; Ra20; Ra40 (см. табл. 19). Предпочтение отдавать рядам с более крупной градацией размеров, то есть ряд Ra20 следует предпочитать ряду Ra40 и т.п.

5. В конце записки приводят список используемой литературы в соответствии с ГОСТ 7.82-81.

6. Пояснительная записка, состоящая из сброшюрованных в альбом листов с решениями задач, включает и титульный лист, который выполняется стандартным шрифтом на плотной бумаге по форме, установленной ГОСТ 2.105-95. Образец титульного листа представлен в приложении 3.

Задания, оформленные с нарушением настоящих указаний или неаккуратно, не принимаются.

## ЗАДАЧИ ДЛЯ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИХ РЕШЕНИЮ

### ЧАСТЬ I. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

#### Кинематика (задачи 1, 2, 3)

Цель раздела – научиться находить скорости и ускорения точек при поступательном, вращательном и сложном движениях твердых тел

#### Задача 1

#### Контрольные вопросы

1. Какие способы задания движения точки существуют? Как определяется скорость точки?
2. Что называется мгновенным центром скоростей? Как определяют скорости точек плоской фигуры?
3. Как формулируется теорема о проекциях скоростей точек плоской фигуры?
4. Что представляет собой план скоростей? Как определяют скорости точек плоской фигуры?
5. Какие движения твердого тела относятся к простейшим? Как определяют скорости и ускорения точек твердого тела при простейших движениях?

#### Условие задачи

Для заданного положения механизма (табл. 1), изображенного на рис. 1, найти угловые скорости звеньев и линейные скорости точек А, В, С, D двумя методами, используя

- 1) мгновенный центр скоростей или теорему о проекциях скоростей,
- 2) план скоростей (графически).

Найти погрешность методов (в %), сравнив модули скоростей точки D.

Таблица 1

№ строки	R, м	$\alpha$ , град	$\omega$ , 1/с	№ схемы
1	0,2	30	1	I
2	0,4	45	2	II
4	0,8	60	4	IV
3	0,6	60	3	III
5	0,8	30	4	VI
6	1,0	45	5	V
7	0,6	45	3	VII
8	0,4	30	2	VIII
9	0,2	60	1	IX
0	1,0	45	5	X
А			Б	

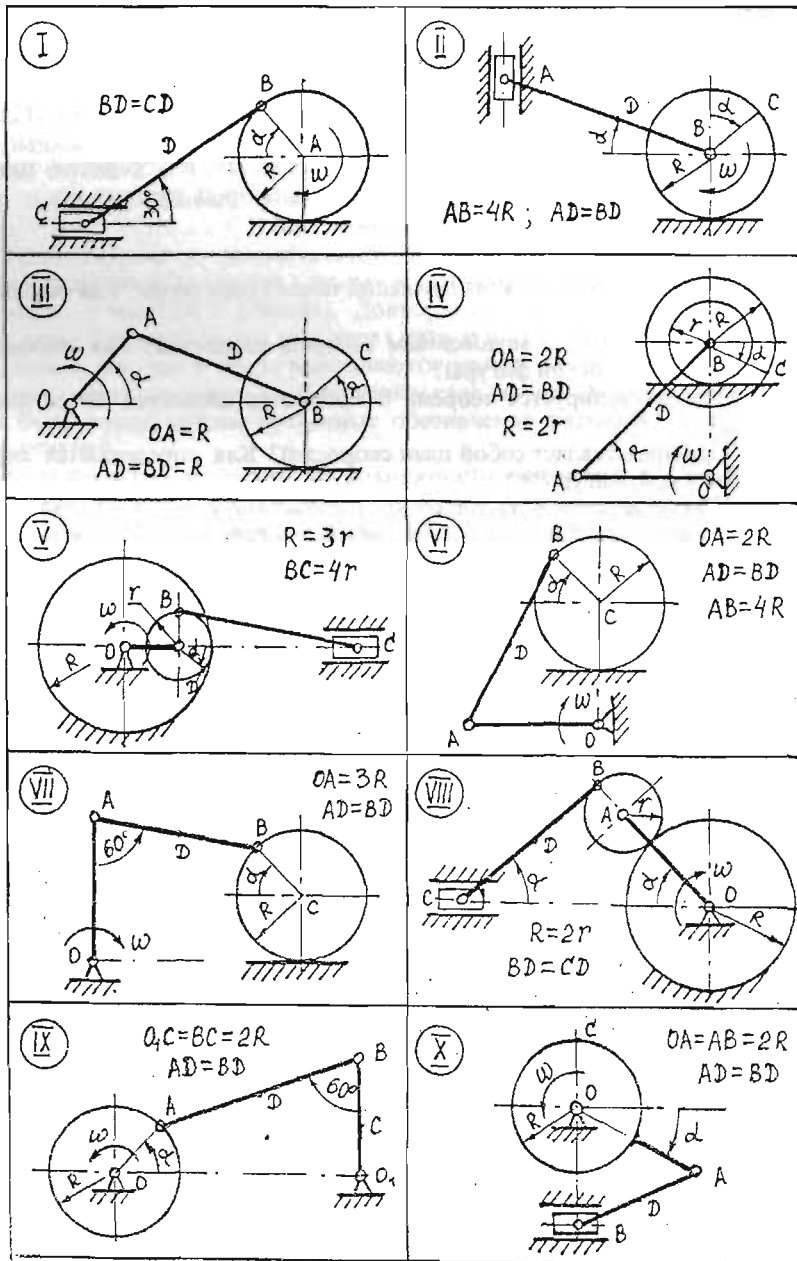


Рис. 1

Алгоритм решения задач по кинематике плоских механизмов

1. Изобразить в масштабе  $\mu_v = l_{AB} / AB$ , где  $l_{AB}$  – длина звена AB, AB – длина отрезка AB на чертеже, механизм в заданном положении.
2. Пронумеровать звенья механизма, начиная со звена, движение которого задано. Определить вид их мгновенного движения.
3. Указать точки сочленения и соприкосновения звеньев и, в первую очередь, найти скорости этих точек.

4. Найти скорости заданных в условии точек, не являющихся точками сочленения и прикосновения.

5. Мгновенный центр скоростей. Для решения задачи скоростей точек механизма необходимо найти его МЦС – точку  $r_k$ . Например, для звена AB (рис.1) точка  $r_k$  будет лежать на пересечении перпендикуляров к скоростям точек A и B сочленения данного звена с другими звеньями.

Зная положение МЦС, можно найти угловую скорость  $\omega_k$ -го звена по формуле

$$\omega_k = V / A r_k,$$

где  $V$  – модуль скорости т.В  $|V_B| = \omega_k B r_k$ , где  $A r_k$  и  $B r_k$  – расстояния соответственно от точек A и B до МЦС (до точки  $r_k$ ).

6. План скоростей. Для нахождения скоростей точек звена AB воспользоваться графическим решением векторного уравнения вида

$$V_B = V_A + V_{BA}$$

где  $V_B$  – искомый вектор скорости точки B;  $V_A$  – вектор скорости точки A, принятой за полюс;  $V_{BA}$  – скорость точки B в относительном вращательном движении вокруг полюса A.

В этом равенстве двумя чертами отмечен вектор, известный по величине и направлению, одной чертой – известные линии по направлению.

Для построения плана скоростей из произвольно выбранного полюса  $p$  в выбранном масштабе  $\mu_v$  откладывается вектор  $V_A$ , на плане скоростей ему соответствует вектор  $V_A$  длиной  $pa = |V_A| / \mu_v$ .

Далее из полюса  $p$  проводим прямую, параллельную вектору скорости точки B, а через конец вектора  $V_A$  проведем прямую перпендикулярную отрезку AB, так как вектор скорости  $V_{BA} \perp AB$ . Пересечение этих двух прямых определит оба искомого вектора

$$|V_B| = \mu_v pb, \quad |V_{BA}| = \mu_v ab.$$

Зная модуль скорости, нетрудно найти угловую скорость звена AB. Скорость любой точки звена AB, например точки D, может быть получена из выражения  $V_D = V_A + V_{DA}$ .

Поскольку направление вектора  $V_{DA}$  перпендикулярно отрезку AB, а его величина  $|V_{DA}| = \omega_{AB} l_{AD} = |V_{BA}| l_{AD} / l_{AB}$ , достаточно из конца вектора  $V_A$  на плане скоростей отложить отрезок длиной  $da = |V_{DA}| / \mu_v$  и соединить его концы с полюсом  $p$ . Полученный вектор представляет вектор скорости точки D, и модуль которого равен величине  $|V_D| = \mu_v pd$ .

Задача 2

Контрольные вопросы

1. Что понимается под сложным движением точки? Что называется относительным, переносным и абсолютным движением точки?
2. Как определяются относительная, переносная и абсолютная скорости при сложном движении точки?
3. Как определить Кориолисово ускорение?
4. Как записывается теорема о сложении ускорений (теорема Кориолиса)?
5. Как записывается теорема о сложении ускорений, если траектория точки в относительном или переносном движении – кривая линия.

Условие задачи

Для заданного положения точки  $C$  ( $\varphi = \varphi(t)$ ,  $OC = S(t)$ ) найти абсолютную скорость и ускорение точки  $C$  в момент времени  $t = t_1$ .

Исходные данные приведены в табл. 2. На рис. 2 стрелками показаны положительные направления отсчета угла  $\varphi$  и координаты  $S$ .

Таблица 2

№ строки	l, м	Уравнения движения		№ схемы	t <sub>1</sub> , с
		пластины	точки C		
		$\varphi = \varphi(t)$ , рад.	$S = S(t)$ , м		
1	0,10	$\pi^1$	$l \cos(\pi t)$	I	0,5
2	0,20	$\pi^2$	$l \cos(\pi t/2)$	II	1,0
3	0,30	$\pi^3$	$l \sin(\pi t)$	III	1,5
4	0,40	$2\pi t$	$l \sin(\pi t/2)$	IV	2,0
5	0,50	$2\pi t^2$	$l[\sin(\pi t) + 1]$	V	1,5
6	0,60	$2\pi t^3$	$l[\sin(\pi t) - 1]$	VI	1,0
7	0,70	$\pi(1-t)$	$l[\cos(\pi t) + 1]$	VII	0,5
8	0,80	$\pi(1-t^2)$	$l[\cos(\pi t) - 1]$	VIII	0,5
9	0,90	$\pi(1-t^3)$	$l[1 - \sin(\pi t)]$	IX	1,5
0	1,0	$\pi \cos(\pi t)$	$l[1 - \cos(\pi t)]$	X	2,0

А

Б

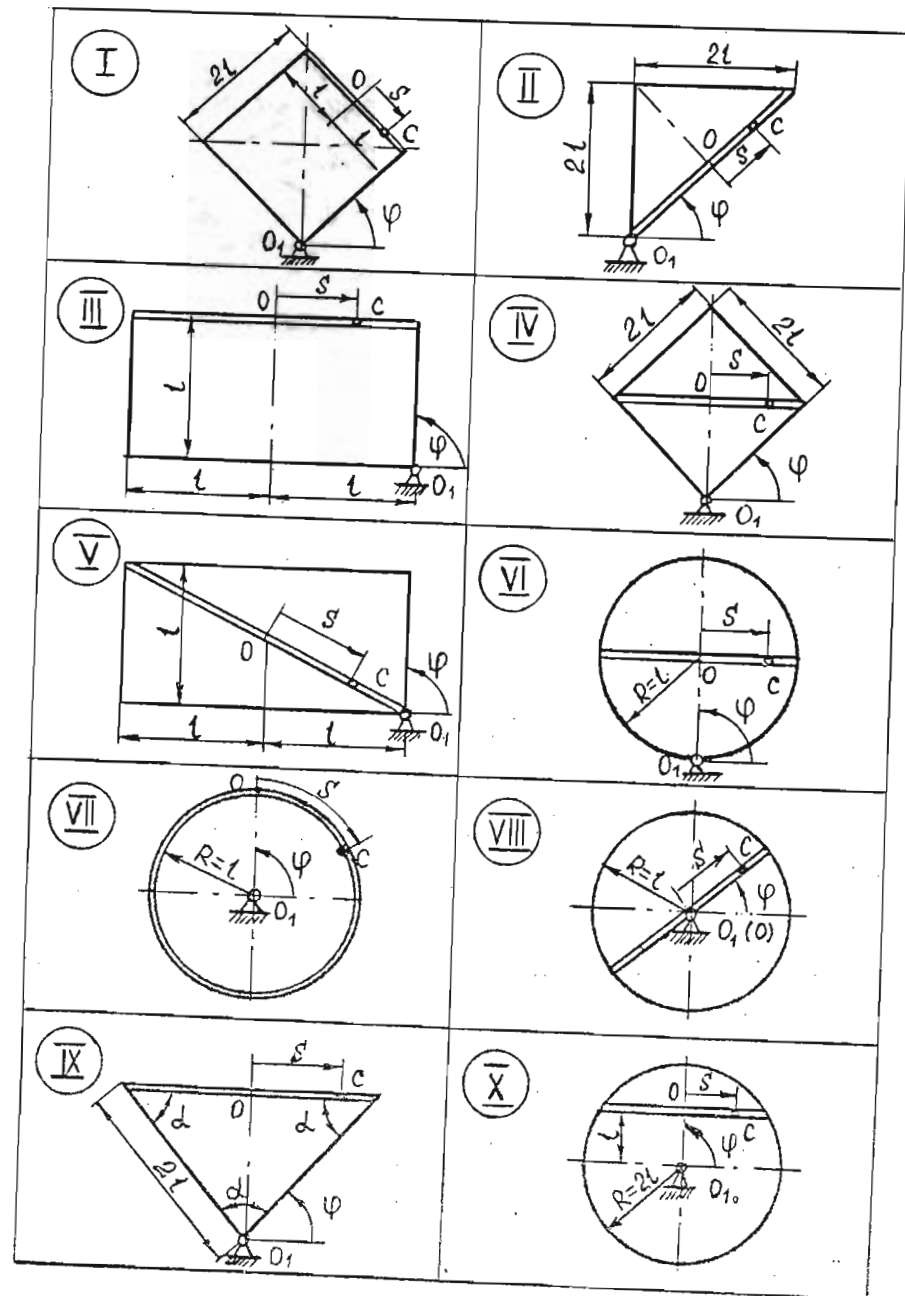


Рис. 2

## Методические указания

### Алгоритм решения задач на сложное движение точки

1. Найти угол  $\varphi$ , характеризующий положение пластины, и смещение  $OS = S(t_1)$  точки  $S$  в момент времени  $t = t_1$ .

2. Изобразить в масштабе  $\mu$  пластину в заданном положении угла  $\varphi$ , а точку  $S$  на расстоянии  $S(t_1)$  от точки  $O$ .

3. Для решения задачи движение точки  $S$  относительно неподвижного основания  $O_1$  нужно представить сложным, для чего следует ввести неподвижную  $X_1O_1Y_1$  (связанную с основанием) и подвижную  $XOY$  (связанную с пластиной) системы отсчета.

4. Определить в момент времени  $t = t_1$  величины и направление относительной скорости  $V_r$  и переносной скорости  $V_e$  точки  $S$ .

5. Определить абсолютную скорость точки  $S$  из теоремы сложения скоростей  $V_a = V_r + V_e$  (1)

6. Определить в момент времени  $t = t_1$  величины и направления относительного  $a_r$ , переносного  $a_e$  и кориолисового  $a_k$  ускорения точки  $S$ .

7. Определить абсолютное ускорение точки  $S$  из теоремы сложения ускорений (теорема Кориолиса)  $a_a = a_r + a_e + a_k$  (2)

8. Если траектория точки в относительном или переносном движении криволинейные, то ускорения точки в каждом из этих движений необходимо раскладывать на нормальные и касательные.

9. Для определения направления добавочного ускорения Кориолиса точки  $S$  вектор относительной скорости  $V_r$  повернуть на  $90^\circ$  в сторону вращения подвижной системы отсчета. Модуль ускорения Кориолиса равен удвоенному произведению угловой скорости подвижной системы отсчета на линейную скорость относительного движения точки  $S$ .

10. Для нахождения векторов абсолютной скорости и абсолютного ускорения точки необходимо проецировать векторные уравнения (1) или (2) на выбранные координатные оси и по теореме Пифагора найти равнодействующий вектор по его составляющим.

### Задача 3

#### Контрольные вопросы

1. Что называется поступательным движением твердого тела: как определяются скорости и ускорения при поступательном движении тела?

2. Какое движение твердого тела называется вращательным? Как определяются угловые и линейные скорости точек тела при вращательном движении?

3. Как определяются ускорения твердого тела и линейные ускорения точек при вращательном движении?

4. Сложное движение точки. Относительная, переносная и абсолютная скорости точки.

5. Как определяются относительное, переносное, кориолисово и абсолютное ускорения точки?

#### Условие задачи

Для заданного положения кулисного механизма (табл.3, рис. 3), найти скорость и ускорение точки  $S$ , если кривошип  $OA$  вращается с постоянной угловой скоростью  $\omega$ .

Принять  $OA = l$ .

Таблица 3

№ строки	$l, м$	$\varphi$ , град	$\omega$ , 1/с	№ схемы
1	0,2	0	1	I
2	0,3	30	2	II
3	0,4	45	3	III
4	0,5	60	4	IV
5	0,6	90	5	V
6	0,5	120	6	VI
7	0,4	150	7	VII
8	0,3	180	8	VIII
9	0,2	270	9	IX
0	0,6	300	2	X
А			Б	

#### Методические указания

##### Алгоритм решения задач на сложное движение твердого тела

1. Изобразить в масштабе  $\mu$  механизм в заданном положении угла  $\varphi$  (табл.3).

2. Для решения задачи движение ползуна  $A$  относительно неподвижного основания  $O_1$  (или  $O$ ) нужно представить сложным, для чего следует ввести неподвижную  $XOY$  (связанную с основанием) и подвижную  $X_1O_1Y_1$  (связанную с кулисой  $O_1C$ ) систему отсчета.

3. Решить задачу скоростей. Для этого определить величины и направление относительной  $V_r$  и переносной скорости  $V_e$  ползуна  $A$ , разложив абсолютную скорость точки  $A$  на составляющие.

4. Определить величину угловой скорости кулисы  $O_1C$  из соотношения  $\omega_{O_1C} = \omega_e = V_e / O_1A$  найти линейную скорость точки  $S$ .

5. Решить задачу ускорений. Для этого найти абсолютное ускорение ползуна  $A$ , по принадлежности точки  $A$  к кривошипу  $OA$ , из выражения  $a_A = a_A^n + a_A^t$ .

6. Разложить абсолютное ускорение ползуна  $A$  на составляющие ускорения (переносное, относительное и кориолисово)  $a_a = a_r + a_e + a_k$ .

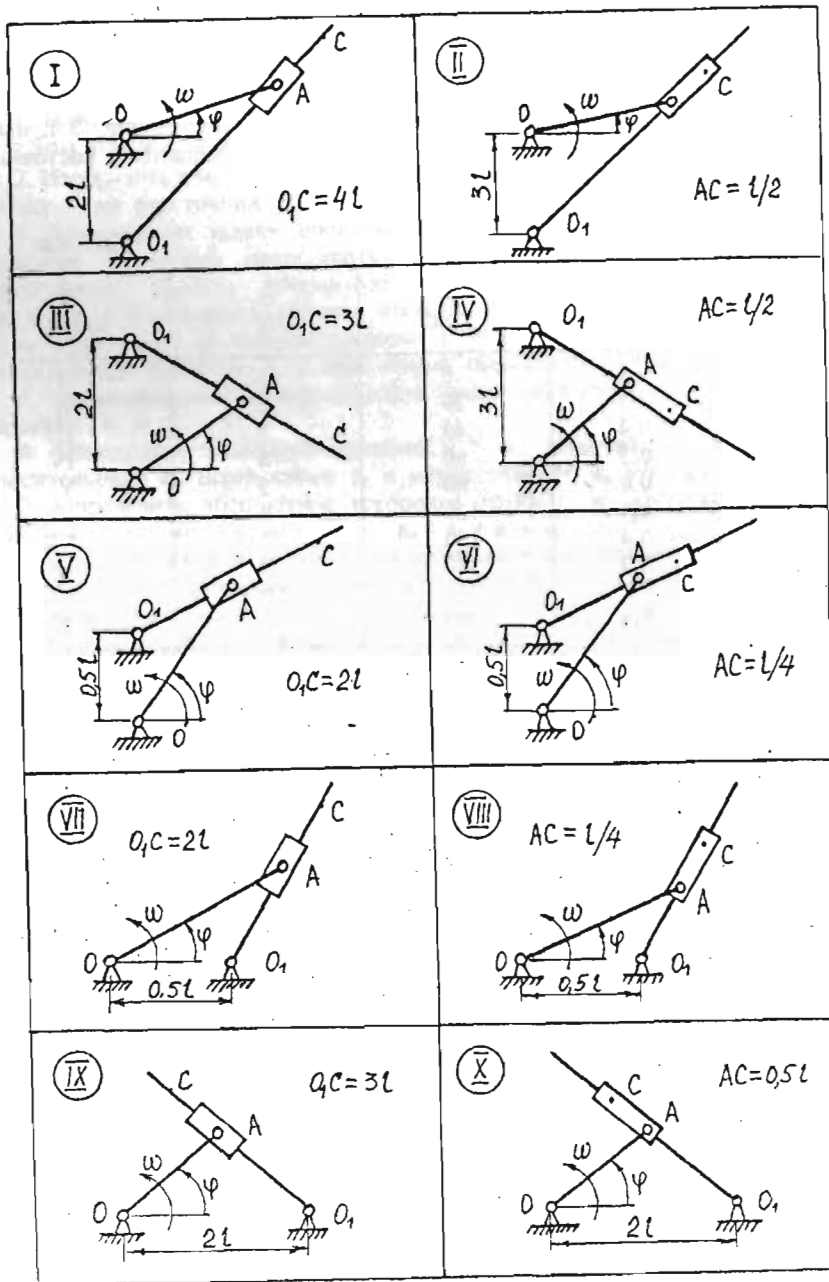


Рис. 3

7. Спроецировать это векторное уравнение на координатные оси и найти величину переносного линейного касательного ускорения.

8. Найти угловое ускорение кулисы  $O_1C$  и определить линейное ускорение точки  $C$ .

Статика (задачи 4, 5)

Цель раздела – научиться определять реакции опор твердых тел для системы сходящихся сил и произвольной системы сил.

Задача 4

Контрольные вопросы

1. Запишите аксиомы статики.
2. Какие уравнения равновесия и сколько их можно записать для плоской системы сходящихся сил?
3. В чем различие между равнодействующей и главным вектором системы сил?
4. Что называется моментом силы относительно точки и оси?

Условие задачи

К шарниру  $B$  шарнирно-стержневой конструкции  $ABC$  присоединены две нити с грузами  $F_1$  и  $F_2$  на концах (рис. 4). Одна из нитей перекинута через блок  $D$ . Определить продольные силы в стержнях и реакцию опоры  $D$ .

Исходные данные приведены в табл. 4.

Таблица 4

№ строки	$F_1/P$	$\alpha$ , град	$F_2/P$	$\beta$ , град	№ схемы
1	1	30	3	45	I
2	2	45	2	30	II
3	3	60	2	60	III
4	4	90	3	90	IV
5	5	30	4	60	V
6	4	45	3	45	VI
7	3	60	2	30	VII
8	2	90	4	0	VIII
9	1	30	3	30	IX
0	3	45	1	45	X
А			Б		



### Методические указания

Алгоритм решения задач по статике для системы сходящихся сил

1. Изобразить стержневую конструкцию ABC в масштабе  $dl$ , откладывая от шарнира B значения углов  $\alpha$  и  $\beta$  (табл.4), представив силы в долях P. Весом стержней пренебречь.

2. Указать связи, наложенные на блок D и узел B; заменить их реакциями и усилиями в стержнях.

3. Записать уравнения равновесия для блока D и узла конструкции в отдельности, из которых вначале найти натяжение нити и реакции опоры D, а затем продольные силы в стержнях AB и BC.

Задача 5

### Контрольные вопросы

1. Что называется главным вектором и главным моментом системы сил относительно центра?

2. В чем состоят необходимые и достаточные условия равновесия плоской системы произвольно расположенных сил?

3. Приведите различные формы уравнений равновесия для плоской системы произвольно расположенных сил.

### Условие задачи

На брус (табл. 5, рис. 5) действует сила  $F_1$  и пара сил с моментом M. К брусу прикреплена нить, перекинутая через блок D, на свободном конце которой подвешен груз весом  $F_2$ .

Определить реакции опор A, B и D, выразив их через параметр P. Весом бруса пренебречь.

Таблица 5

№ строки	$F_1/P$	$l_1/l$	$\alpha$ , град	$F_2/P$	$M/P$	$l_2/l$	$\beta$ , град	№ схемы
1	2	0,5	45	3	2	1,0	30	I
2	1	1,0	60	2	3	1,5	45	II
3	3	1,5	45	2	1	0,5	60	III
4	4	1,0	60	3	2	1,5	75	IV
5	5	0,5	30	4	1	2,0	30	V
6	2	0,5	60	3	3	1,5	60	VI
7	4	1,0	45	2	2	1,0	45	VII
8	3	1,5	60	4	3	1,5	60	VIII
9	1	0,5	45	3	4	2,0	30	IX
0	2	1,5	60	1	2	0,5	0	X
А				Б				

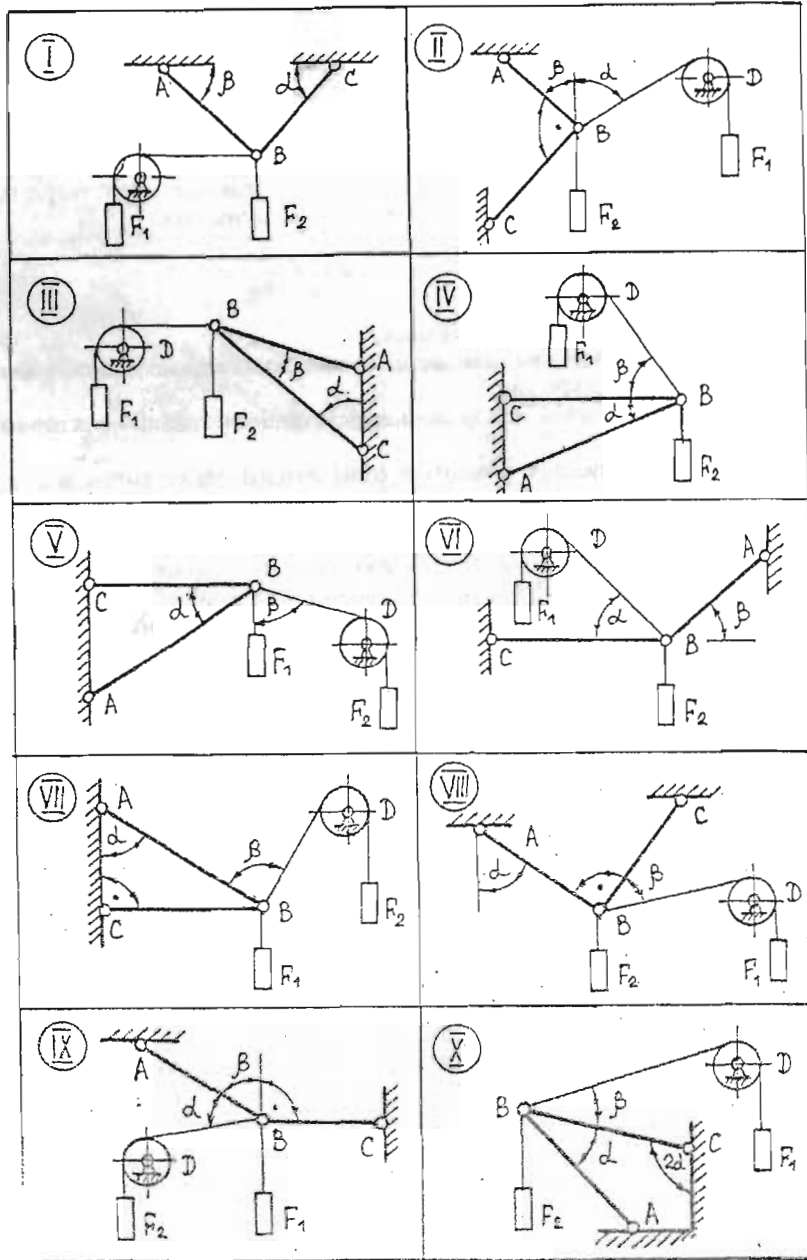


Рис. 4

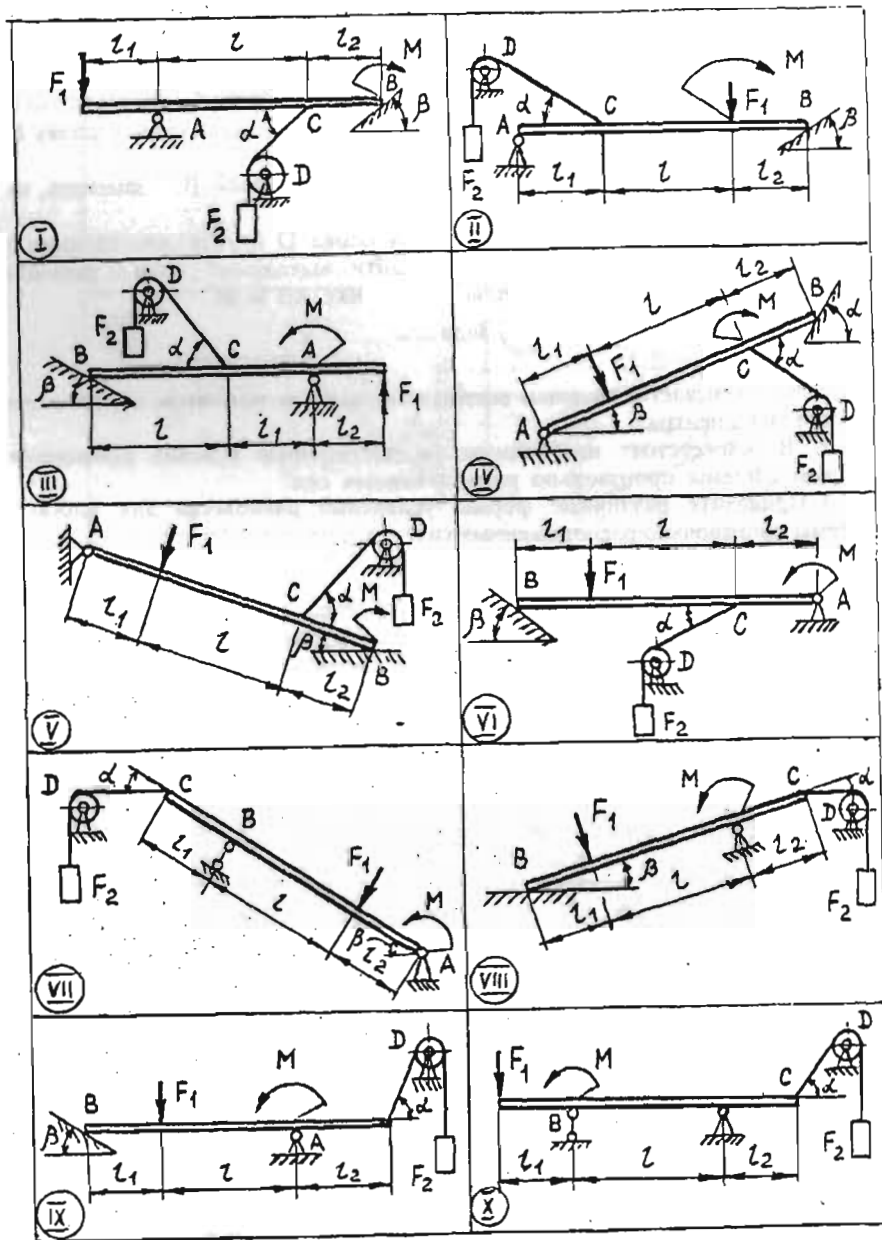


Рис. 5

### Методические указания

Алгоритм решения задач по статике для произвольной системы сил

1. Изобразить в масштабе  $\mu$  расчетную схему бруса, представив длину участков в долях  $l$ , силы в долях  $P$ , момент в долях  $P_l$ . Весом бруса пренебречь.

2. Выписать заданные (активные) силы, приложенные к брус.

3. Указать связи, наложенные на брус и блок  $D$ , заменить их реакциями.

4. Записать уравнения равновесия для блока и бруса в отдельности, из которых найти вначале натяжение нити, а затем реакции опор бруса.

5. Проверить значения реакций опор, записав уравнение равновесия для всей механической системы.

Чтобы процесс вычислений был наиболее простым и каждое из уравнений содержало минимальное число неизвестных, координатные оси следует направлять перпендикулярно некоторым из неизвестных сил. За центр момента следует брать точку, в которой пересекаются линии действия наибольшего числа неизвестных сил.

При вычислении момента, силы натяжения нити и реакции опоры удобнее разложить на составляющие, для которых плечи легко определяются.

Если в результате решения модули каких-либо сил окажутся отрицательными, то это означает, что действительное направление этих сил противоположно показанному на расчетной схеме.

### Динамика (задачи 6, 7, 8)

Цель раздела – научиться определять скорости и ускорения, используя теорему об изменении кинетической энергии в интегральной и дифференциальной формах для механической системы, научиться находить условия равновесия механической системы (механизма), используя принцип Даламбера и возможных перемещений (возможных скоростей).

### Задача 6

#### Контрольные вопросы

1. Как сформулировать две основные задачи динамики, способы их решения?

2. Как записать теорему об изменении количества движения материальной точки?

3. Как вычислить работу и мощность силы при различных способах задания движения точки?

4. Как записывается теорема об изменении кинетической энергии механической системы?

5. Принцип Даламбера. Как определяются реакций связи при несвободном движении материальной точки?

Условие задачи

Механическая система (табл. 6, рис. 6), состоящая из груза 1, однородного блока 2 и катка 3, соединенных между собой нерастяжимой нитью, приходит в движение из состояния покоя.

Найти:

1. Скорость точки С центра катка в момент, когда груз 1 переместится на расстояние  $S = 1$  м.
2. Натяжение ветвей нити.
3. Значение момента  $M_1$  при котором механизм находится в равновесии. Трением в подшипнике В, а также между грузом 1 и основанием пренебречь.

Таблица 6

№ строки	$G_1/G$	$G_2/G$	$R_2/R$	$G_3/G$	$M_1/GR$	$R_3/R$	$\alpha$ град	№ схемы
1	1,5	2,0	2,0	4,0	2,5	1,0	45	I
2	2,0	2,5	2,5	5,0	1,5	1,5	30	II
3	2,5	3,5	3,0	3,0	2,0	2,0	45	III
4	3,0	1,0	3,5	4,5	1,0	2,5	60	IV
5	1,0	2,0	4,0	2,5	1,5	3,0	60	V
6	1,5	2,0	1,0	3,5	1,5	3,5	30	VI
7	2,0	2,5	1,5	6,0	1,0	1,0	45	VII
8	2,5	3,0	2,0	4,0	1,0	1,5	60	VIII
9	3,5	3,5	2,5	5,0	2,0	2,0	30	IX
0	1,5	4,0	3,0	1,0	1,0	2,5	30	X

А

Б

Методические указания

Алгоритм решения задач по динамике

1. Изобразить механизм.
2. Выделить механическую систему, движение которой подлежит рассмотреть.
3. Показать заданные силы - внешние (активные) и реакции связей, действующие на механическую систему.
4. пронумеровать звенья механизма и определить вид движения каждого звена.
5. Записать кинетическую энергию каждого звена.
6. Найти работу, совершаемую внешними и внутренними силами на заданном перемещении.
7. Из теоремы об изменении кинетической энергии (в интегральной форме) определить скорость центра катка С.
8. Из теоремы об изменении кинетической энергии (в дифференциальной форме) определить ускорение груза А.

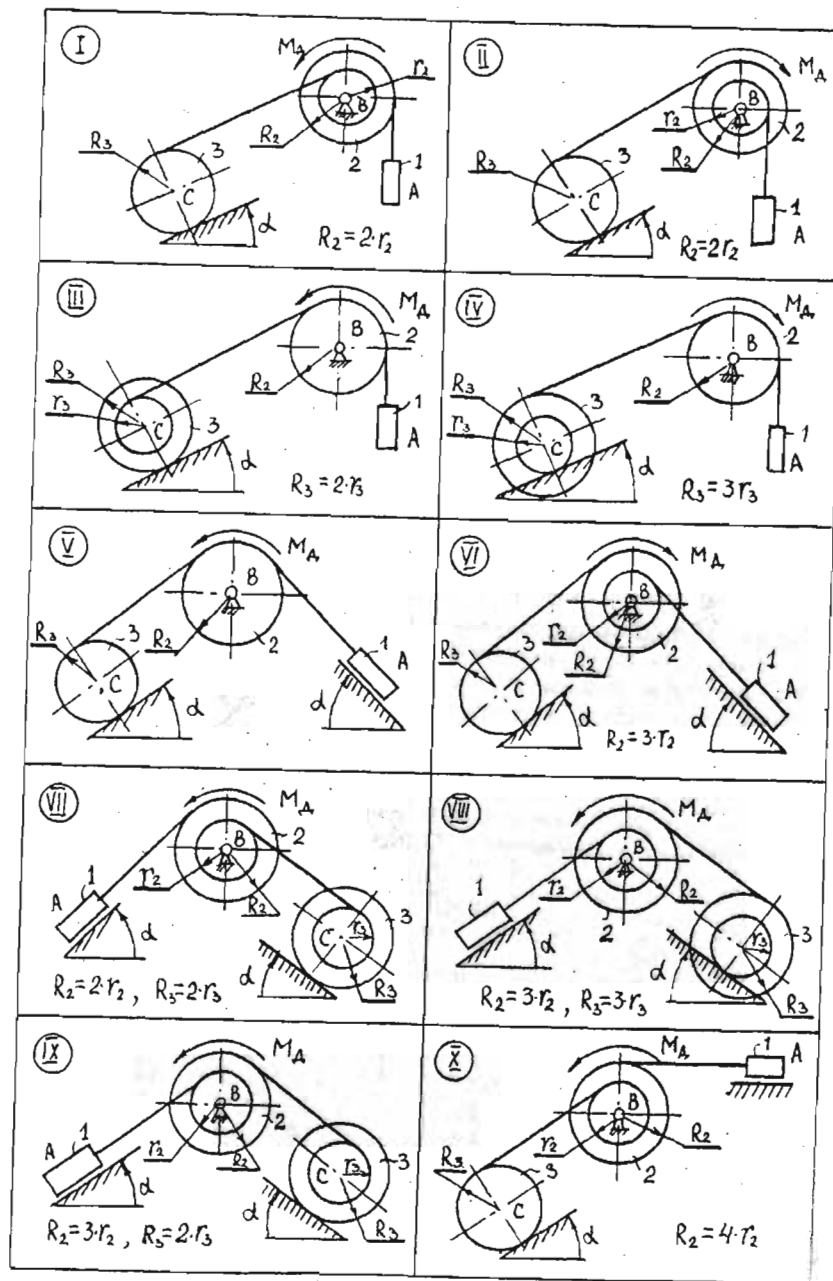


Рис. 6

9. Для нахождения натяжения троса воспользоваться принципом Даламбера.

10. Применяя принцип Даламбера, приложить к механической системе силы инерции и моменты пар сил инерции.

11. Расчленить механическую систему на груз А, блок В и часть нити, заменить отброшенные части натяжением ветвей нити и записать уравнения равновесия для выделенных частей в отдельности, найти натяжение ветвей нити.

12. Для нахождения момента  $M_d$ , при котором механическая система находится в равновесии, использовать принцип возможных перемещений. Для этого:

- сообщить системе возможные перемещения и показать на схеме (рис. 6) элементарные перемещения  $\delta S_j$  точек приложения сил  $F_j$  или углы  $\delta\varphi$  элементарных поворотов тел, к которым приложены моменты пар сил  $M_i$ ;
- записать сумму элементарных работ всех сил и моментов и приравнять нулю;
- записать сумму работ всех сил и моментов на возможных смещениях;
- из кинематических соотношений найти зависимость между  $\delta S_j$  и  $\delta\varphi$ ;
- найти момент  $M_d$ .

#### Задача 7

#### Контрольные вопросы

- Что понимается под идеальными связями и возможными перемещениями?
- В чем заключается принцип возможных перемещений?
- Как записать принцип возможных скоростей?
- Что такое связи: голономные, удерживающие, нестационарные?

#### Условие задачи

Механизм, изображенный на рис. 7, нагружен силой  $P$  и парой сил с моментом  $M$  (табл. 7). Пренебрегая трением, найти модуль силы  $F$ , при которой механизм находится в равновесии. Принять  $OA = 1$ .

Таблица 7

№ строки	$L/l$	$M/P$	$\varphi$ , град	№ схемы
1	0.5	0.5	30	I
2	1.0	1.0	30	II
3	1.5	1.5	45	III
4	2.0	1.5	45	IV
5	2.5	2.0	60	V
6	3.0	2.5	45	VI
7	3.5	3.0	45	VII
8	4.0	3.5	60	VIII
9	4.5	4.0	30	IX
0	5.0	4.5	60	X
А			Б	

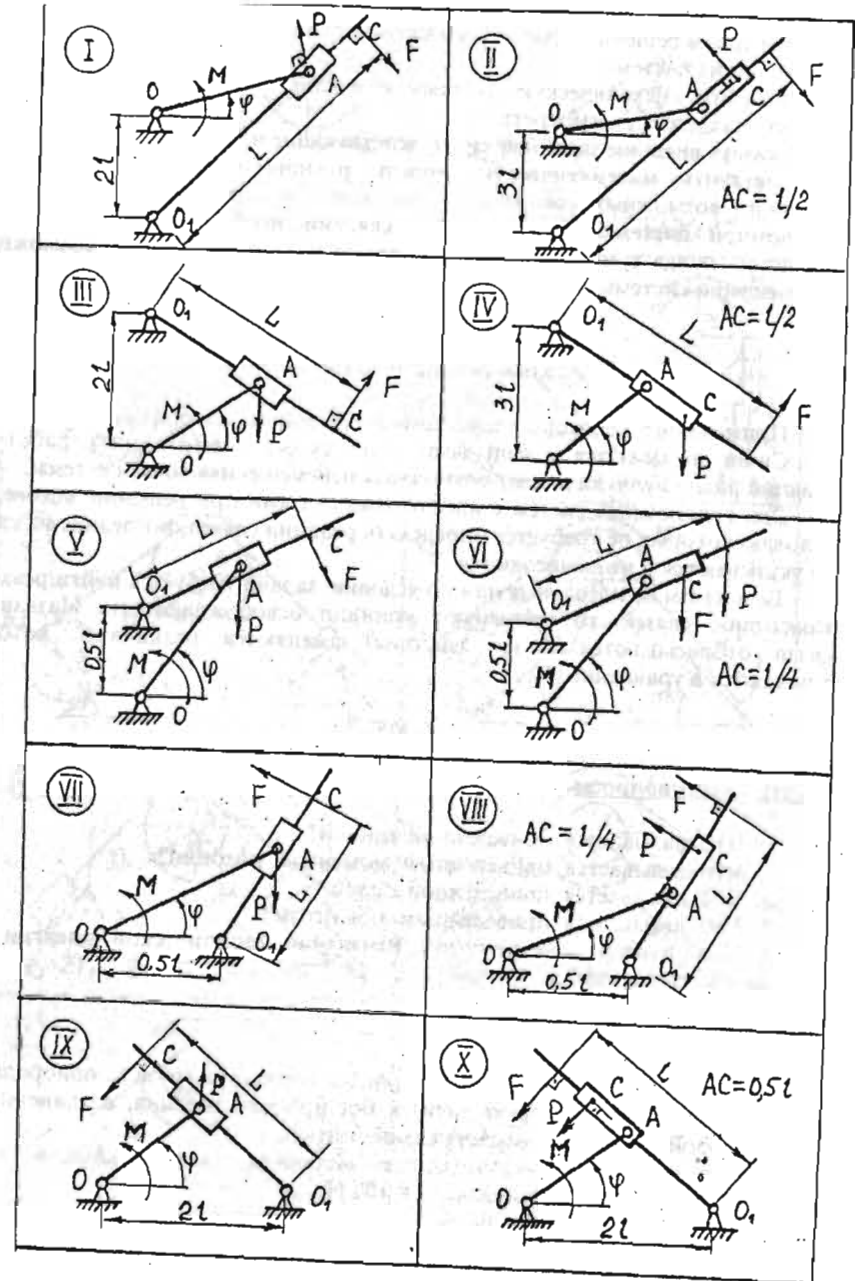


Рис. 7

### Методические указания

Алгоритм решения задач по обобщенному условию равновесия механических систем.

Выделить механическую систему с идеальными связями, равновесие которой надлежит рассмотреть.

Указать внешние заданные силы, действующие на механическую систему.

Составить математическую модель равновесия системы, используя принцип возможных скоростей, согласно которому для равновесия голономной системы с идеальными связями необходимо и достаточно равенство нулю суммы мощностей заданных сил на любом возможном перемещении системы.

$$\sum N_i = 0 \Rightarrow \sum \vec{F}_i \cdot \vec{V}_i = 0, \quad (3)$$

где  $\left\{ \vec{V}_i = \frac{\delta \vec{r}_i}{dt} \right\}$  – возможные скорости точек системы.

Примечание: некоторые пояснения к указанному алгоритму.

Связи называются идеальными, если сумма элементарных работ их реакций равна нулю на любых возможных перемещениях точек системы.

Для голономных систем с идеальными связями при решении задачи, по условию которых не требуется определять реакции связей, последние на схеме не указываются и не вычисляются.

Если связи не идеальные или по условию задачи требуется найти реакции каких-либо связей, то применяют принцип освобождаемости. Названные связи отбрасываются и их действия заменяются реакциями, которые включаются в уравнение (3).

### Задача 8

#### Контрольные вопросы

1. Что называется приведенной массой?
2. Что называется приведенным моментом инерции?
3. Что называется приведенной силой?
4. Что называется приведенным моментом?
5. Как записать теорему об изменении кинетической энергии для динамической модели?

#### Условие задачи

Механическая система (табл.8, рис.8) состоит из груза 1, однородных блока 2 и катка 3, который катится без проскальзывания, соединенных между собой невесомой нерастяжимой нитью.

Построить динамическую модель механизма, взяв в качестве точки приведения точку А. Принять  $G = 100 \text{ Н}$ .

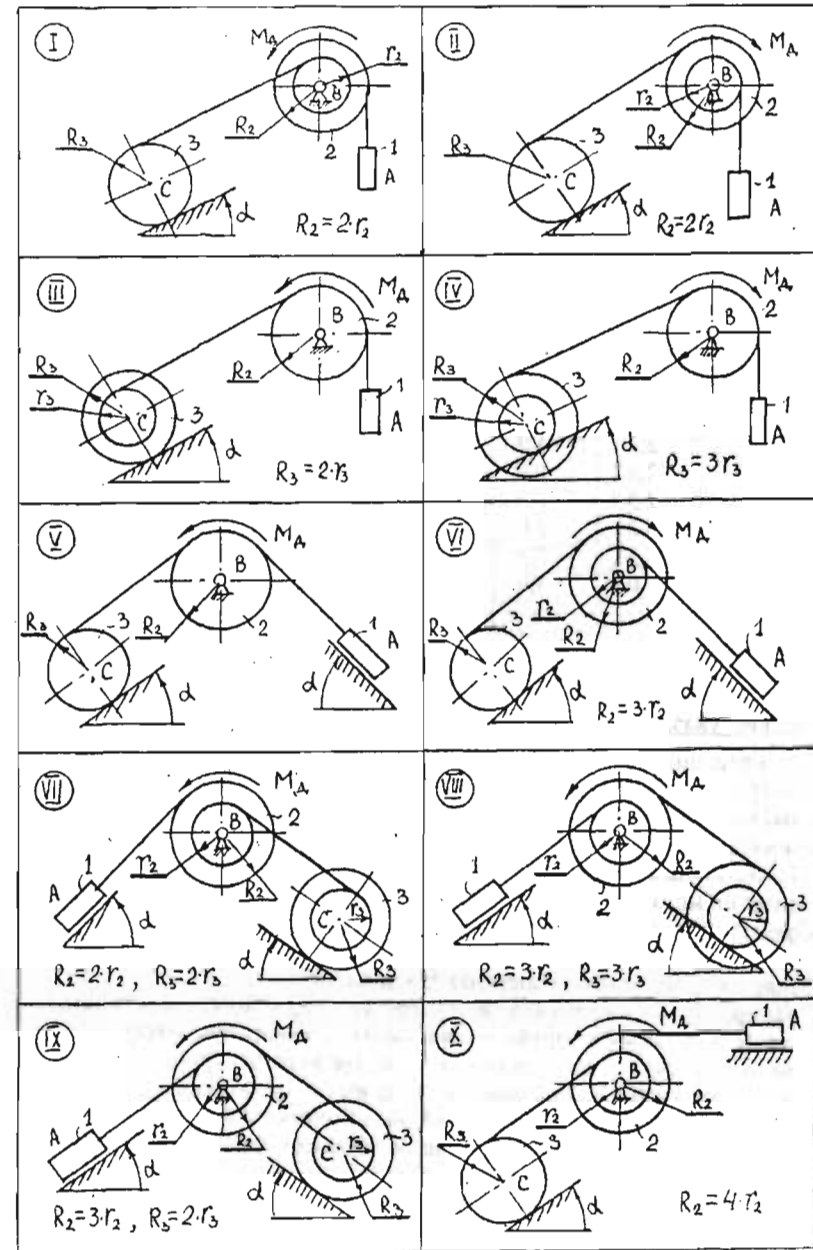


Рис. 8

Найти

1. Приведенную массу,
  2. Приведенные силы двигателя и силы сопротивления,
  3. Величину скорости точки А в момент, когда эта точка из состояния покоя переместится на расстояние  $S = 2$  м.
- Трение в подшипнике В, а также между грузом I и основанием пренебречь.

Таблица 8

№ строки	$G_1/G$	$G_2/G$	$R_2/R$	$G_3/G$	$M_d/GR$	$R_3/R$	$\alpha$ град	№ схемы
1	1,5	2,0	2,0	4,0	2,5	1,0	45	I
2	2,0	2,5	2,5	5,0	1,5	1,5	30	II
3	2,5	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	45	III
4	3,0	1,0	3,5	4,5	3,0	2,5	60	IV
5	1,0	2,0	4,0	2,5	1,5	3,0	60	V
6	1,5	2,5	1,0	3,5	3,5	3,5	30	VI
7	2,0	2,5	1,5	6,0	2,0	1,0	45	VII
8	2,5	2,0	2,0	4,0	2,5	1,5	60	VIII
9	3,5	1,5	2,5	5,0	2,0	2,0	30	IX
0	1,5	1,0	3,0	1,0	3,0	2,5	30	X
А				Б				

Методические указания

Алгоритм решения задач по построению динамической модели механизма

1. Изобразить механизм.
2. Выделить механическую систему, движение которой надлежит рассматривать.
3. Показать заданные силы – внешние (активные) и реакции связей, действующие на механическую систему.
4. Пронумеровать звенья механизма и определить вид движения каждого звена.
5. Записать кинетическую энергию каждого звена.
6. Приравнять кинетическую энергию механической системы к кинетической энергии звена приведения и найти приведенную массу.
7. Записать мощность всех сил и моментов, действующих на механическую систему и приравнять мощности приведенных сил (силы двигателя и сил сопротивления), приложенных к звену приведения.
8. Найти работу, совершаемую приведенными силами на заданном перемещении.
9. Из теоремы об изменении кинетической энергии ( в интегральной форме ) динамической модели определить скорость точки А.

Цель решения задач 9 – 11: освоить методы расчета стержней на прочность по наибольшим напряжениям при простых видах нагружения.

Задача 9

Контрольные вопросы

1. Что называется напряжением в точке тела? Как распределяются напряжения в поперечном сечении растянутого (сжатого) стержня, как они определяются?
2. Как формулируется закон Гука при растяжении (сжатии)? Когда он справедлив?
3. Какие основные характеристики прочности материала получают при испытании образцов на растяжение?
4. Как записывается условие прочности при расчете по допускаемым напряжениям?
5. Что называется фактическим и нормативным коэффициентом запаса прочности?

Условие задачи

К консольному стержню (рис.9) переменного сечения приложены продольные силы. Построив эпюры нормальной силы и нормальных напряжений, определить из условия прочности допустимое значение параметра нагрузки Р. При найденном значении Р вычислить перемещение свободного конца стержня.

Принять: площадь поперечного сечения  $A = 2 \text{ см}^2$ ; длину  $l = 20 \text{ см}$ ; нормативный коэффициент запаса прочности  $[n] = 2$ .

Остальные данные взять из табл. 9 и 18.

Таблица 9

№ строки	$F_1/P$	$F_2/P$	$l_1/l$	$F_3/P$	$l_2/l$	№ схемы	Материал
1	1	1	1,0	1,5	2,0	I	Сталь 40X
2	-1	2	1,5	-1,5	1,0	II	Сталь 45
3	2	3	2,0	2,5	1,5	III	Сплав Д16
4	-2	-1	2,5	-2,5	1,0	IV	Сталь 40X
5	3	-2	1,0	3,5	1,5	V	Сплав АЛ4
6	-3	-3	2,0	-3,5	2,0	VI	Сталь 5
7	1	1	1,5	1,5	2,5	VII	Сплав ВТ3
8	-1	2	1,0	2,5	1,5	VIII	Латунь Л68
9	2	3	2,0	3,5	1,0	III	Сталь 20
0	-2	4	1,5	4,0	2,0	IV	Сталь 20XH
А				Б			

Методические указания

1. Изобразить с соблюдением масштаба расчетную схему стержня, выразив длины всех участков в долях  $l$ , приложить силы  $F_1, F_2, F_3$  в долях  $P$ . Если какая-либо сила по данным табл. 9 окажется отрицательной, необходимо изменить направление этой силы на противоположное.

2. Построить эпюру нормальных сил – ЭН. Для этого необходимо применить метод сечений на каждом участке стержня и рассматривая равновесие сил, приложенных к отсеченной части, определить значения нормальных сил ( в долях  $P$  ).

3. С учетом ЭН определить на каждом участке нормальные напряжения и построить ( в долях  $P/A$  ) эпюру напряжений – Э $\sigma$ . ЭН и Э $\sigma$  следует последовательно располагать под расчетной схемой стержня.

4. Для наиболее опасного сечения – сечения с наибольшим ( по модулю ) напряжением – записать условие прочности и определить допустимое значение параметра нагрузки  $P$ .

5. При найденном значении  $P$  определить перемещение свободного конца стержня. Для этого необходимо учесть ( в долях  $P/Ea$  ) деформации каждого участка, начиная от заделки. Подставив в полученное выражение численные значения физических величин, вычислить искомое перемещение. Ответ дать в мм.

Задача 10

Контрольные вопросы

1. В чем сущность метода сечений, каков порядок операций при его использовании для определения внутренних силовых факторов?
2. Какой внутренний силовой фактор возникает в поперечном сечении стержня при растяжении ( сжатии )?
3. Как определяется допускаемое напряжение при расчете на прочность стержней, изготовленных из пластичных или хрупких материалов?
4. Как определить фактический запас прочности?

Условие задачи

Для одной из плоских стержневых систем, изображенных на рис.10а, требуется:

- 1) определить усилия в стержнях ( в долях  $ql$  );
- 2) из расчета на прочность найти площади поперечных сечений стержней;
- 3) считая, что каждый стержень состоит из двух одинаковых равнополочных уголков ( рис.10б ), подобрать по ГОСТ 8509-72 соответствующий номер профиля.

Принять: материал – сталь Ст. 5; нормативный коэффициент запаса прочности  $[n] = 1,4$ ; длину  $l = 0,5$  м; интенсивность распределенной нагрузки  $q = 200$  кН/м. Остальные данные взять из табл.10.

Примечание: 1. Стержни, изображенные двойными линиями, считать абсолютно жесткими и на прочность не рассчитывать;

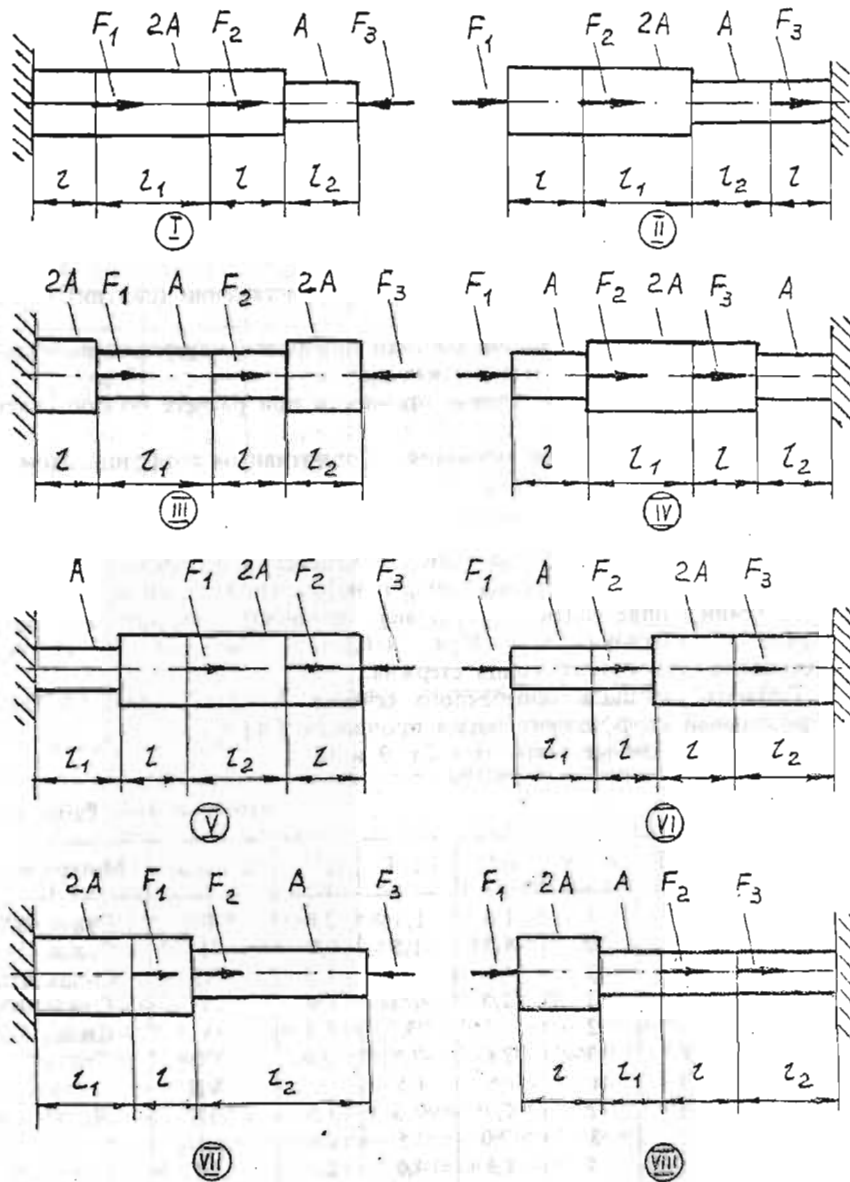


Рис. 9

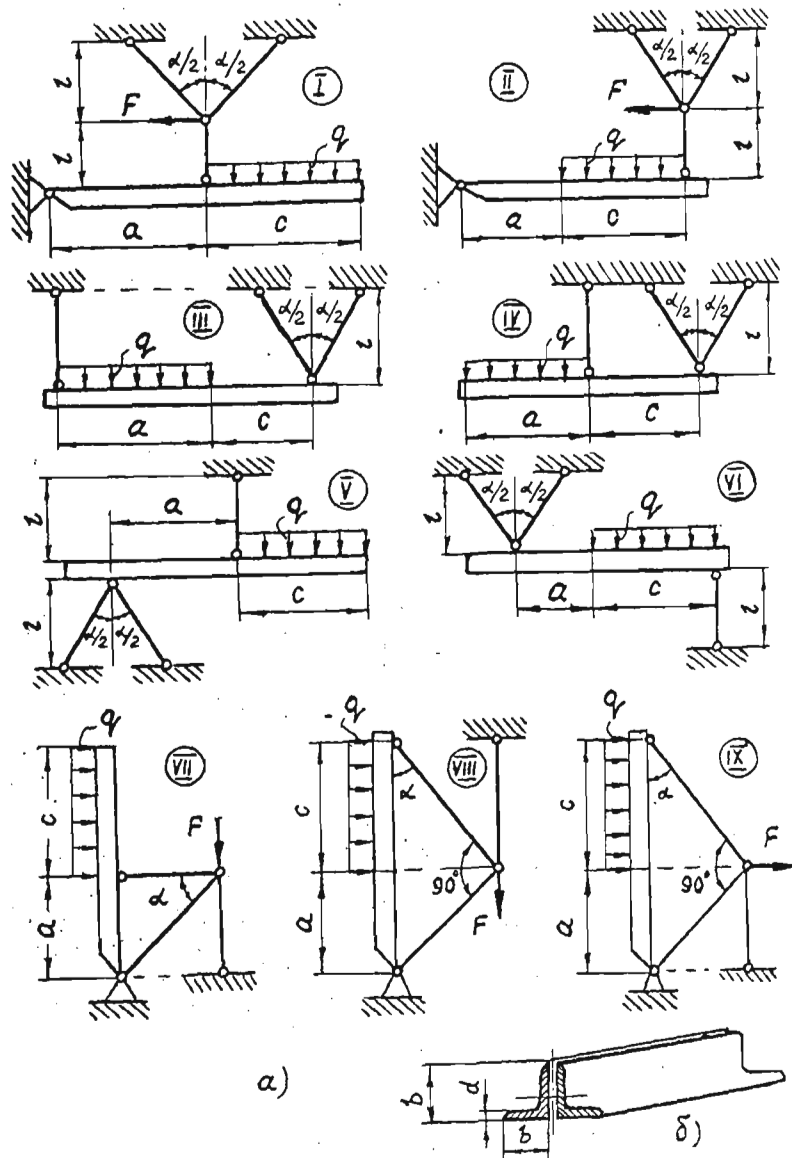


Рис. 10

2. Возможность потери устойчивости сжатых стержней пренебречь.

Таблица 10

№ строки	o/l	c/l	$\alpha$ , град	F/gl	№ схемы
1	1,0	2,0	60	0,4	I
2	1,2	1,6	90	0,6	II
3	2,0	1,2	45	-	III
4	1,6	1,2	60	-	IV
5	1,8	2,0	90	-	V
6	2,0	1,0	60	-	VI
7	1,8	2,0	45	0,8	VII
8	1,6	2,0	30	1,0	VIII
9	1,4	1,2	60	0,2	IX
0	2,2	1,6	90	0,3	I
А			Б		

Методические указания

1. Изобразить расчетную схему стержневой системы, выразив длины участков через параметр  $l$ , приложив силу  $F$  в долях  $ql$ .

2. Используя метод сечений, определить усилия в стержнях ( в долях  $ql$  ). Для этого сначала целесообразно рассмотреть равновесие отсеченной части, содержащей абсолютно жесткий брус, затем ( для схем I, II, VII, VIII, IX ) вырезать узел, в котором сходятся три стержня и, записав условия равновесия, найти нормальные силы в этих стержнях.

3. Из условия прочности каждого  $i$ - того стержня найти площади стержней  $A_i$ .

4. Учитывая, что каждый стержень состоит из двух равнобоких уголков ( рис. 10б ), подобрать номер профиля для каждого стержня. Для этого найденную площадь  $A_i$  разделить пополам и по этой величине в сортаменте прокатной стали - "Сталь прокатная уголкового равнополочная" ГОСТ 8509-72 выбрать необходимый профиль.

Задача 11

Контрольные вопросы

1. Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечном сечении балки при чистом и поперечном изгибе ?
2. Как распределяются нормальные напряжения в поперечном сечении балки при чистом изгибе ?
3. Где возникают и как определяются наибольшие нормальные напряжения в поперечном сечении ?
4. Какие геометрические характеристики сечения используются для определения нормальных напряжений при изгибе ?



5. Запишите условие прочности при изгибе.  
 6. Какие формы сечения балки являются рациональными и почему?

Условие задачи

Для стальной балки (рис. 11а) из расчета на прочность по наибольшим нормальным напряжениям подобрать размеры поперечных сечений трех типов (рис. 11 б): 1 – двутавровое; 2 – прямоугольное с отношением высоты к основанию  $h/b = 2$ ; 3 – круглое сечение.

Вычертить найденные сечения в одном масштабе (можно наложить их друг на друга) и найти соотношение весов соответствующих балок.

Принять: интенсивность поперечной распределенной нагрузки  $q = 50 \text{ кН/м}$ ; длину  $l = 40 \text{ см}$ ; допускаемые нормальные напряжения  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ . Остальные данные взять из табл. 11

Таблица 11

№ строки	$l_1/l$	$F/ql$	$l_2/l$	$M/ql^2$	№ схемы
1	2,0	1,0	1,0	1,0	I
2	2,6	1,5	1,6	-1,0	II
3	3,0	3,0	2,0	2,0	III
4	3,4	-1,0	2,4	-2,0	IV
5	2,8	-2,0	2,0	1,6	V
6	2,0	1,5	1,0	-2,4	VI
7	1,6	2,5	2,0	2,0	VII
8	1,8	3,0	2,0	-1,4	VIII
9	2,4	1,0	1,6	1,8	I
0	3,0	2,0	1,0	-1,0	II

А

Б

Методические указания

1. Изобразить расчетную схему балки, представив длину участков в долях  $l$ , силу  $F$  в долях  $ql$ , момент в долях  $ql^2$ .

2. Из условий равновесия найти опорные реакции. В балке удобно определить их из равновесия моментов  $M_A = 0$ ,  $M_B = 0$ , где А и В - шарнирные опоры. Правильность вычисления опорных реакций необходимо проверить, записав уравнение проекции сил на вертикальную ось  $\Sigma F_y = 0$ , которое должно удовлетворяться тождественно.

3. Построить эпюру поперечных сил ЭО (в долях  $ql$ ). Для этого, разбив балку на участки, с помощью метода сечений записать уравнения проекций на вертикальную ось  $Y$  сил, приложенных к отсеченной части балки, и определить значение поперечной силы  $Q$  для произвольного сечения каждого участка.

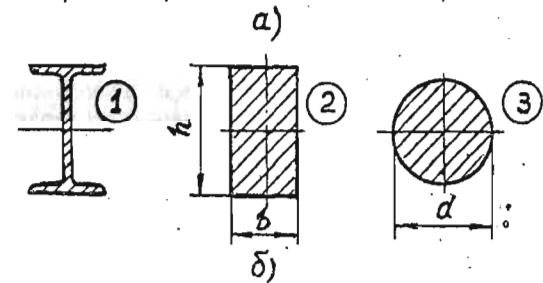
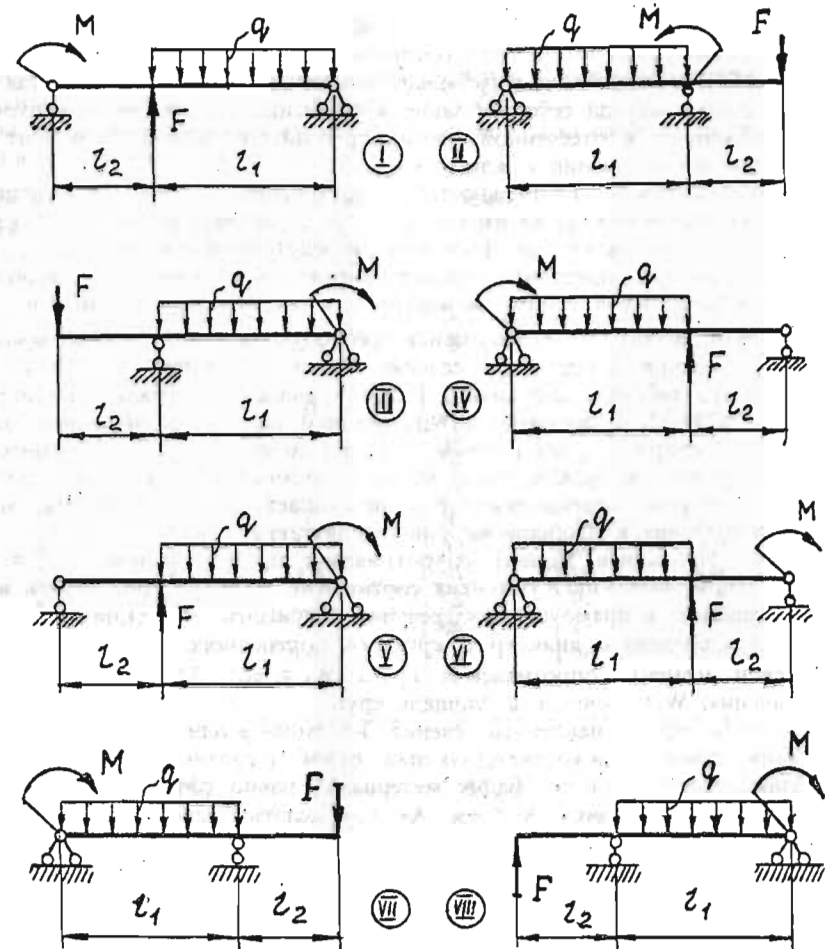


Рис. 11

Проверить правильность построения ЭО, используя дифференциальную зависимость  $dQ/dz = q$ ; проверить наличие "скачков" в сечениях балки под сосредоточенной силой.

4. Построить эпюру изгибающих моментов ЭМ (в долях  $q l^2$ ). Для этого с помощью метода сечений, записыв уравнения равновесия моментов сил, приложенных к отсеченной части, определить изгибающий момент  $M$  в произвольном сечении каждого участка.

Проверить правильность построения ЭМ, используя дифференциальную зависимость  $dM/dz = Q$ ; проверить наличие "скачков" в тех сечениях балки, где приложены сосредоточенные моменты.

5. По ЭМ определить опасное сечение балки (сечение с наибольшим по модулю изгибающим моментом) и из условия прочности  $\max \sigma = \max M / W_x < [\sigma]$  найти требуемую величину осевого момента сопротивления поперечного сечения балки  $W_x$  (в  $\text{см}^3$ ).

6. По таблице сортамента (сталь горячекатаная, балки двутавровые, ГОСТ 8239-72) подобрать соответствующий двутавр со значением осевого момента сопротивления равным или ближайшим большим расчетному  $W_x$  (допускается и незначительно меньший момент сопротивления двутавра, при котором перенапряжение не превышает 5%). Выписать момент сопротивления и площадь выбранного двутавра.

7. Приравняв момент сопротивления прямоугольника  $W_x = bh^2/6$  расчетному значению и учитывая соотношения  $h/b = 2$ , определить высоту  $h$  и ширину  $b$  прямоугольного сечения. Вычислить его площадь.

8. Определить диаметр  $d$  круглого поперечного сечения, приравняв осевой момент сопротивления круга  $W_x = \pi d^3 / 32 \approx 0,1d^3$  расчетному значению  $W_x$ . Вычислить площадь круга.

9. Вычертить найденные сечения 3-х типов в одном масштабе и найти соотношение весов соответствующих балок (соотношение весов в случае одинакового для всех балок материала равно соотношению площадей поперечных сечений  $A_1 : A_2 : A_3$ ). Сделать вывод о экономичности рассмотренных вариантов балок.

### Задача 12

#### Контрольные вопросы

1. Какие напряжения возникают в поперечном сечении круглого стержня при кручении, как они распределены?
2. Как определяются напряжения в произвольной точке круглого стержня при кручении? Какие геометрические характеристики при этом используются?
3. Запишите условие прочности при кручении.
4. Как определяется угол закручивания, что называется жесткостью стержня при кручении?
5. Какие формы поперечных сечений стержня являются рациональными при кручении и почему?

#### Условие задачи

К стальному валу переменного круглого сечения (рис. 12) приложены скручивающие моменты  $M$  и  $M_1$ .

Определить из условия прочности размеры поперечных сечений и округлить до ближайшей величины по ГОСТ 6636 - 69.

При найденных размерах вычислить угол поворота свободного конца вала (в градусах).

Принять:  $M = 3 \text{ кН}\cdot\text{м}$ ;  $l = 20 \text{ см}$ ; допустимое касательное напряжение  $[\tau] = 80 \text{ МПа}$ ; модуль сдвига  $G = 8 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ .

Остальные данные взять из табл.12.

Таблица 12

№ строки	№ схемы	$l_1/l$	$D/d$	$l_2/l$	$M_1/M$
1	I	1,0	1,20	2,60	2,0
2	II	1,5	1,26	2,70	2,5
3	I	2,0	1,30	2,50	3,0
4	II	2,5	1,34	2,30	3,5
5	I	3,0	1,40	2,40	4,0
6	II	2,5	1,40	2,20	4,5
7	I	2,0	1,50	2,10	4,0
8	II	1,5	1,54	1,90	3,5
9	I	1,0	1,60	1,80	3,0
0	II	3,0	1,50	1,70	2,5

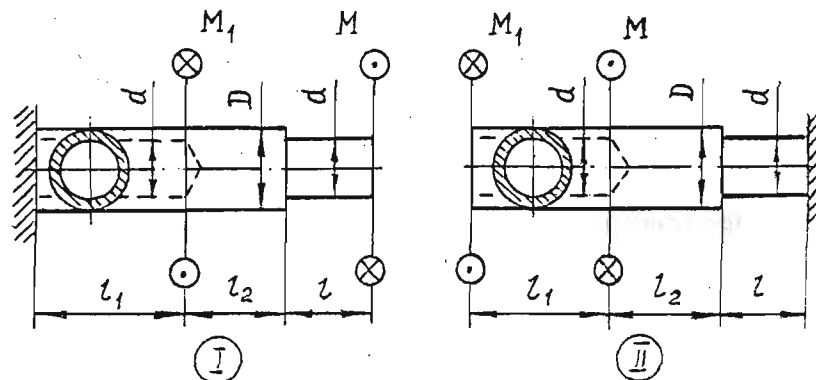


Рис. 12

### Методические указания

1. Изобразить в масштабе расчетную схему вала, представив длину участков в долях  $l$ , скручивающие моменты в долях  $M$ , размеры поперечных сечений выразить через  $d$ .

2. Построить эпюру крутящих моментов (ЭТ). Для этого разбить вал на участки и с помощью метода сечений, записывая уравнения равновесия моментов, приложенных к отсеченной части, определить значения крутящих моментов на каждом участке. С учетом правила знаков построить (в долях  $M$ ) эпюру крутящих моментов.

3. Вычислить геометрические характеристики поперечных сечений каждого участка - полярный момент сопротивления  $W_p$  (в долях  $d^3$ ) и полярный момент инерции  $I_p$  (в долях  $d^4$ ).

4. С учетом ЭТ вычислить (в долях  $M/d^3$ ) на каждом участке наибольшие касательные напряжения и построить эпюру  $\tau_{\max}$ .

5. Выбрать по  $\tau_{\max}$  опасное сечение и, записав условие прочности при кручении, определить требуемый диаметр  $d$  (в мм). По соотношению  $D/d$  найти большой диаметр  $D$ .

6. По ГОСТ 6636-69 (нормальные линейные размеры, табл. 19), округлить размеры вала до ближайших больших значений.

7. Вычислить угол поворота свободного конца вала. Для этого необходимо учесть (в долях  $M/Gd^4$ ) угловые деформации каждого участка, начиная от заделки. Подставив в полученное выражение численные значения физических величин, вычислить угол поворота свободного конца (в радианах), затем представить ответ в градусах.

Целью решения задач 13–14 является освоение методов расчета стержня круглого поперечного сечения при сложном нагружении (в частности, вала редуктора).

#### Задача 13

### Контрольные вопросы

1. Какие точки стержня круглого поперечного сечения являются опасными при изгибе с кручением?
2. Какие точки стержня круглого поперечного сечения являются опасными при кручении с растяжением (сжатием)?
3. Что называется эквивалентным напряжением?
4. Как определяются эквивалентные напряжения по гипотезам пластичности?
5. Как записывается условие прочности при сложном напряженном состоянии в опасной точке?

### Условие задачи

Для стержня круглого поперечного сечения, нагруженного продольной и поперечными силами, скручивающими моментами (рис. 13), определить допустимое значение параметра нагрузки  $P$ .

Принять: нормативный коэффициент запаса прочности  $[n] = 1,8$ ;  $D = 1,2d$ . Остальные данные взять из табл. 13 и 18.

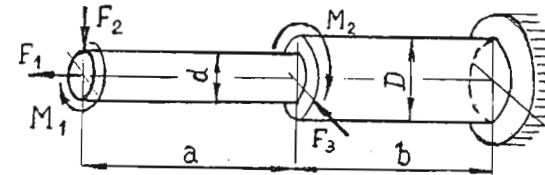


Рис. 13

Таблица 13

№ строки	a/d	b/d	F <sub>2</sub> /P	F <sub>3</sub> /P	d, мм	F <sub>1</sub> /P	M <sub>1</sub> /Pd	M <sub>2</sub> /Pd	Материал
1.	4	4	1	2	50	30	8	6	Сталь 20
2	5	6	1,5	4	40	34	10	4	Сталь 45
1	6	4	2	5	45	36	6	-18	Сталь 40X
3	4	3	-1	3	35	38	7	8	Сплав Д16
4	5	5	-2	-2	55	40	-6	14	Сталь 20XH
5	6	3	1	1	65	-42	9	5	Сплав АЛ4
6	4	5	-1,5	-3	60	-44	-8	18	Сталь 5
7	7	4	1	-2	52	-46	4	-12	Сплав ВТ3
8	8	4	-1	2,5	42	-48	6	7	Латунь Л68
9	4	6	1,5	1,5	46	-50	5	10	Сталь 20
0	5	4	2	-1	54	52	12	8	Ст.3
					А		Б		

### Методические указания

1. Изобразить в изометрии расчетную схему стержня и построить эпюры внутренних силовых факторов:  $N$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $T$ .
2. Выбрать предполагаемые опасные сечения стержня и показать действующие в них внутренние силовые факторы.

11/179935

3. Вычислить (в долях  $P/d^2$ ) нормальные и касательные напряжения в предполагаемых опасных точках этих сечений.

4. Определить, используя гипотезу пластичности, эквивалентные напряжения в этих точках и найти наиболее опасную точку (с наибольшим эквивалентным напряжением).

5. Записать условие прочности по эквивалентному напряжению в опасной точке и вычислить допустимое значение параметра нагрузки  $P$ .

### Задача 14

Контрольные вопросы – см. вопросы к задаче 13.

#### Условие задачи

Стальной вал постоянного поперечного сечения диаметром  $d$  (рис. 14) вращается с частотой  $n$  оборотов в минуту и передает мощность  $N$  киловатт.

На валу закреплены шестерня диаметром  $D_1$  ( $F_t$  и  $F_r = 0,4 F_t$  соответственно окружное и радиальное усилия зубчатой передачи) и шкив ременной передачи диаметром  $D_2$  ( $2F$  и  $F$  – усилия в ведущей и ведомой ветвях).

Из расчета на прочность определить диаметр вала  $d$ .

Принять: нормативный запас по пределу текучести  $[n] = 4$ , остальные данные взять из табл. 14 и 18.

Примечание: при расчете опоры вала полагать шарнирными.

Таблица 14

№ строки	№ схемы	$l, м$	$\alpha, град$	$\beta, град$	$a/l$	$D_2/D_1$	$D_1, мм$	$N, кВт$	$n, об/мин$	Сталь
1	I	0,4	0	30	0,5	1,6	100	30	200	20ХН
2	II	0,5	90	45	0,4	1,8	110	34	220	40Х
1	III	0,4	0	60	0,3	2,0	120	36	240	30ХГТ
3	IV	0,3	90	120	0,6	2,2	130	20	260	45
4	I	0,5	0	135	0,5	2,4	140	22	280	40Х
5	II	0,6	90	150	0,6	2,5	150	24	300	45
6	III	0,7	0	30	0,3	2,6	160	26	320	Ст. 5
7	IV	0,4	90	45	0,5	2,8	140	28	340	Ст. 3
8	I	0,8	0	60	0,4	3,0	150	25	270	20ХН
9	II	0,6	90	120	0,6	1,5	120	30	310	20
0	III	0,5	0	60	0,5	2,0	100	32	250	40Х
А						Б				

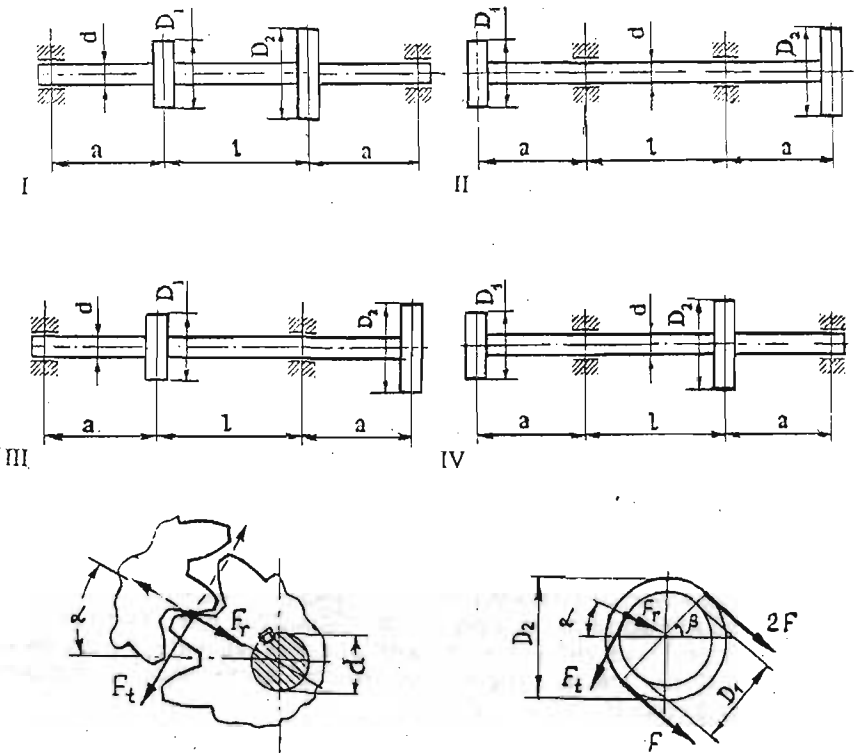


Рис. 14

#### Методические указания

1. Изобразить в масштабе схему вала и расположение зубчатого колеса и шкива на виде сбоку.
2. По заданным мощности  $N$  и частоте вращения  $n$  найти крутящий момент, передаваемый валом.
3. Из условия равновесия ( $\sum M_z = 0$ , где  $Z$  – продольная ось вала) определить усилия в зубчатом зацеплении и в ветвях ременной передачи.
4. Привести найденные усилия к оси вала. Усилие  $3F$  ременной передачи представить в виде составляющих  $F_x$  и  $F_y$  соответственно в горизонтальном и вертикальном направлениях.

5. Изобразить расчетную схему вала в изометрии, приложив нагрузки в горизонтальной и вертикальной плоскостях, определить опорные реакции и построить эпюры изгибающих  $M_x$  и  $M_y$ , а также крутящего  $T$  моментов.

6. Изобразить опасное сечение вала, показать действующие в нем внутренние силовые факторы  $T$ ,  $M_x$  и  $M_y$ .

7. Найти опасную точку в сечении, выделить в ее окрестности элементарный параллелепипед и показать действующие по его граням нормальное  $\sigma$  и касательное  $\tau$  напряжения.

8. Используя гипотезу пластичности, записать эквивалентные напряжения в этой точке и из условия прочности вычислить диаметр вала  $d$ . Полученный результат (в мм) округлить до ближайшего номинального размера (в соответствии с ГОСТ 6636-69).

Задача 15

Контрольные вопросы

1. В чем заключается явление потери устойчивости деформируемых систем?
2. Что называется критической силой сжатого стержня?
3. Запишите формулу Эйлера. В каких пределах она применима?
4. Что называется гибкостью стержня, от каких параметров она зависит?
5. Какой вид имеет график зависимости критического напряжения от гибкости стержня?
6. Как формулируется условие устойчивости сжатых стержней? Что представляет собой коэффициент запаса устойчивости?
7. Какие формы поперечных сечений сжатых стержней являются рациональными из условия устойчивости?

Условие задачи

Сжатый стержень из стали Ст.3 имеет в плоскостях  $zox$  и  $zoу$ , проходящих через главные оси его поперечного сечения, различные условия закрепления концов (рис.15а).

Для стержня, поперечное сечение которого составлено из двух швеллеров или двутавров (рис.15б), из расчета на устойчивость определить допустимое значение силы  $F$ .

При найденном  $F$  вычислить коэффициент запаса устойчивости.

Принять: допускаемое напряжение на сжатие  $[\sigma] = 160$  МПа, остальные данные взять из табл.15.

Указание: критические напряжения для стоек средней гибкости вычислять по формуле Ясинского  $\sigma_{кр} = \alpha - b \lambda$ , где  $\alpha = 304$  МПа,  $b = 1,12$  МПа.

№ строки	Схема закрепления	Форма сечения	Длина $l$ , м	Номер двутавра или швеллера
1	I	1	3,0	12
2	II	2	3,4	14
3	III	1	3,2	16
4	IV	2	4,4	20
5	I	1	2,8	12
6	II	2	3,4	14
7	III	1	3,6	16
8	IV	2	3,5	14
9	I	1	3,8	18
0	II	2	4,0	20

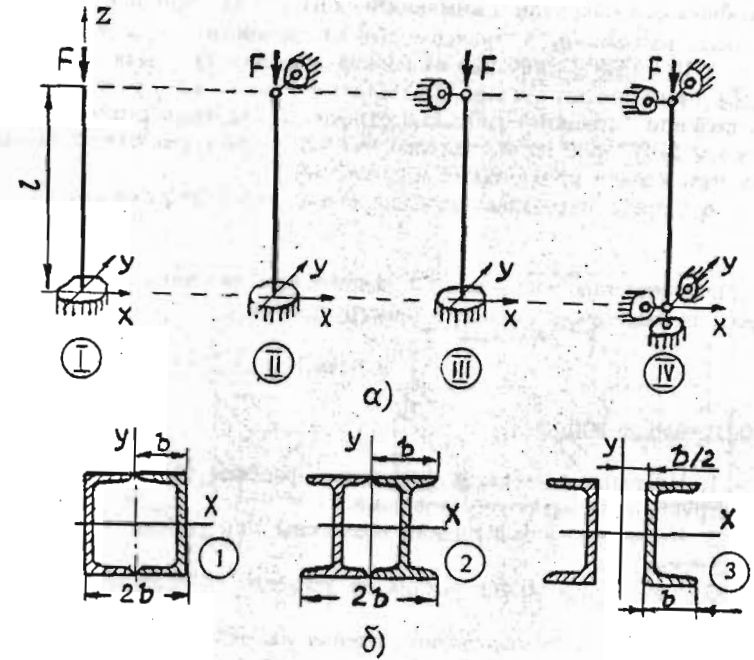


Рис. 15

## Методические указания

1. Вычертить в изометрии расчетную схему сжатого стержня, показав опорные закрепления концов в плоскостях  $zo_x$  и  $zo_y$ , проходящих через главные оси его поперечного сечения.

2. Вычертить поперечное сечение стержня в масштабе и вычислить, используя данные сортамента прокатной стали для соответствующего профиля, главные центральные моменты инерции  $I_x$  и  $I_y$ , а также радиусы инерции  $i_x$  и  $i_y$ .

3. Проанализировать в какой плоскости -  $zo_y$  или  $zo_x$  (или относительно какой главной оси - X или Y) произойдет искривление стойки при потере устойчивости. Для этого необходимо сравнить гибкости сжатого стержня  $\lambda_x$  (в плоскости  $zo_y$ ) и  $\lambda_y$  (в плоскости  $zo_x$ ). Значения коэффициентов приведения длины  $\mu_x$  и  $\mu_y$  взять в соответствии с условиями закрепления концов стержня. В дальнейшем, в расчетах на устойчивость, используется наибольшая из сопоставляемых гибкостей.

4. Применяя метод расчета сжатых стержней по коэффициенту  $\varphi$  снижения допускаемого напряжения  $[\sigma]$ , вычислить допустимое (из условия устойчивости) значение сжимающей силы F. Коэффициент  $\varphi$  необходимо выбрать из таблицы в зависимости от гибкости стержня  $\lambda$ .

5. Вычислить значение критической силы -  $F_{кр}$ . Для этого необходимо предварительно определить к какому классу стержней (малой, средней или большой) гибкости относится заданная стойка, ибо в каждом диапазоне гибкостей используются свои расчетные зависимости для нахождения критических напряжений.

6. Определить запас устойчивости сжатого стержня  $n_y = F_{кр}/F$ .

Цель решения задач 16 - 17: освоить приближенные методы расчета простых соединений элементов конструкций.

### Задача 16

#### Контрольные вопросы

1. На основании каких допущений расчеты соединений элементов конструкций называют "условными"?
2. Какие виды разрушений возможны при работе заклепочного соединения?
3. Как определяются усилия на заклепку со стороны соединяемых элементов?
4. В чем особенность определения напряжений смятия при взаимодействии тел по цилиндрической поверхности? Как определяется площадь смятия при расчете заклепки?

## Условие задачи

Для одного из соединений, показанных на рис.16, из расчетов на прочность (при растяжении, сжатии, срезе, смятии) найти значения указанных на чертеже размеров и уточнить в соответствии с ГОСТ 6636-69 (нормальные линейные размеры)..

Принять: материал - сталь; допускаемые напряжения при растяжении (сжатии)  $[\sigma] = 100$  МПа, на срез  $[\tau]_{ср} = 0,8 [\sigma]$ , на смятие  $[\sigma]_{см} = 2,0 [\sigma]$ . Остальные данные взять из табл. 16.

Таблица 16

№ строки	F, кН	№ схемы
1	35	I
2	40	II
3	45	III
4	50	IV
5	55	V
6	60	VI
7	65	VII
8	70	VIII
9	56	II
0	64	I
A		B

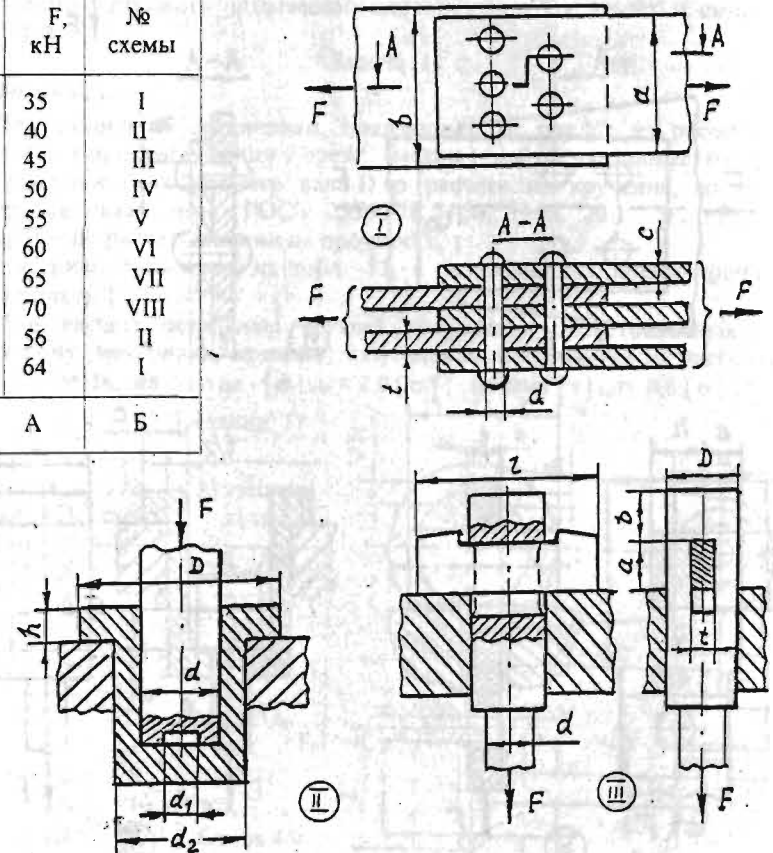


Рис. 16

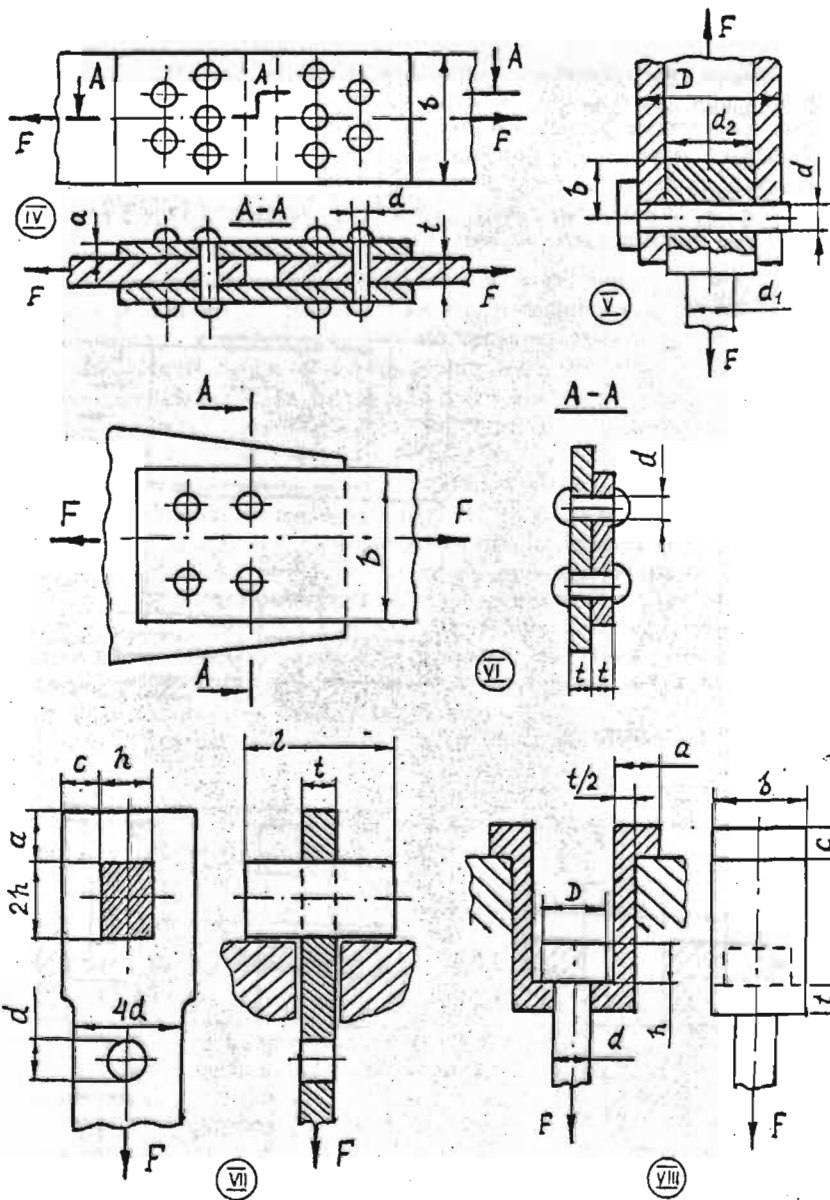


Рис. 16 (окончание)

Методические указания

1. Проанализировать работу соединения. Установить места возможного разрушения вследствие разрыва, среза и смятия элементов соединения.

2. Записав соответствующие условия прочности элементов соединения, определить необходимые размеры. Целесообразно начинать решение с условий, содержащих лишь одно неизвестное, переходя затем к остальным.

Если один и тот же размер входит в два или более условий, необходимо в итоге взять размер, удовлетворяющий всем условиям прочности.

Следует учесть, что расчет на растяжение листов или тяг производится по сечению, ослабленному отверстиями. При расчете на срез и смятие необходимо учитывать количество одновременно срезаемых и сминаемых элементов.

Задача 17

Условие задачи

Для одного из соединений, показанных на рис.17, из расчетов на прочность (при растяжении, срезе, смятии), найти указанные на чертеже размеры. Определив диаметр вала D из расчета на кручение, согласовать размеры шпонки по ГОСТ 23360-78 (см. табл. 20) и выполнить проверочный расчет шпонки на прочность.

Материал вала взять из табл. 17, коэффициент запаса прочности вала принять  $[n] = 3$ .

При расчете остальных деталей соединения, изготовленных из пластичного материала, принять допускаемые напряжения на растяжение  $[\sigma] = 120 \text{ МПа}$ , на смятие  $[\sigma]_{\text{см}} = 2,0 [\sigma]$ , на срез  $[\tau]_{\text{ср}} = 0,8 [\sigma]$ .

Таблица 17

№ строки	F, кН	№ схемы	Материал вала
1	7,5	I	Сталь 45
2	5,8	II	20ХН
3	8,2	I	40Х
4	8,0	II	12ХН3А
5	5,5	I	Ст.5
6	6,0	II	12ХН3А
7	6,5	I	40Х
8	7,0	II	20ХН
9	7,6	I	20ХН3А
10	6,4	II	Сталь 45
А		Б	

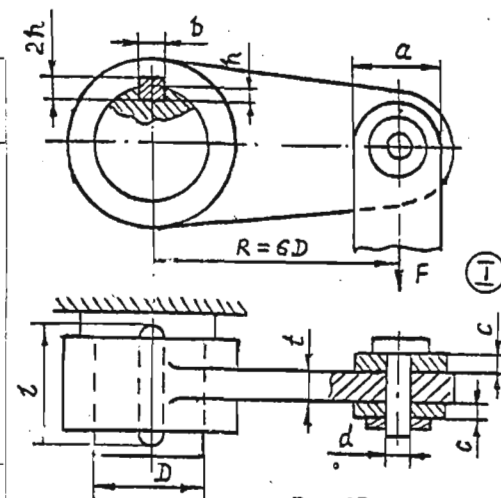


Рис. 17

Нормальные линейные размеры (в мм). ГОСТ 6636 - 69

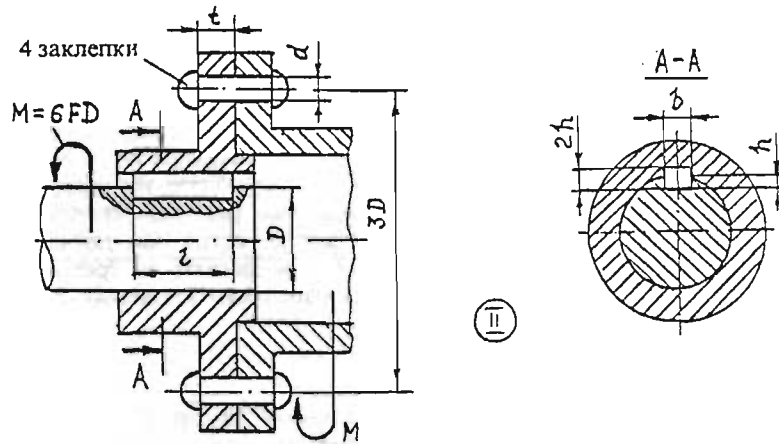


Рис. 17 (окончание)

Таблица 18

Механические характеристики материалов

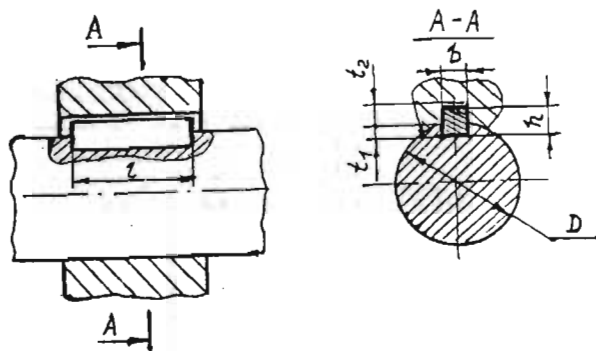
Материал	Предел текучести		Предел прочности $\sigma_{вр}$ , МПа	Модуль упругости $E \cdot 10^5$ , МПа	Кoeff. Пуассона $\mu$
	$\sigma_t$ , МПа	$\tau_t$ , МПа			
Сталь углеродистая					
Ст. 3	230	160	380...470	2,0	0,28
Ст. 5	280	190	520...650	2,0	0,28
Ст. 45	320	230	600...750	2,0	0,28
20	220	160	440...500	2,0	0,28
Сталь легированная					
20ХН	600	350	800	2,1	0,30
40Х	800	440	1000	2,1	0,30
12ХН3А	700	400	950	2,1	0,30
30ХГТ	1200	670	1400	2,1	0,30
Алюминиевые сплавы					
АЛ4	200	120	260	0,72	0,30
Д16	330	200	470	0,72	0,30
Титановый сплав					
BT3	960	500	1100	1,2	0,26
Медный сплав (лагунь) Л168	330	200	450	1,2	0,36

Р я д ы							
Ra 5	Ra 10	Ra 20	Ra 40	Ra 5	Ra 10	Ra 20	Ra 40
1,0	1,0	1,0	1,0	2,5	3,2	3,2	3,2
			1,05				3,4
			1,1			3,6	3,6
			1,15				3,8
		1,2	1,2	4,0	4,0	4,0	4,0
			1,3				4,2
			1,4			4,5	4,5
			1,5				4,8
1,6	1,6	1,6	1,6		5,0	5,0	5,0
			1,8			5,6	5,6
			1,9				6,0
		2,0	2,0	6,3	6,3	6,3	6,3
			2,1				6,7
			2,2			7,1	7,1
			2,4				7,5
			2,5		8,0	8,0	8,0
			2,6				8,5
			2,8			9,0	9,0
			3,0				9,5
				10	10	10	10,0

Примечание. Цифры в других десятичных интервалах получают умножением или делением приведенных величин на 10, 100, 1000 и т. д. При выборе рядов предпочтение отдавать рядам с более крупной градацией: ряд R5 предпочитать ряду R10, ряд R10—ряду R20.



Шпонки призматические (по ГОСТ 23360-78), мм



Диаметр вала D	Сечение шпонки		Глубина паза		Длина шпонки l
	b	h	вала t <sub>1</sub>	ступицы t <sub>2</sub>	
12...17	5	5	3	2,3	10...32
17...22	6	6	3,5	2,8	14...40
22...30	8	7	4	3,3	18...63
30...38	10	8	5	3,3	22...80
38...44	12	8	5	3,3	28...90
44...50	14	9	5,5	3,8	36...110
50...58	16	10	6	4,3	45...125
58...65	18	11	7	4,4	50...140
65...75	20	12	7,5	4,9	56...160
75...87	22	14	9	5,4	63...180
85...95	25	14	9	5,4	70...200

Примечание: Длины призматических шпонок l выбирают из следующего ряда - 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200 мм. Пример обозначения шпонки с размерами b = 18 мм, h = 11 мм, l = 110 мм: шпонка 18 • 11 • 110 ГОСТ 23360-78.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ "МЕХАНИКА"

## ЧАСТЬ I. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

## Тема 1. Кинематика

Основные понятия кинематики. Кинематика точки, скорости и ускорения точки.

Литература: [1, § 36...46], [2, § 2.1...2.7].

Простейшие движения твердого тела. Поступательное движение. Скорости и ускорения точек при поступательном движении.

Вращательное движение твердого тела, вращающегося около неподвижной оси. Скорости и ускорения точек тела.

Литература: [1, § 48...51], [2, § 2.3,2.4]

Плоскопараллельное движение твердого тела (плоской фигуры в ее плоскости). Разложение движений плоской фигуры на поступательные движения и вращение вокруг полюса. Уравнения движения плоской фигуры.

Скорости точек тела при плоском движении. Теорема о проекциях скоростей двух точек тела. Мгновенный центр скоростей. Определение скоростей точек плоской фигуры с помощью мгновенного центра скоростей. Ускорения точек плоской фигуры.

Литература: [1, § 52...59], [2, § 2.6].

Движение твердого тела вокруг неподвижной точки или сферическое движение. Свободное твердое тело. Задание движения. Углы Эйлера. Кинематические уравнения Эйлера. Скорости и ускорения точек тела. Движение свободного твердого тела.

Литература: [1, § 60...63], [2, § 12.1...12.4].

Сложное движение точки. Понятие о разложении движения на переносное и относительное, относительное и переносное движение точки. Теорема о сложении скоростей. Теорема о сложении ускорений (теорема Кориолиса).

Литература: [1, § 64...67], [2, § 2,5].

Сложное движение твердого тела. Сложение поступательных движений. Сложение вращений вокруг двух параллельных осей. Сложение поступательного и вращательного движений. Витовое движение.

Литература: [1, § 68...72], [2, § 2,7].

## ТЕМА 2. СТАТИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Задачи статики. Основные понятия: абсолютно твердое тело, сила, система сил. Эквивалентные и уравновешенные системы сил. равнодействующая сила. силы внешние и внутренние. Аксиомы статики, связи и реакции связей.

Литература: [1, § 1...3], [2, § 1.1...1.3].

Система сходящихся сил. Геометрический способ сложения сил. Равнодействующая системы сходящихся сил. Проекция силы на ось и на плоскость. Условия равновесия сходящихся сил в геометрической и аналитической форме.

Литература: [1, § 4...7], [2, § 1.4].

Плоская система сил. Момент сил относительно центра. Пара сил. Момент пары. Правило параллельного переноса силы. Приведение плоской системы сил. Трение скольжения и трение качения. Равновесие при наличии трения

Литература: [1, § 8...17, 23...27], [2, § 1.5...1.8].

Пространственная система сил. Момент силы относительно оси. Главный вектор и главный момент. Приведение пространственной системы сил к простейшему виду. Равновесие произвольной пространственной системы сил. Понятие о силовом поле. Центр тяжести твердого тела и его координаты.

Литература: [1, § 28...35], [2, § 1.5...1.8].

## ТЕМА 3. ДИНАМИКА

Предмет и задачи динамики. Законы механики Галилея-Ньютона. Дифференциальные уравнения движения свободной и несвободной материальной точки. Две основные задачи динамики материальной точки. Решение первой и второй задач динамики.

Литература: [1, § 73...80] [2, § 3.1...3.2].

Общие теоремы динамики точки. Количество движения материальной точки. Импульс силы. Теоремы об изменении количества движения материальной точки. Момент количества движения материальной точки относительно данного центра и данной оси. Теорема о моменте количества движения материальной точки. Работа силы. Мощность. Теорема об изменении кинетической энергии материальной точки. Относительное движение материальной точки.

Литература: [1, § 83...91].

Общие теоремы динамики механической системы. Механическая система материальных точек. Внешние и внутренние силы. Центр масс. Момент инерции тела относительно оси. Радиус инерции. Моменты инерции тела относительно параллельных осей. Теорема Гюйгенса.

Дифференциальные уравнения движения системы материальных точек. Теорема о движении центра масс. Теорема об изменении количества

движения. Закон сохранения количества движения.

Количество движения системы материальных точек. Теорема об изменении количества движения. Закон сохранения количества движения.

Момент количества движения механической системы относительно центра и данной оси. Теорема об изменении момента количества движения системы.

Кинетическая энергия системы материальных точек. Кинетическая энергия тела при поступательном, вращательном и плоскопараллельном движении тела. Теорема об изменении кинетической энергии системы.

Литература: [1, § 100...103; 106...109; 110...112; 115...118; 121...124], [2, § 3.3...3.6].

Принципы механики. Принцип Даламбера для точки и механической системы. Главный вектор и главный момент сил инерции. Определение реакции связи при несвободном движении материальной точки и системы материальных точек.

Принцип возможных перемещений. Классификация связей. Возможные перемещения системы. Общее уравнение динамики.

Литература: [1, § 133...135; 137...141], [2, § 3.7, 3.8].

## ЧАСТЬ 2. СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Основные положения. Проблемы прочности и надежности машин и конструкций с учетом требований повышения рабочих параметров, снижения материалоемкости, увеличения срока службы.

Модели в механике. Модель материала. Гипотезы сплошности, однородности и изотропности материала. Деформируемое тело, упругие и пластические деформации.

Модель формы конструкции, классификация объектов расчета по геометрическому признаку: стержень, оболочка, массив.

Модель нагружения (внешние воздействия): объемные и поверхностные нагрузки, распределенные и сосредоточенные. Понятие о статическом и динамическом нагружении.

Внутренние силы. Метод сечений. Главный вектор и главный момент сил в поперечном сечении стержня, их составляющие - внутренние силовые факторы. Основные (простые) виды нагружения бруса: растяжение (сжатие), кручение, прямой изгиб.

Напряжения как мера интенсивности внутренних сил. Компоненты напряженного состояния в точке тела: нормальные, касательные и полные напряжения.

Понятие о линейных и угловых деформациях в точке тела.

Литература: [3, § 4.1...4.5], [5, § 1.1...1.5], [6, § 4.1...4.4].

Растяжение - сжатие стержня. Определение нормальных сил, построение эпюр. Нормальное напряжение в поперечном сечении стержня при растяжении-сжатии. Напряжения в наклонных сечениях, закон парности (взаимности) касательных напряжений.

Продольные и поперечные деформации при растяжении-сжатии, коэффициент поперечной деформации (Пуассона). Закон Гука для линейного (одноосного) напряженного состояния, модуль упругости при растяжении. Вычисление удлинений участков, перемещений поперечных сечений стержня.

Опытное изучение механических свойств материала. Испытание на растяжение, диаграмма условных напряжений. Особенности диаграмм различных материалов. Закон разгрузки и повторного нагружения. Механические характеристики материала (прочности и пластичности).

Особенности испытания на сжатие пластичных и хрупких материалов.

Понятие о разрушении как механическом состоянии, приводящем к нарушению условий нормальной эксплуатации конструкции. Условия прочности и жесткости при растяжении-сжатии. Оценка прочности элемента конструкции по максимальным напряжениям (напряжению в опасной точке), коэффициент запаса прочности – фактический и нормативный, допускаемое напряжение. Различные виды расчетов на прочность: проектировочный (подбор сечений), определение допускаемой нагрузки, проверочный.

Литература: [3, § 5.1...5.6], [5, § 2.1...2.10], [6, § 7...12].

Геометрические характеристики плоских сечений стержня.

Статистические моменты площади и определение положения центра тяжести сечения. Осевые, полярный и центробежные моменты инерции, их изменение при параллельном переносе осей.

Моменты инерции простых сечений (прямоугольник, круг). Понятие о главных осях и главных моментах инерции. Главные центральные оси.

Литература: [3, § 8.3], [5, § 6.1...6.6], [6, § 27...33].

Прямой изгиб стержня. Типы опор балок, определение опорных реакций. Внутренние силовые факторы при поперечном изгибе. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов в балках.

Прямой чистый изгиб: определение кривизны изогнутой оси и нормальных напряжений в поперечном сечении. Момент сопротивления сечения стержня изгибу и рациональные формы поперечных сечений.

Расчет на прочность при изгибе по нормальным напряжениям балок, выполненных из пластичного и хрупкого материалов.

Литература: [3, § 8.1...8.4], [5, § 7.1...7.6], [6, § 45...54].

Косой изгиб, изгиб с растяжением-сжатием. Напряжения при косом изгибе, изгибе с растяжением (сжатием), при внецентренном приложении продольной силы к стержню большой жесткости. Определение опасных точек и расчет на прочность стержней прямоугольного и круглого сечений.

Литература: [3, § 8.7], [5, § 8.1...8.3].

Сдвиг и кручение Чистый сдвиг. Касательные напряжения и угловые деформации, закон Гука при сдвиге.

Кручение. Построение эпюр крутящего момента. Кручение стержня круглого поперечного сечения. Распределение касательных напряжений по сечению, угол закручивания. Полярный момент сопротивления круглого и кольцевого сечений.

Расчеты на прочность и жесткость при кручении, рациональные формы сечений стержня. Расчет цилиндрических винтовых пружин.

Литература: [3, § 6.1...6.2], [5, § 5.1...5.5], [6, § 35...44].

Основы напряженного и деформированного состояний в точке тела, гипотезы прочности. Общие сведения о напряженном состоянии в точке тела, компоненты напряженного состояния. Понятия о главных площадках и главных напряжениях. Понятие о деформированном состоянии в точке, обобщенный закон Гука.

Понятия о прочности материалов и конструкций при сложном напряженном состоянии, о гипотезах предельных напряженных состояний (пластичности, прочности). Определение эквивалентных напряжений по различным гипотезам. Расчет на прочность стержня круглого поперечного сечения в общем случае нагружения.

Литература: [3, § 7.1...7.4], [5, § 3.1...3.3; 9.1...9.5].

Продольный изгиб. Устойчивость равновесия деформируемых систем. Устойчивые и неустойчивые формы равновесия. Устойчивость сжатого стержня. Определение критической нагрузки по формуле Эйлера, влияние условий закрепления. Пределы применимости формулы Эйлера и определение критической силы при потере устойчивости за пределами упругости. Формула Ясинского. Выбор материала и рациональных форм поперечного сечения. Расчет сжатых стержней по коэффициенту уменьшения допускаемого напряжения.

Литература: [3, § 9.1], [5, § 12.1...12.4], [6, § 83...89].

Прочность при переменных напряжениях. Циклы переменных напряжений и усталость материалов. Механизм усталостного разрушения. Основные характеристики цикла напряжений. Опытное определение предела выносливости. Влияние асимметрии цикла. Диаграмма предельных амплитуд. Влияние на усталостную прочность детали концентрации напряжений, масштабного фактора, обработки и состояния поверхности. Коэффициент запаса прочности детали при действии переменных напряжений. Основные конструктивные и технологические методы повышения усталостной прочности деталей.

Литература: [3, § 10.1...10.4], [5, § 10.1...10.3], [6, § 99...105].

Собственные колебания конструкции. Свободные колебания системы с одной степенью свободы. Вынужденные колебания. Резонанс. Автоколебания. Принцип виброизоляции.

Литература: [1, § 94...96], [5, § 29.5...29.7], [6, § 97, 98].

### ЧАСТЬ 3. ТЕОРИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ, ДЕТАЛИ МАШИН

Основные положения. Общие сведения о машинах и механизмах. Структурные элементы машины: двигатель, передаточный механизм, исполнительный механизм. Требования, предъявляемые к деталям и узлам

машины. Структурные элементы механизма: звенья, кинематические пары, кинематические цепи. Число степеней свободы механизма.

Синтез рычажных механизмов. Кинематическая силовая и динамическая работоспособность механизма. Кинематический анализ механизмов.

Литература: [3, § 1.1...1.4, 2.1...2.4], [7, п.3.1...3.6, 12.1...12.3].

Анализ динамики машин и механизмов. Уравнение движения. Машины в конечной форме. Периоды движения машины. Характеристики сил, действующих на звенья механизмов. Механические характеристики двигателей. Коэффициент полезного действия механизма, КПД сложного механизма. Динамическая модель машины с жесткими звеньями. Приведение сил и масс в плоских механизмах. Интегральное и дифференциальное уравнения движения машины с жесткими звеньями и способы их решения.

Особенности проектирования изделий, виды изделий. Этапы (стадии) проектирования машин. Машиностроительные материалы.

Литература: [3, п.29.1, 29.2] [7, п.2.1, 2.2, 5.1...5.5].

Основные виды механизмов (передат). Конструктивно-функциональная классификация механизмов (передат): рычажные, кулачковые, фрикционные, зубчатые и с гибкими звеньями. Конструкция и расчет этих механизмов.

Литература: [3, п. 14.1...14.3, 15.1...15.7, 16.1...16.15, 20.1...20.5, 21.1...21.4].

Основы взаимозаменяемости. Технические измерения. Стандартизация и взаимозаменяемость. Допуски и посадки соединений. Основные понятия и определения: номинальный и действительный размеры, предельные размеры, отклонения размеров, допуск, поле допуска.

Посадка, виды посадок, система отверстия и система вала. Точность изготовления, степени точности (квалитеты).

Виды отклонений формы и расположения поверхности деталей. Нормирование формы и расположения поверхности деталей.

Характеристики шероховатости поверхности. Обозначение шероховатости и нормы отклонения размера и формы поверхности на чертежах.

Литература: [13, гл.1...4].

Валы и оси. Шпоночные и шлицевые соединения деталей с валами. Конструкция и материалы валов и осей. Расчет валов на прочность и жесткость. Конструкция и расчет шпоночных и шлицевых соединений.

Литература: [3, п.22.1, 22.2], [8, п.15.1...15.3].

Опоры скольжения и качения. Подшипники скольжения, особенности работы и виды повреждений.

Подшипники качения, конструкция и расчет. Выбор подшипников по динамической и статической грузоподъемности.

Литература: [3, п.23.1...23.7], [8, п.16.1...16.8].

Муфты. Конструкция и расчет. Общие сведения о назначении и выборе муфт. Отклонения от соосности валов, соединяемых с помощью муфт. Снижение ударных и вибрационных нагрузок на агрегаты машины

посредством упругих муфт. Упругие муфты МУВП и муфта с торообразной оболочкой.

Литература: [3, п.22.3, 22.4], [8, п.17.1...17.5].

Соединение деталей машин: Резьбовые, заклепочные, сварные, паяные и клеевые соединения. Конструкция и расчет на прочность. Корпусные детали. Выбор конструктивных параметров.

Литература: [3, п.25.1...25.5, 26.1...26.3, 27.1...27.5], [8, п.1.1...1.6, 2.1...2.3, 3.1...3.3, 4.1...4.3, 6.1...6.7]

## ЛИТЕРАТУРА

1.Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: Учебник для вузов.- М.: Высшая школа, 1995.- 416 с.

2.Прикладная механика: Учебное пособие / А.Т. Скойбеда, А.А. Миклашевич, Е.Н. Левковский и др.; Под общей редакцией А.Т. Скойбеды.- Минск: Высшая школа, 1997.- 522 с.

3.Иосилевич Г.Б., Строганов Г.Б. Прикладная механика: Учебник для вузов /Под ред. Г.Б. Иосилевича.- М.: Высшая школа, 1989.- 351с.

4.Феодосьев В.И. Сопrotивление материалов: Учебник для вузов.- М.: Изд-во МГТУ, 1999.- 592 с.

5.Ицкович Г.М. Сопrotивление материалов. - М.: Высшая школа, 1998.- 368с.

6.Степин П.А. Сопrotивление материалов. - М.: Высшая школа, 1988.- 366с.

7.Теория механизмов и механика машин: Учебник для вузов/ К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др.//Под ред. К.В. Фролова. - М.: Высшая школа, 1998. - 496 с.

8.Иванов М.Н. Детали машин: Учебник для вузов /Под ред. В.А.Финогенова. - М.: Высшая школа, 1998. - 383 с.

9.Теоретическая механика в примерах и задачах /М.И. Бать, Г.Ю.Джанелидзе, А.С.Кельзон. - М.: Физматгиз, 1984 - Т.1. Статика и кинематика - 502с; 1991.-Т.2. Динамика. - 368 с.

10.Примеры решения задач по теоретической механике: Учебное пособие для студентов-заочников/В.Г. Караваев, И.П. Осолотков, Н.Н. Ведерников и др. - -Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1999. - 86 с.

11.Буланов Э.А. Решение задач по сопротивлению материалов. - М.: Высшая школа, 1994. - 206 с.

12.Ицкович Г.М., Минин Л.С., Винокуров А.И. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов: Учебное пособие для вузов/Под ред. Л.С.Минина. - Высшая школа, 1999. - 592 с.

13.Болдин Л.А. Основы взаимозаменяемости и стандартизации в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1984. - 271 с.

14.Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1987. - 350с.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЧЕТАМ И ЭКЗАМЕНАМ  
ПО КУРСУ "МЕХАНИКА"

ЧАСТЬ I. "ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА"

1. Основные понятия статики: абсолютно твердое тело, материальная точка, сила. Эквивалентные и уравновешенные системы сил. Равнодействующая сила.
2. Аксиомы статики. Связи и реакции связей. Силы внешние и внутренние.
3. Система сходящихся сил. Геометрический способ сложения сходящихся сил. Условие равновесия системы сходящихся сил в геометрической и аналитической форме. Примеры.
4. Момент силы относительно оси и центра. Пара сил и момент пары. Основные свойства пары сил.
5. Приведение плоской системы сил к центру. Условия равновесия плоской системы сил. Примеры.
6. Статически определимые и статически неопределимые системы тел. Определение реакций опор составных конструкций. Примеры.
7. Понятие о трении скольжения. Коэффициент трения скольжения. Угол трения. Примеры.
8. Понятие о трении качения. Условия скольжения и качения цилиндра. Примеры.
9. Пространственная система сил. Приведение пространственной системы сил к данному центру. Главный вектор и главный момент.
10. Кинематика точки. Способы задания движения точки. Скорость точки. Примеры.
11. Кинематика точки: Способы задания движения точки. Ускорение точки при векторном и координатном способе задания движения.
12. Ускорение точки при естественном способе задания движения точки. Проекции ускорения точки на касательную и нормаль к траектории движения. Примеры.
13. Простейшие движения твердого тела. Поступательное движение. Скорости и ускорения точек тела при поступательном движении. Примеры.
14. Простейшее движение твердого тела. Вращение тела вокруг неподвижной оси. Угловая скорость и угловое ускорение. Линейные скорости и ускорения точек тела, вращающегося около неподвижной оси. Примеры.
15. Плоское движение твердого тела. Скорости точек плоской фигуры. Мгновенный центр скоростей. Примеры.
16. Плоское движение твердого тела. Скорости точек плоской фигуры. Теорема о проекциях скоростей точек тела. Примеры.
17. Плоскопараллельное движение твердого тела. Определение ускорений точек плоской фигуры. Примеры.

18. Простейшее движение твердого тела. Вращение твердого тела вокруг неподвижной оси. Угловая скорость и угловое ускорение. Линейные скорости и ускорения точек тела, вращающегося вокруг неподвижной оси. Примеры.
19. Сложное движение точки. Относительное, переносное и абсолютное движения. Теорема о сложении скоростей. Примеры.
20. Сложное движение точки. Теорема о сложении ускорений (теорема Кориолиса). Примеры.
21. Основные законы динамики. Задачи динамики материальной точки. Примеры.
22. Дифференциальные уравнения движения материальной точки. Две основные задачи динамики. Решение первой задачи динамики. Примеры.
23. Дифференциальные уравнения движения материальной точки. Две основные задачи динамики. Интегрирование дифференциальных уравнений движения точки. Начальные условия. Примеры.
24. Общие теоремы динамики точки. Количество движения точки. Импульс силы. Теорема об изменении количества движения точки. Примеры.
25. Кинетическая энергия материальной точки. Работа силы при различных способах задания движения точки. Мощность. Примеры.
26. Общие теоремы динамики точки. Теорема об изменении кинетической энергии материальной точки в интегральной форме.
27. Главный момент количества движения. Теорема об изменении главного момента количества движения. Закон сохранения. Примеры.
28. Общие теоремы динамики точки. Теорема об изменении кинетической энергии точки в дифференциальной форме.
29. Кинетическая энергия, центр масс, количество движения системы материальных точек. Примеры.
30. Кинетическая энергия твердого тела при поступательном, вращательном и плоскопараллельном движении. Примеры.
31. Дифференциальное уравнение вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси.
32. Кинетическая энергия механической системы. Вычисление работы силы тяжести, силы трения и момента пары сил. Примеры.
33. Теорема об изменении кинетической энергии механической системы в интегральной форме. Примеры.
34. Моменты инерции твердого тела относительно оси. Моменты инерции однородного стержня и цилиндра относительно оси, проходящей через центр масс.
35. Теорема об изменении кинетической энергии механической системы в дифференциальной форме. Примеры.
36. Теорема о движении центра масс механической системы. Примеры.
37. Принцип Даламбера для материальной точки и для материальной системы тел. Примеры.
38. Принцип Даламбера. Определение реакций связей при несвободном движении материальной точки и механической системы. Примеры.

39. Возможные перемещения. Классификация связей. Принцип возможных перемещений. Примеры.

40. Главный вектор и главный момент сил инерции при поступательном, вращательном и плоскопараллельном движении твердого тела. Примеры.

41. Общее уравнение динамики. Примеры.

42. Колебания машин и их деталей. Собственные колебания с одной степенью свободы. Учет затухания. Резонанс. Примеры.

## ЧАСТЬ 2. "СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ"

1. Проблемы прочности и надежности машин и элементов конструкций.

2. Модель прочностной надежности. Модель формы элементов конструкций и классификация тел по геометрическому признаку. Модель нагружения, внешние силы и их классификация. Модель материала – гипотезы сплошности, однородности, изотропности.

Деформации упругие и пластические

3. Внутренние силы в сечении тела. Метод сечений. Внутренние силовые факторы.

4. Понятие о напряжении в точке тела по проведенному сечению и его составляющих – нормальном и касательном напряжениях.

5. Линейно деформируемые системы. Закон Гука. Принцип независимости действия сил (принцип суперпозиции).

6. Понятие о перемещениях и деформациях (линейных и угловых), связь между напряжениями и деформациями. Принцип начальных размеров.

7. Основные (простые) виды нагружения стержня: растяжение и сжатие, прямой чистый изгиб, кручение. Напряжения, действующие в поперечном сечении стержня при простых видах нагружения.

8. Понятие о разрушении как механическом состоянии, проводящем к нарушению условий нормальной эксплуатации конструкций. Условия прочности и жесткости. Цель расчетов на прочность и на жесткость.

9. Расчет на прочность по напряжениям в опасной точке; область его применения. Фактический и нормативный коэффициент запаса прочности; допускаемое напряжение.

10. Растяжение и сжатие. Напряжение в поперечном сечении (вывод формулы). Гипотеза плоских сечений. Понятие о местных напряжениях. Принцип Сен-Венана.

11. Продольная и поперечная деформации при растяжении (сжатии); закон Гука. Вычисление удлинений участков и перемещений поперечных сечений.

12. Напряжения в наклонных к оси стержня сечениях при растяжении и сжатии (вывод формул). Понятие о напряженном состоянии в точке тела. Закон парности касательных напряжений.

13. Испытание материалов на растяжение, образцы для испытаний. Пластичные материалы (малоуглеродистая и легированные стали, сплавы). Диаграмма деформирования и диаграмма условных напряжений. Основные механические характеристики материала.

14. Испытание материалов на сжатие. Образцы для испытаний. Пластичные и хрупкие материалы и их механические характеристики при сжатии.

15. Влияние внешних условий на механические свойства материалов (температура, скорость нагружения, технология изготовления материалов и т.д.).

16. Принципы расчетов на прочность и на жесткость. Хрупкое и пластическое разрушение. Фактический и нормативный коэффициенты запаса прочности; допускаемое напряжение.

17. Задачи расчетов на прочность и на жесткость. Способы расчета.

18. Геометрические характеристики поперечных сечений стержня. Площадь и статические моменты площади сечения. Определение положения центральных осей.

19. Полярный момент инерции сечения. Вычисления полярных моментов инерции для круглого и кольцевого сечений. Полярный момент сопротивления при кручении круглого поперечного сечения.

20. Осевые и центробежные моменты инерции сечения, их изменение при параллельном переносе осей (вывод формул).

21. Понятие о главных центральных осях сечения, их свойства. Вычисление моментов инерции простейших фигур (прямоугольник, круг, прямоугольный треугольник).

22. Однородный чистый сдвиг. Кручение тонкостенной трубки. Испытание материалов при чистом сдвиге; диаграмма деформирования и основные механические свойства материалов.

23. Кручение прямого стержня круглого поперечного сечения (вала). Определение напряжений в поперечном сечении и углов поворота.

24. Условия прочности и жесткости при кручении, рациональные формы поперечных сечений.

25. Изгиб прямого стержня. Классификация видов изгиба (чистый, поперечный, прямой и косой). Внутренние силовые факторы при поперечном изгибе.

26. Построение эпюр внутренних силовых факторов в балках. Дифференциальные зависимости между внутренними силовыми факторами и интенсивностью распределенной поперечной нагрузки.

27. Прямой чистый изгиб. Определение кривизны изогнутой оси и напряжений в поперечном сечении прямого стержня (балки). Вывод формул.

28. Особенности прямого поперечного изгиба. Распространение формул, выведенных при чистом изгибе, на поперечный. Определение касательных напряжений по формуле Журавского.

29. Расчет на прочность при прямом изгибе. Рациональные формы поперечных сечений балок для пластичных и хрупких материалов.

30. Косой изгиб. Определение напряжений в поперечном сечении (на основе принципа независимости действия сил) и расчеты на прочность.

31. Изгиб с растяжением (сжатием) стержня большой жесткости. Расчет на прочность. Частные случаи, внецентренное растяжение и сжатие.

32. Пересечения при прямом изгибе. Дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня. Интегрирование его уравнения и определение постоянных интегрирования.

33. Основы теории напряжений в точке тела. Главные напряжения и виды напряженных состояний. Круговая диаграмма напряжений.

34. Деформированное состояние в точке тела. Виды деформированного состояния. Обобщенный закон Гука.

35. Прочность материалов при сложном напряженном состоянии. Предельное напряженное состояние. Эквивалентное напряжение.

36. Гипотеза максимальных касательных напряжений. Геометрическая интерпретация гипотезы. Применение гипотезы к расчету стержня круглого поперечного сечения при сложном нагружении.

37. Гипотеза октаэдрических касательных напряжений. Геометрическая интерпретация гипотезы. Применение гипотезы к расчету стержня на прочность при сложном нагружении.

38. Обобщенная теория прочности О. Мора. Применение к расчету стержня на прочность.

39. Устойчивость деформируемых систем. Устойчивость сжатого стержня. Определение критической силы по формуле Эйлера. Потеря устойчивости за пределом упругости. Работы Ясинского и Тет-Майера. Расчет сжатых стержней на устойчивость. Выбор материала и рациональные формы поперечного сечения.

40. Расчет сжатых стержней на устойчивость по коэффициенту снижения основного допускаемого напряжения.

41. Прочность при переменных напряжениях. Механизм усталостного разрушения, предел выносливости. Влияние на усталостную прочность асимметрии цикла, концентрации напряжений, размеров детали, состояния поверхности.

42. Коэффициент запаса прочности детали при переменных напряжениях. Основные конструктивные и технологические методы повышения усталостной прочности.

43. Свободные колебания системы с одной степенью свободы. Вынужденные колебания, резонанс.

### ЧАСТЬ 3. "ТММ И ДЕТАЛИ МАШИН"

1. Понятие механизма. Звенья, кинетические пары, кинетические цепи. Степень свободы плоского рычажного механизма.

2. Конструктивно-функциональная классификация механизмов.

3. Кинематический анализ механизма. Задачи кинематического анализа, способы их решения.

4. Динамика механизма. Динамическая модель механизма с одной степенью свободы. Кинетическая энергия механизма. Приведение масс в механизме (приведенная масса и приведенный момент инерции), пример.

5. Классификация усилий, действующих в плоском рычажном механизме. Приведение усилий к выбранному звену. Усилия сопротивления и движущее усилие. Определение составляющей движущего усилия, предназначенной для преодоления сил динамического сопротивления.

6. Суть и смысл замены плоского рычажного механизма его динамической моделью. Определение параметров модели и дальнейшее её использование (показать на примере).

7. Динамика механизма. Приведение сил в механизме. Приведенный статический момент пар сил сопротивления и приведенная статическая сила сопротивления. Пример.

8. Динамика механизма. Приведение сил в механизме. Приведенный динамический момент пары сил и приведенная динамическая сила. Пример.

9. Уравнения движения механизма в конечной форме. Период движения механизма.

10. Динамическая модель механизма. Уравнение движения динамической модели в дифференциальной форме.

11. Динамическая модель механизма. Уравнение движения динамической модели в интегральной форме.

12. Машиностроение, тенденции развития. Требования, предъявляемые к деталям и узлам машин.

13. Машины. Классификация машин. Основные принципы проектирования деталей машин. Элементы САПР.

14. Машиностроительные материалы: чугуны, стали, цветные металлы, пластмассы и резины. Механические, теплофизические свойства. Термообработка.

15. Машиностроительные материалы (стали). Влияние термической обработки на свойства (прочность, пластичность и т.д.) сталей.

16. Коэффициент полезного действия (КПД) – показатель эффективности механической системы, коэффициент потерь. КПД системы при последовательном и параллельном соединении её элементов.

17. Трение скольжения. Подшипники скольжения – условия работы, конструкции материалы, расчет.

18. Трение качения. Подшипники качения – условия работы, конструкция, материалы, расчет.

19. Зубчатые передачи. Основные характеристики (мощность, угловая скорость, КПД, передаточное число и передаточное отношение). Достоинство и недостатки. Геометрические характеристики эвольвентного прямозубого зацепления.

20. Усилия в зубчатом зацеплении. Виды разрушения зубьев. Расчет элемента зубчатого зацепления на прочность при переменных изгибающем и контактном воздействиях.

21. Материалы и термообработка зубчатых колес. Допускаемые изгибающие и контактные напряжения.

22. Червячные передачи. Основные характеристики (мощность, угловая скорость, КПД, передаточное число). Достоинства и недостатки.

23. Усилия в червячном зацеплении. Виды разрушения зубьев червячных колес. Расчет на прочность червячных передач. Тепловой расчет.

24. Назначение и классификация механических муфт. Нерасцепляемые жесткие (компенсирующие и не компенсирующие) муфты. Расчет зубчатой муфты.

25. Назначение и классификация механических муфт. Упругие нерасцепляемые и управляемые муфты. Расчет упругой втулочно-пальцевой муфты (МУВП).

26. Валы и оси. Назначение, конструкция, материалы и термообработка, расчет.

27. Резьбовые соединения и их конструкция. Классификация резьб. Геометрические параметры метрической резьбы. Методы изготовления резьбовых деталей. Стопорение резьбового соединения.

28. Расчет резьбы на прочность. Основные расчетные случаи (болт нагружен осевой силой, затяжка болта без нагрузки, нагружение сдвигающими усилиями, совместное действие затяжки и внешней нагрузки).

29. Назначение, классификация, конструкция и расчет заклепочных соединений.

30. Назначение, классификация и конструкция шпоночных соединений. Расчет призматических шпонок. Материалы и допускаемые напряжения.

31. Цепные передачи. Конструкция, критерии работоспособности и расчет передачи.

32. Редукторы. Классификация редукторов. Основные параметры редуктора (зубчатого и червячного).

33. Ременные передачи. Конструкция, критерии работоспособности и расчет передач.

34. Фрикционные передачи. Материалы катков. Виды разрушения передач. Расчет на прочность.