

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Верисокин Александр Евгеньевич  
Должность: И.О. директора института наук о земле  
Дата подписания: 06.04.2026 15:22:49  
Уникальный программный ключ:  
bba78f4c385ebf765cda3fef3917df7dfeb1e004

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Северо-Кавказский федеральный университет»

Колледж СКФУ в г. Ставрополе

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к практическим занятиям**

по (учебной) дисциплине ОП.06 Техническая механика.  
Специальность 21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений  
Форма обучения очная

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Техническая механика» составлены в соответствии с требованиями ФГОС СПО и предназначены для студентов, обучающихся по специальности: 21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Методические указания для учебной дисциплины разработаны:

- 1 Афанасьев Сергей Георгиевич, преподаватель колледжа СКФУ

## 1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Данные методические указания предназначены для оказания помощи студентам в выполнении практических работ по учебной дисциплине «Техническая механика».

Особое значение дисциплина имеет при формировании и развитии

ОК 01 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам

ОК 02 Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации, и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности

ОК 04 Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде

ПК2.1 Поддерживать технологический режим работы скважин

ПК3.3 Ликвидировать осложнения и аварии в процессе текущего (подземного) и капитального ремонта нефтяных и газовых скважин

ПК4.1 Выполнять основные технологические расчеты по выбору наземного и скважинного оборудования

ПК4.2 Проводить контроль технического состояния и работоспособности основного и вспомогательного оборудования для добычи нефти и газа

Код ПК, ОК	Умения	Знания
ОК 01 ОК 02 ОК 04 ПК 2.1 ПК 3.3 ПК 4.1 ПК 4.2	-определять напряжения в конструктивных элементах; -определять передаточное отношение; -проводить расчет и проектирование детали и сборочной единицы общего назначения; -производить расчеты на сжатие, срез, смятие; -производить расчеты элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость; -читать кинематические схемы.	-виды движений и преобразующие движения механизмы; -виды износа и деформаций деталей и узлов; -виды передач, их устройство, назначение, преимущества и недостатки, условные обозначения на схемах; -кинематика механизмов, соединения деталей машин, механические передачи, виды и устройство передач; -методика расчета конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при различных видах деформации.

### Виды задач и планы их решения

На практических занятиях по физике обычно используются:

1) задачи-упражнения, помогающие студентам приобрести твёрдые навыки расчёта и вычислений;

2) задачи для демонстрации практического применения тех или иных законов;

3) задачи для закрепления и контроля знаний;

4) познавательные задачи.

Задачи для закрепления и контроля знаний и задачи-упражнения рассчитаны на использование готовых знаний, полученных из книг, лекций, от преподавателя. Решение таких задач опирается в основном на механизмы памяти и внимания. Оно в известном смысле полезно и даже необходимо.

Например, при решении задачи-упражнения на количественный расчёт средней квадратичной скорости молекул газа при заданных условиях (температуре) студенты должны знать формулу для расчёта средней квадратичной скорости молекул, значение универсальной газовой постоянной, и убедиться, что скорости молекул очень велики даже при комнатных температурах. Всё это полезно для изучения молекулярной физики. Однако только те задачи, в которых устанавливаются новые,

неизвестные ранее студентам связи между знакомыми физическими характеристиками, являются стимулятором их умственной деятельности. К таким задачам в первую очередь относятся познавательные задачи. Отличие познавательных задач от задач других видов состоит в том, что в процессе их решения обучающийся приобретает новые знания.

Если студент имеет слабую теоретическую подготовку, решение задач подобного рода может оказаться для него непосильным. Даже в этом случае, если, присутствуя на занятиях, он познакомится с ходом решения и результатом, этого будет недостаточно для достижения цели познавательной задачи. Поэтому нужно требовать, чтобы студенты готовили теоретический материал, и показывать им, что именно невыполнение этого требования приводит к неудаче при решении задач.

Для решения задач расчётного характера достаточно составить систему уравнений, а дальше всё сводится к математическим действиям. Некоторые задачи требуют для решения геометрических построений и использования графиков. Несмотря на различие в видах задач, их решение можно проводить по следующему общему плану (некоторые пункты плана могут выпадать в некоторых конкретных случаях), который надо продиктовать студентам:

1. прочесть внимательно условие задачи;
2. посмотреть, все ли термины в условиях задачи известны и понятны (если что-то неясно, следует обратиться к учебнику, просмотреть решения предыдущих задач, посоветоваться с преподавателем);
3. записать в сокращенном виде условие задачи (когда введены стандартные обозначения, легче вспоминать формулы, связывающие соответствующие величины, чётче видно, какие характеристики заданы, все ли они выражены в одной системе единиц и т.д.);
4. сделать чертёж, если это необходимо (делая чертёж, нужно стараться представить ситуацию в наиболее общем виде, например, если решается задача о колебании маятника, его следует изобразить не в положении равновесия, а отклонённым);
5. произвести анализ задачи, вскрыть её физический смысл (нужно чётко понимать, в чем будет заключаться решение задачи; так, если требуется найти траекторию движения точки, то ответом должна служить запись уравнений кривой, описывающей эту траекторию; на вопрос, будет ли траектория замкнутой линией, следует ответить «да» или «нет» и объяснить, почему выбран такой ответ);
6. установить, какие физические законы и соотношения могут быть использованы при решении данной задачи;
7. составить уравнения, связывающие физические величины, которые характеризуют рассматриваемые явления с количественной стороны;
8. решить эти уравнения относительно неизвестных величин, получить ответ в общем виде. Прежде чем переходить к численным значениям, полезно провести анализ этого решения: он поможет вскрыть такие свойства рассматриваемого явления, которые не видны в численном ответе;
9. перевести количественные величины в общепринятую систему единиц (СИ), найти численный результат;
10. проанализировать полученный ответ, выяснить как изменяется искомая величина при изменении других величин, функцией которых она является, исследовать предельные случаи.

Приведённая последовательность действий при решении задач усваивается студентами, как правило, в ходе занятий, когда они на практике убеждаются в её целесообразности. Поэтому в конце занятия полезно подвести итог, сформулировать найденный алгоритм рассуждений. Заметим, впрочем, что не всегда может быть предложен алгоритм решения задачи.

При анализе задач на аудиторных занятиях полезно возвращаться к плану. Отклонение от него в большинстве случаев не позволяет студенту решить задачу. Тогда нужно напомнить ему, какой этап пропущен и указать, что именно это и послужило причиной неудачи.

### Пример решения задачи

Задача.

Тело брошено от поверхности земли под углом  $\alpha$  к горизонту с начальной скоростью  $v_0$ . Определить высоту подъёма и дальность полёта.

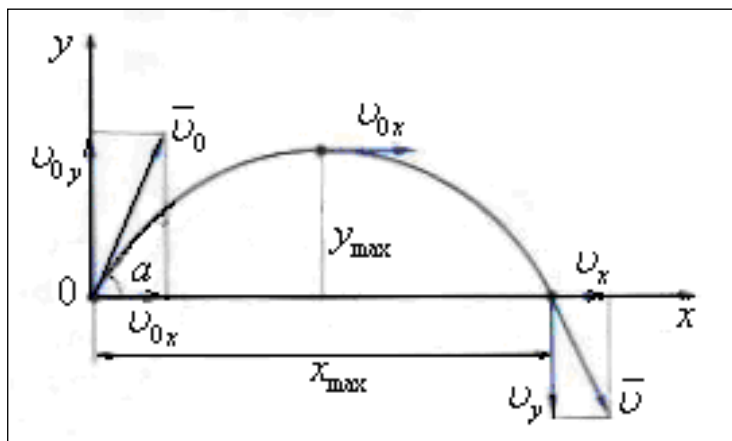
Дано:  
 $\alpha$

Решение

$v_0$	Пусть тело брошено от поверхности земли под углом $\alpha$ к горизонту с начальной скоростью $v_0$ .
Найти:	
y-? x-?	

Выберем систему отсчёта таким образом:

- совместив начало прямоугольной декартовой системы координат с началом движения тела;
- ось икс направлена горизонтально;
- ось игрек – вертикально;
- часы отсчитывают время от момента начала движения.



Движение тела под углом к горизонту является равноускоренным, так как происходит в поле тяготения и его описывают следующие уравнения:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}$$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} t$$

$$\vec{a} = \text{const}$$

Уравнения в проекции на выбранные оси координат запишутся:

$$\begin{cases} x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} \\ v_x = v_{0x} + a_x t \\ a_x = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = x_0 + v_{0x} t \\ v_x = v_{0x} \end{cases}$$

$$\begin{cases} y = y_0 + v_{0y} t + \frac{a_y t^2}{2} \\ v_y = v_{0y} + a_y t \\ a_y = -g \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y = y_0 + v_{0y} t - \frac{g t^2}{2} \\ v_y = v_{0y} - g t \end{cases}$$

Уравнение проекции начальной скорости на оси координат запишется:

$$\begin{cases} v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha \end{cases}$$

Из систем уравнений можно выразить время, учитывая, что в верхней точке  $v_y = 0$ , определить время подъёма тела:

$$0 = v_0 \sin \alpha - g t$$

$$t = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$\text{Высота подъёма: } y = y_0 + v_0 \sin \alpha \frac{v_0 \sin \alpha}{g} - \frac{g}{2} \left( \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \right)^2 = \frac{(v_0 \sin \alpha)^2}{2g}$$

$$\text{Дальность полёта: } x = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$\text{Ответ: } y = \frac{(v_0 \sin \alpha)^2}{2g}, x = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

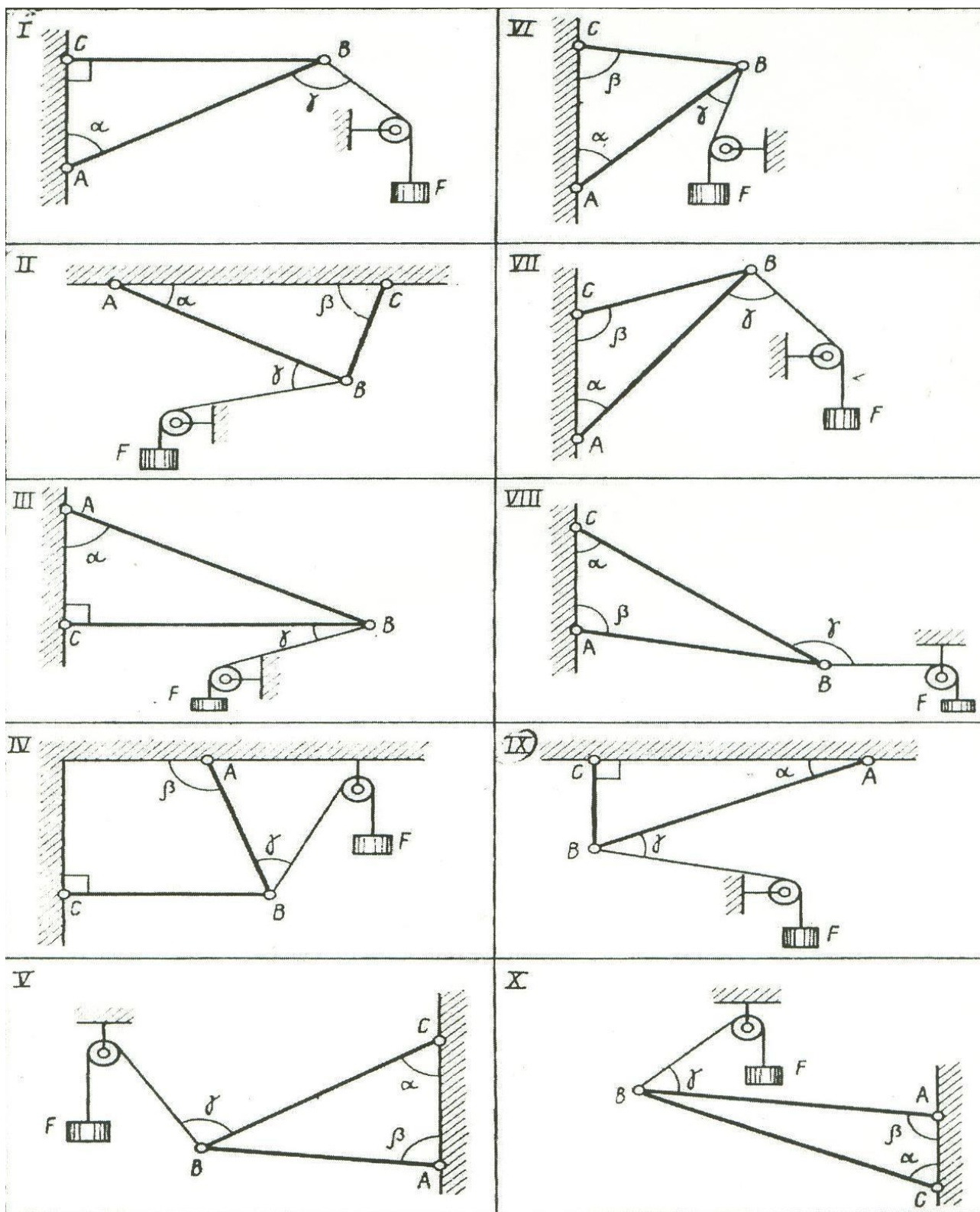
### Объем и содержание практических занятий

№	Наименование темы дисциплины и практического занятия	Форма контроля	Объем часов
1	Практическое занятие № 1 Тема. <i>Определение равнодействующей плоской системы сходящихся сил аналитическим способом.</i>	письменный отчёт	2
2	Тема. <i>Определение равнодействующей плоской системы сходящихся сил геометрическим способом.</i>	письменный отчёт	2
3	Практическое занятие № 3 Тема. <i>Определение центра тяжести плоских фигур.</i>	письменный отчёт	2
4	Практическое занятие № 4 Тема. <i>Решение задач на определение реакций в шарнирах балочных систем.</i>	письменный отчёт	2
5	Практическое занятие № 5 Тема. <i>Решение задач на определение реакций жестко заземленных балок.</i>	письменный отчёт	2
6	Практическое занятие № 6 Тема. <i>Определение параметров движения точки для любого вида движения.</i>	письменный отчёт	2
7	Практическое занятие № 7 Тема. <i>Решение задач на проверку законов трения.</i>	письменный отчёт	2
8	Практическое занятие № 8 Тема. <i>Решение задач на определение момента силы относительно оси пространственной системы произвольно расположенных сил.</i>	письменный отчёт	2
9	Практическое занятие № 9 Тема. <i>Решение задач на построение эпюр нормальных сил, нормальных напряжений, перемещений сечений бруса.</i>	письменный отчёт	4
10	Практическое занятие № 10 Тема. <i>Решение задач на определение главных центральных моментов инерции составных сечений, имеющих ось симметрии.</i>	письменный отчёт	2
11	Практическое занятие № 11 Тема. <i>Решение задач на построение эпюр крутящих моментов, углов закручивания.</i>	письменный отчёт	2
12	Практическое занятие № 12 Тема. <i>Решение задач на построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов.</i>	письменный отчёт	2
13	Практическое занятие № 13 Тема. <i>Выполнение проекровочного расчета валов передачи.</i>	письменный отчёт	2
14	Практическое занятие № 14 Тема. <i>Изучение конструкций узлов подшипников, их обозначение и основные типы.</i>	письменный отчёт	2
15	Практическое занятие № 15 Тема. <i>Выполнение расчета параметров ременной передачи.</i>	письменный отчёт	2

16	Практическое занятие № 16 Тема. <i>Решение задач по расчету винта на износостойкость, проверка винта на прочность и устойчивость.</i>	письменный отчёт	2
	<b>Итого:</b>		<b>34</b>



	$\beta$	100	110	120	130	140	105	100	120	110	130
	$\gamma$	35	50	60	20	10	45	30	30	50	70
Схема		V									
Вариант		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
F, кН		50	60	70	80	90	50	60	70	80	90
Углы, град	$\alpha$	50	30	30	20	40	50	45	30	40	50
	$\beta$	80	80	60	90	70	60	80	70	60	60
	$\gamma$	85	40	110	30	60	35	70	40	60	80
Схема		VI									
Вариант		51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
F, кН		50	60	70	80	90	50	60	70	80	90
Углы, град	$\alpha$	50	60	40	30	65	30	45	60	50	30
	$\beta$	70	80	70	80	80	45	80	60	80	60
	$\gamma$	30	40	20	10	25	15	20	50	25	20
Схема		VII									
Вариант		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
F, кН		50	60	70	80	90	50	60	70	80	90
Углы, град	$\alpha$	40	60	40	50	70	30	45	50	30	40
	$\beta$	120	110	100	105	95	95	110	100	120	105
	$\gamma$	70	70	50	120	80	60	80	60	70	100
Схема		VIII									
Вариант		71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
F, кН		50	60	70	80	90	50	60	70	80	90
Углы, град	$\alpha$	45	30	30	40	50	65	50	30	70	70
	$\beta$	110	120	100	100	105	95	95	110	95	95
	$\gamma$	140	140	120	80	130	130	100	110	105	80
Схема		IX									
Вариант		81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
F, кН		50	60	70	80	90	50	60	70	80	90
Углы, град	$\alpha$	20	20	40	40	70	50	45	60	30	50
	$\beta$	90	90	95	90	90	90	90	90	90	90
	$\gamma$	35	80	50	100	100	60	80	110	80	90
Схема		X									
Вариант		91	92	93	94	95	96	97	98	99	00
F, кН		50	60	70	80	90	50	60	70	80	90
Углы, град	$\alpha$	45	50	70	70	30	60	30	40	30	60
	$\beta$	115	100	95	95	120	100	115	105	110	105
	$\gamma$	50	40	60	100	90	60	70	80	80	30



### Вопросы для самоконтроля:

1. Назовите разделы теоретической механики и укажите, какие вопросы в них изучают.
2. Дайте определение материи. Перечислите формы движения материи.
3. В чем общность понятий абсолютно твердого тела и материальной точки и в чем их различие?
4. Дайте определение силы.
5. Какие системы сил называют статически эквивалентными?
6. Что такое равнодействующая системы сил, уравновешивающая сила?
7. Сформулируйте аксиомы статики.
8. Какие тела называются свободными, а какие несвободными?
9. Что называется связью?
10. Что такое реакция связи?

11. Перечислите виды связей и укажите направление соответствующих им реакций.

12. Какие связи называются идеальными? Какое направление имеют их реакции?

## Тема 1.2

**Пара сил и момент силы относительно точки. Плоская система произвольно расположенных сил.**

### Практическое занятие № 2

**Тема.** *Определение равнодействующей плоской системы сходящихся сил геометрическим способом. (2 часа)*

**Цель практической работы:** закрепление теоретических знаний и практических умений определения равнодействующей, решения задач на равновесие в геометрической форме.

**Материалы, оборудование, программное обеспечение:** учебник, калькулятор, линейка, карандаш, транспортир

### Ход работы.

Пункты 1 – 8 практической работы №1 составляют аналитический метод решения задач этого типа, который является универсальным, а 1 – 11 – графический метод решения, который является проверочным.

Решение задач на равновесие твердого тела, к которому приложена плоская система сходящихся сил, рекомендуется проводить в следующем порядке:

1. Выделить объект равновесия;
2. Изобразить активные силы;
3. Освободить тело от связей, применив закон освобожденности от связей, приложить к нему соответствующие реакции связей;
4. Рассмотреть равновесие данного несвободного твердого тела, как тела свободного, находящегося под действием активных сил и реакций связей;
5. Убедиться в том, что данная задача является статически определимой, т.е. что число алгебраических неизвестных не более двух;
6. Выбрать в плоскости действия сил систему осей координат  $xOy$ ;
7. Построить замкнутый силовой многоугольник (построение надо начинать с силы, известной как по модулю, так и по направлению);
8. Определить искомые величины из силового многоугольника.
9. Если число активных сил и реакций связей, приложенных к твердому телу, находящемуся в равновесии, равно трем, то 1-й и 2-й пункты задачи сводятся к построению и решению силового треугольника;
10. При выборе осей координат целесообразно их направить так, чтобы они были параллельны либо перпендикулярны большинству слагаемых сил;
11. Для определения проекции силы на ось можно пользоваться следующим приемом: вычислить модуль проекции силы как произведение модуля силы на косинус острого угла на оси проекций.

### Задание.

Задача 1. Определить усилие в стержнях кронштейна от приложенной внешней силы. Задачу выполнить геометрическим способом. Трением в блоке пренебречь. Данные для задачи своего варианта взять из таблицы 1 и схемы на рисунке 1.

### Вопросы для самоконтроля:

1. Что называется проекцией силы на ось?
2. В каком случае проекция силы на ось равна нулю?
3. Сформулируйте определение плоской системы сходящихся сил.

4. Геометрический способ нахождения равнодействующей плоской системы сходящихся сил.
5. Сформулируйте аналитическое условие равновесия плоской системы сходящихся сил.
6. Что такое пара сил? Какое действие на тело оказывает пара сил?
7. Что такое плечо пары сил, момент пары сил?
8. Сформулируйте условие равновесия системы пар сил.

### Тема 1.3

#### Пространственные системы сил. Центр тяжести тела. Устойчивость равновесия.

#### Практическое занятие № 3

**Тема.** Определение центра тяжести плоских фигур. (2 часа)

**Цель практической работы:** закрепление теоретических знаний и практических умений, определения центра тяжести плоских фигур и сечений, составленных из стандартных прокатных профилей

**Материалы, оборудование, программное обеспечение:** учебник, калькулятор, линейка, карандаш.

#### Краткие теоретические положения.

Центром тяжести тела называется точка приложения его силы тяжести. Силы тяжести элементов тела представляют собой систему сходящихся сил, линии действия которых пересекаются в центре Земли. Однако углы между этими линиями настолько малы, что в технических расчетах ими пренебрегают. Поэтому центр тяжести тела можно рассматривать как центр системы параллельных сил, образуемых силами тяжести его элементов.

Если на  $k$ -ю часть тела действует сила тяжести  $P_k$ , то координаты центра тяжести тела определяются формулами:

$$x_c = \frac{\sum P_k \cdot x_k}{\sum P_k}; \quad y_c = \frac{\sum P_k \cdot y_k}{\sum P_k}; \quad z_c = \frac{\sum P_k \cdot z_k}{\sum P_k}, \quad (1)$$

где  $x_k, y_k, z_k$ - координаты центров тяжести частей.

Если тело представляет собой однородную пластину постоянной толщины, то координаты ее центра тяжести:

$$x_c = \frac{1}{S} \sum S_k \cdot x_k, \quad y_c = \frac{1}{S} \sum S_k \cdot y_k, \quad (2)$$

где  $S = \sum S_k$ - площадь всего тела;  $x_k, y_k$ - координаты центров тяжести частей тела.

Координаты центра тяжести объемного тела постоянной плотности находятся по формулам:

$$x_c = \frac{1}{V} \sum V_k \cdot x_k, \quad y_c = \frac{1}{V} \sum V_k \cdot y_k, \quad z_c = \frac{1}{V} \sum V_k \cdot z_k, \quad (3)$$

где  $V = \sum V_k$ - объем всего тела  $V_k$  – объём  $k$ -ой части.

Для тела, которое можно представить в виде тонкой линии в пространстве, формулы для координат центра тяжести получаются в виде:

$$x_c = \frac{1}{L} \sum l_k \cdot x_k, \quad y_c = \frac{1}{L} \sum l_k \cdot y_k, \quad z_c = \frac{1}{L} \sum l_k \cdot z_k, \quad (4)$$

где  $L = \sum l_k$ - длина всей линии;  $l_k$ - длины ее частей.

Если однородное тело имеет *плоскость, ось или центр симметрии*, то его центр тяжести находится на плоскости, на оси или в центре симметрии.

Для тел, которые можно разбить на части, центры тяжести которых определяются без труда, используется метод *разбиения*, основанный на непосредственном использовании формул типа (2), (3), (4).

## Пример решения задачи

**Задача 1 . Рассчитать центра масс фигуры (рис.1):**

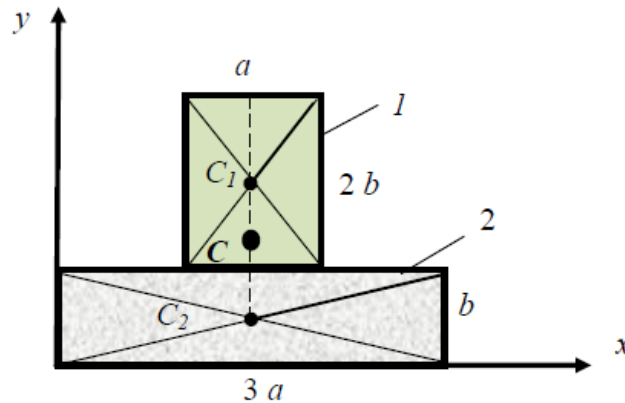


Рисунок 1.

1. Разобьем данную фигуру на несколько частей.
2. Рассчитаем площади полученных фигур.

$$S_1 = 3ab; S_2 = 2ab; S = S_1 + S_2 = 3ab + 2ab = 5ab.$$

3. Найдём координаты центра масс. Расчеты выполним с помощью таблицы.

№ фигуры	$S_i, \text{ см}^2$	$X_i, \text{ см}$	$Y_i, \text{ см}$	$S_i \cdot X_i, \text{ см}^3$	$S_i \cdot Y_i, \text{ см}^3$
1	$3ab$	$1,5a$	$0,5b$	$4,5 a^2b$	$1,5 ab^2$
2	$2ab$	$1,5a$	$2b$	$3 a^2b$	$4 ab^2$
$\Sigma$	$5ab$			$7,5 a^2b$	$5,5 ab^2$

$$X_C = (S_1 \cdot X_1 + S_2 \cdot X_2) / (S_1 + S_2) = 7,5 a^2b / 5ab = 1,5a,$$

$$Y_C = (S_1 \cdot Y_1 + S_2 \cdot Y_2) / (S_1 + S_2) = 5,5 a^2b / 5ab = 1,1b.$$

Центр тяжести  $C$  пластины:  $C (1,5a; 1,1b)$ .

**Задача 2.** Из однородной пластины в виде прямоугольного треугольника  $OAB$  с основанием  $OB$  и высотой  $OA$  вырезан полукруг радиусом  $R$  (рис. 2). Определить координаты центра тяжести  $C$  оставшейся заштрихованной части треугольника, если  $OB = 60 \text{ см}$ ,  $OA = 45 \text{ см}$ ,  $R = 20 \text{ см}$ .

**Задача 2.** Из однородной пластины в виде прямоугольного треугольника  $OAB$  с основанием  $OB$  и высотой  $OA$  вырезан полукруг радиусом  $R$  (рис. 2).

Определить координаты центра тяжести  $C$  оставшейся заштрихованной части треугольника, если  $OB = 60$  см,  $OA = 45$  см,  $R = 20$  см.

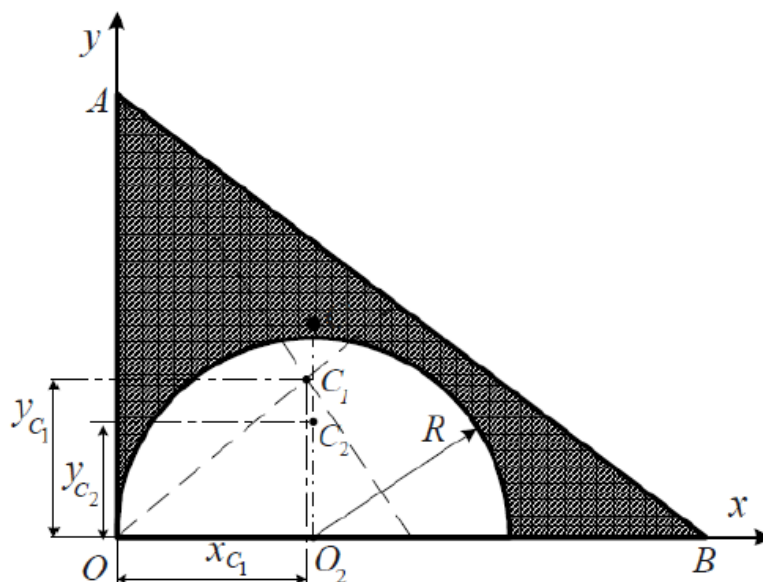


Рисунок 2.

**Решение.** Для нахождения координат центра тяжести этой пластины воспользуемся *способом дополнения*. Примем вершину  $O$  треугольника  $OAB$  за начало декартовой системы координат  $Oxy$ . Пластину рассматриваем как фигуру, составленную из двух частей: треугольника  $OAB$  с центром тяжести  $C_1$  в точке пересечения его

**Решение.** Для нахождения координат центра тяжести этой пластины воспользуемся *способом дополнения*. Примем вершину  $O$  треугольника  $OAB$  за начало декартовой системы координат  $Oxy$ . Пластину рассматриваем как фигуру, составленную из двух частей: треугольника  $OAB$  с центром тяжести  $C_1$  в точке пересечения его медиан; и выреза в виде полукруга радиусом  $R = 20$  см, с центральным углом  $2\alpha = \pi$  с центром тяжести  $C_2$ , лежащим на оси его симметрии параллельной оси  $Oy$  (рис.2).

Вычислим площади  $S_1, S_2$  и координаты центров тяжести  $C_1$  и  $C_2$  частей пластины, подставляя данные задачи:

1) площадь треугольника  $OAB$

$$S_1 = S_{OAB} = \frac{1}{2} OA \cdot OB = 1350 \text{ см}^2$$

Координаты центра тяжести прямоугольного треугольника найдем по формулам:

$$x_{C_1} = \frac{1}{3} OB = 20 \text{ см}, \quad y_{C_1} = \frac{1}{3} OA = 15 \text{ см};$$

2) площадь полукруга радиусом  $R = 20$  см отрицательна, так как она вычитается из площади треугольника  $OAB$

$$S_2 = - \frac{\pi R^2}{2} = - 628 \text{ см}^2,$$

$$x_{C_2} = OO_2 = R = 20 \text{ см},$$

Координату  $y_{C_2}$  вычисляем по формуле:

$$y_{C_2} = O_2C_2 = \frac{2R \sin \alpha}{3\alpha} = \frac{2 \cdot R \sin \frac{\pi}{2}}{3 \cdot \frac{\pi}{2}} = \frac{4R}{3\pi} = 8,49 \text{ см}.$$

Сведем данные в таблицу.

№ фигуры	$S_i, \text{ см}^2$	$X_i, \text{ см}$	$Y_i, \text{ см}$	$S_i \cdot X_i, \text{ см}^3$	$S_i \cdot Y_i, \text{ см}^3$
1	1350	20	15	27 000	20 250
2	- 628	20	8,49	-12 560	-5 331, 72
$\Sigma$	722			14 440	14 918, 28

Координаты центра тяжести  $C$  треугольника из которого вырезан

Координаты центра тяжести  $C$  треугольника из которого вырезан полукруг находим по формулам (5):

$$x_C = \frac{S_1 x_{C_1} + S_2 x_{C_2}}{S} = \frac{20 \cdot 1350 - 20 \cdot 628}{722} = 20 \text{ см},$$

$$y_C = \frac{S_1 y_{C_1} + S_2 y_{C_2}}{S} = \frac{15 \cdot 1350 - 8,49 \cdot 628}{722} = 20,66 \text{ см}.$$

Координата центра тяжести  $C$  заштрихованной части треугольника  $C$  (20; 20,66) (рис.2).

Для тел, имеющих вырезы, если центры тяжести тела без выреза и вырезанной части известны, используется метод дополнения. Согласно этому методу (например, в случае одного выреза) координаты центра тяжести находятся по формуле (2).

$$X_c = \frac{S_1 X_1 - S_2 X_2}{S_1 - S_2}, \quad Y_c = \frac{S_1 Y_1 - S_2 Y_2}{S_1 - S_2} \quad (5)$$

где  $S_1$  – площадь без выреза;  $X_1, Y_1$  – координаты центра тяжести;  $S_2$  – площадь выреза;  $X_2, Y_2$  – координаты центра тяжести выреза.

При рассмотрении однородных тел правильной геометрической формы используется интегрирование. Для пространственных тел в формулах (3) суммы обращаются в интегралы по объему:

$$X_c = \frac{1}{V} \int_{(V)} X dV, \quad Y_c = \frac{1}{V} \int_{(V)} Y dV, \quad Z_c = \frac{1}{V} \int_{(V)} Z dV. \quad (6)$$

Для плоских фигур используются интегралы по площади:

$$X_c = \frac{1}{S} \int_{(S)} X dS, \quad Y_c = \frac{1}{S} \int_{(S)} Y dS, \quad Z_c = \frac{1}{S} \int_{(S)} Z dS. \quad (7)$$

Для линейных тел в пространстве используются криволинейные интегралы:

$$X_c = \frac{1}{L} \int_{(L)} X dL, \quad Y_c = \frac{1}{L} \int_{(L)} Y dL, \quad Z_c = \frac{1}{L} \int_{(L)} Z dL. \quad (8)$$

#### **Ход работы.**

I. Для нахождения положения центров тяжести однородных тел способом разбиения следует:

1. Разбить фигуру на части, положения центров тяжести  $C_k$  ( $k=1, \dots, n$ ) которых, известны.
2. Ввести декартову систему координат.
3. Определить центры масс, а так же величины  $l_k, S_k$  или  $V_k$  каждой из частей.
4. Вычислить координаты центра тяжести искомой фигуры по формулам (2), (3), (4).

#### **Варианты заданий для самостоятельного решения**

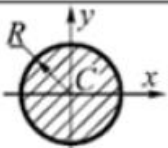
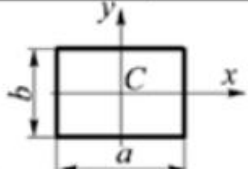
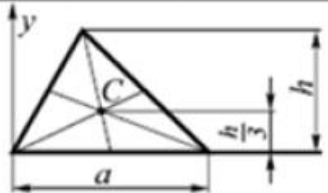
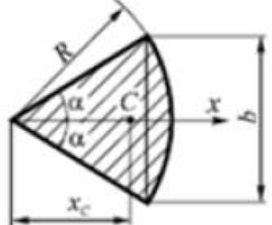
Найти координаты центра тяжести заштрихованной части изображенной плоской фигуры, если  $a = 4$  см.

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
6	

13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	

25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	

**Площади и координаты центров тяжести плоских фигур**

Наименование	Расчетная схема	Площадь	Координаты центра тяжести
Круг		$S = \pi R^2$	$x_C = 0$ ; $y_C = 0$
Прямоугольник		$S = ab$	$x_C = \frac{a}{2}$ ; $y_C = \frac{b}{2}$
Треугольник		$S = \frac{1}{2}ah$	$y_C = \frac{1}{3}h$
Круговой сектор		$S = \alpha R^2$	$x_C = \frac{2R \sin \alpha}{3\alpha} = \frac{R^2 b}{3S}$

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Что такое центр параллельных сил?
2. Как найти координаты центра параллельных сил?
3. Что такое центр тяжести тела?
4. Как найти центр тяжести прямоугольника, треугольника, круга?
5. Как найти координаты центра тяжести плоского составного сечения?
6. В каком случае для определения центра тяжести достаточно определить одну координату расчетным путем?
7. На какие составные фигуры можно разбить составные сечения для определения их центра тяжести?

**Тема 1.4**

**Основные понятия кинематики. Кинематика точки.**

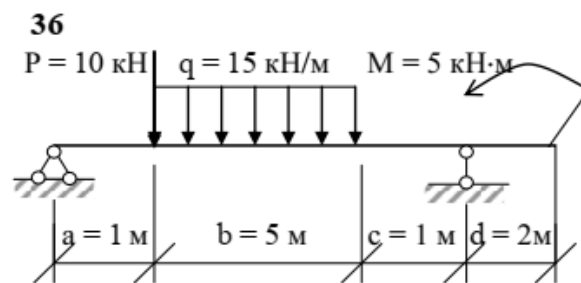
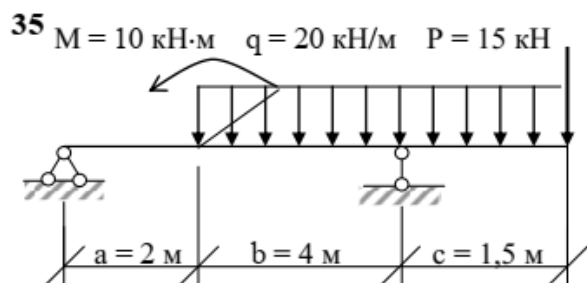
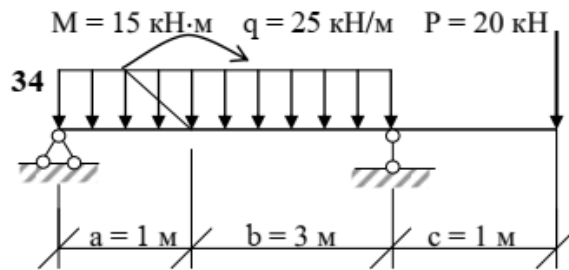
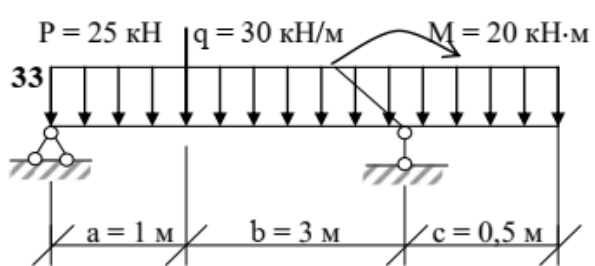
Практическое занятие № 4

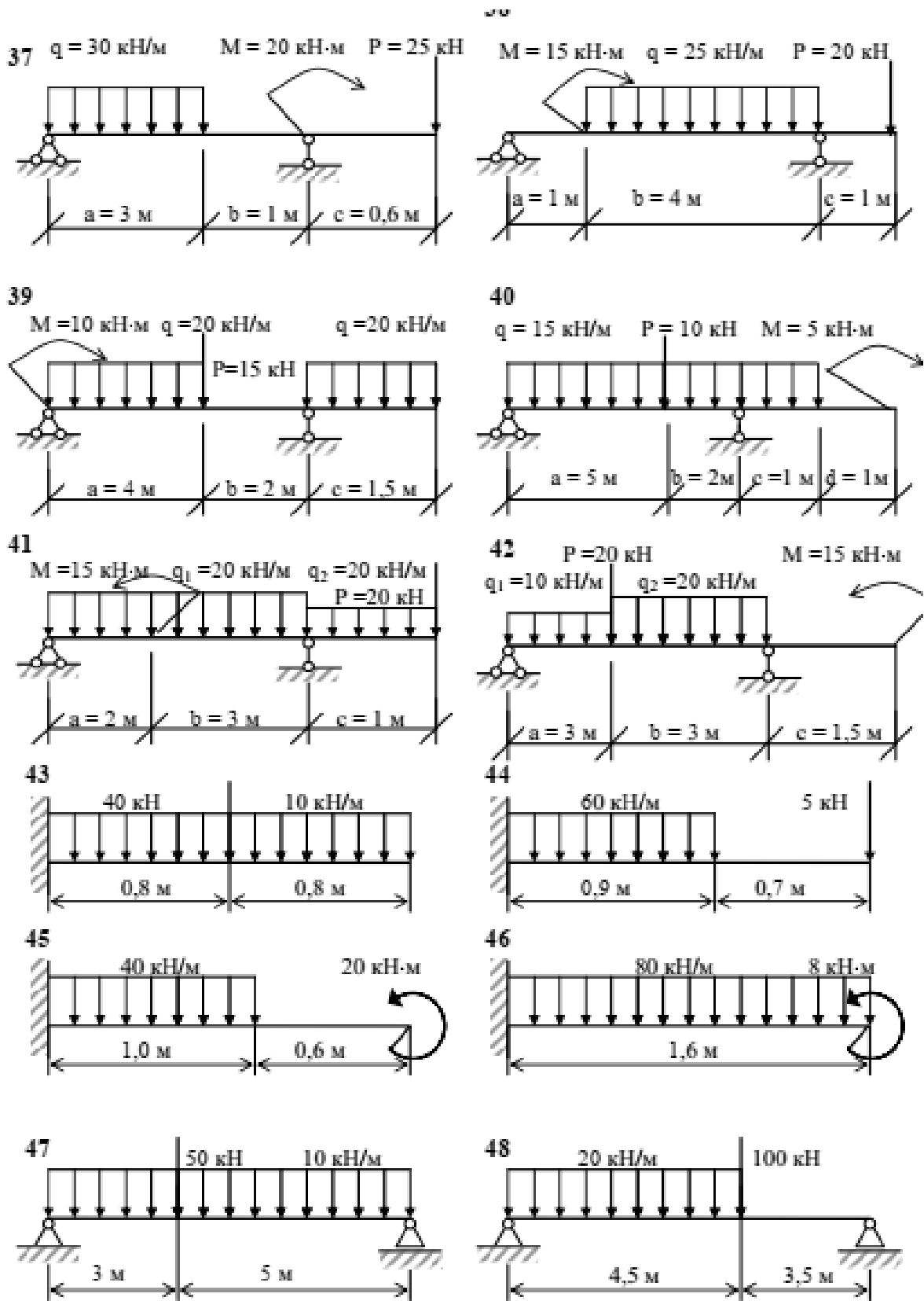
Тема. *Решение задач на определение реакций в шарнирах балочных систем. (2 часа)*

**Цель работы:** Научится определять реакции в шарнирах балочных систем.

**Порядок выполнения работ:**

1. Заменить распределённую нагрузку её равнодействующей и указать точку её приложения.
2. Освободить балку от связей, заменив их реакциями.
3. Выбрать систему уравнений равновесия.
4. Решить уравнения равновесия.
5. Выполнить проверку решения.





### Практическое занятие № 5

**Тема.** Решение задач на определение реакций жестко заземленных балок. (2 часа)

**Цель работы:** Научится определять реакции жесткой заделки консольной балки.

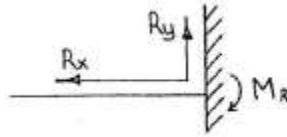
**Порядок выполнения работ:**

1. Изобразить схему в соответствии с вариантом.

2. Заменить распределенную нагрузку ее равнодействующей

$Q = q \cdot l$ . Приложить равнодействующую к балке в центре тяжести соответствующего прямоугольника.

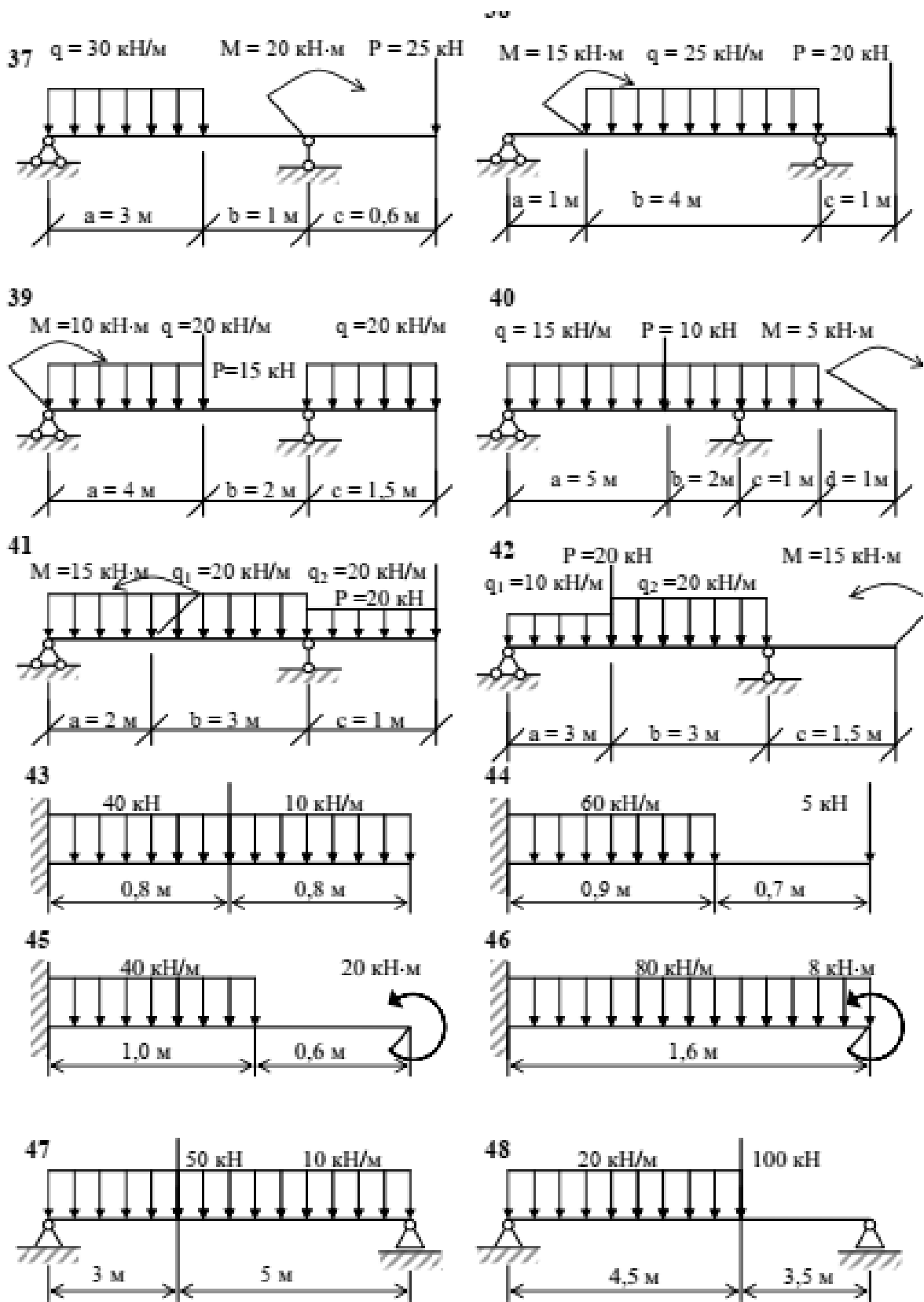
3. Заменить жесткую заделку ее реакциями.



4. Составить расчетную схему балки.
5. Выбрать оси координат.
6. Составить уравнения равновесия:  $\sum M_A = 0$ ;  $\sum F_x = 0$ ;  $\sum F_y = 0$ .
7. Из уравнений равновесия найти неизвестные реакции.
8. Провести проверку правильности решения, составить уравнения:  $\sum M_c = 0$
9. Записать ответы.
10. Сделать вывод.

**Задание:**

Определить реакции жесткой заделки балки.



### Вопросы для самоконтроля.

1. Брус находится в равновесии, опираясь на гладкую вертикальную стену и шероховатый горизонтальный пол, сила тяжести бруса приложена посередине. Можно ли определить направление полной реакции пола?
2. Какие уравнения и сколько можно составить для уравновешенной пространственной системы сходящихся сил?
3. Почему при определении момента силы относительно оси нужно обязательно проецировать силу на плоскость, перпендикулярную оси?
4. Как нужно расположить ось, чтобы момент данной силы относительно этой оси равнялся нулю?

## Тема 1.6

### Сложное движение точки и твёрдого тела.

#### Практическое занятие № 6

Тема. *Определение параметров движения точки для любого вида движения. (2 часа)*

Цель работы: *Научиться определять параметры движения точки для любого вида движения.*

#### Порядок выполнения работ:

При решении задач на сложное движение точки следует придерживаться следующих этапов:

1. Выделить точку, совершающую сложное движение, и посмотреть, в каких движениях она участвует.
2. Выбрать неподвижную систему координат, условно связанную с Землей, и подвижную систему координат, жестко связанную с телом, относительно которого движется точка.
3. Определить переносное, относительное, абсолютное движения и их характер.
4. Определить положение точки в данный момент времени.
5. Записать теорему о сложении скоростей и определить переносную, относительную и абсолютную скорости точки.

Записать теорему Кориолиса о сложении ускорений; определить составляющие абсолютного ускорения.

Задание:

#### Задача 1.

Диск радиусом  $R$  вращается вокруг оси, проходящей через точку  $O$  перпендикулярно плоскости чертежа с постоянной угловой скоростью. По ободу движется точка  $M$  по закону. В момент времени  $t$  определить абсолютную скорость и ускорение точки.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
вар.	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32													
R(м)	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2
$\omega$ (рад/с)	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
S	$S = \vec{OM} = \frac{\pi R t}{4}$					$S = \frac{\pi R t}{6}$					$S = \pi R t$				
t(сек)	1					2					1				

#### Задача 2.

Квадратная пластинка стороной  $a$  вращается вокруг оси  $Oz$ , по закону  $\varphi = \varphi(t)$

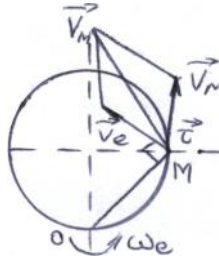
По стороне пластинки движется точка  $M$  по закону  $S = S(t)$ . Определить переносные ускорения точки  $M$  и ускорение Кориолиса при различных значениях времени  $t$ .

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
вар.	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	31	32													
a (м)	0,2					0,4					0,2				
$\varphi$	$\varphi = 6t - 4t^2$					$8t - 2t^2$					$4t - t^2$				
S	$S = 0,3t$					$S = 0,4t$					$S = 0,2t$				
t(сек)	1					2					1				

Относительное движение задано естественным способом, известен закон движения точки траектории. Тогда

$$V_r = S_t \rightarrow$$

Где  $\rightarrow$  - орт касательной. Получим  $U_r = S = \pi R = 1,57$



(м/с). Покажем на чертеже (рис. 4) векторы  $\vec{V}_e, \vec{V}_\Gamma$ ; вектор  $\vec{V}_M$  является диагональю параллелограмма, построенного на векторах  $\vec{V}_e, \vec{V}_\Gamma$ . Модуль абсолютной скорости (1) точки М определим по теореме косинусов:

$$V_M = \sqrt{V_e^2 + V_\Gamma^2 + 2 V_e V_\Gamma \cos 45^\circ} = 5,01 \text{ м/с.}$$

Рис.4

5. Определим абсолютное ускорение точки М по теореме Кориолиса:

$$\vec{a}_M = \vec{a}_e + \vec{a}_r + \vec{a}_c \quad (2)$$

Переносное ускорение точки М  $\vec{a}_e$  - ускорение той точки диска, с которой в данный момент времени совпадает наша точка. Поэтому

$$\vec{a}_e = \vec{a}_e^n + \vec{a}_e^t$$

где  $\vec{a}_e^n$  - нормальное переносное ускорение;

$\vec{a}_e^t$  - касательное переносное ускорение. Получаем:

$$\vec{a}_e^t = \omega_e^2 * R \sqrt{2} = 2^2 * 0,5 \sqrt{2} = 2,8 \text{ (м/с)},$$

$\vec{a}_e^n = \epsilon_e * R \sqrt{2} = 0$ , так как  $\omega_e = \text{const}$ . Покажем  $\vec{a}_e^n$  на чертеже (рис. 5).

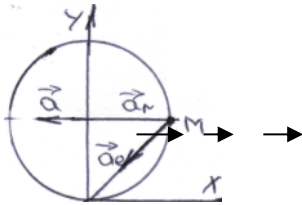


Рис. 5.

Нормальное

относительное ускорение

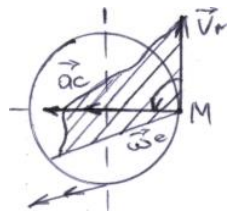
$$a_r^n = \frac{V_r^2}{\rho_{t=1c}} = \frac{(1,57)^2}{0,5} = 1,328 \text{ м/с}^2,$$

где  $\rho$  - радиус кривизны траектории, для окружности  $\rho = R$ .

Касательное ускорение

$$\vec{a}_r^t = \dot{V}_r = \dot{S} = 0.$$

Покажем  $\vec{a}_r$  на рис.5



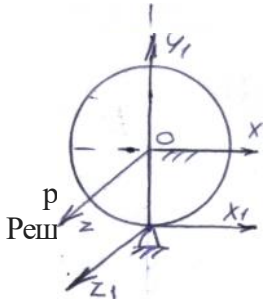
Определим ускорение Кориолиса

$$\vec{a}_c = 2 \vec{\omega}_e * \vec{V}_r.$$

Для этого покажем векторы  $\omega_e, \vec{V}_r$  (рис.6), вектор угловой скорости  $\omega_e$  направлен по оси вращения так, чтобы с конца его было видно вращение тела против хода часовой стрелки. Для «наглядности» его можно перенести в точку М. тогда По правилу векторного произведения (3) определим модуль

ПРИЛОЖЕНИЕ.

Диск радиусом  $K=0,5$  м вращается вокруг оси, проходящей через точку 0 перпендикулярно плоскости чертежа (рис. 1) с постоянной угловой скоростью  $\omega_b = 2$  рад/с. По ободу движется точка М по закону  $S = \pi R t^2$ , В момент времени  $T = 1$  с определить абсолютные скорость и ускорение точки М.

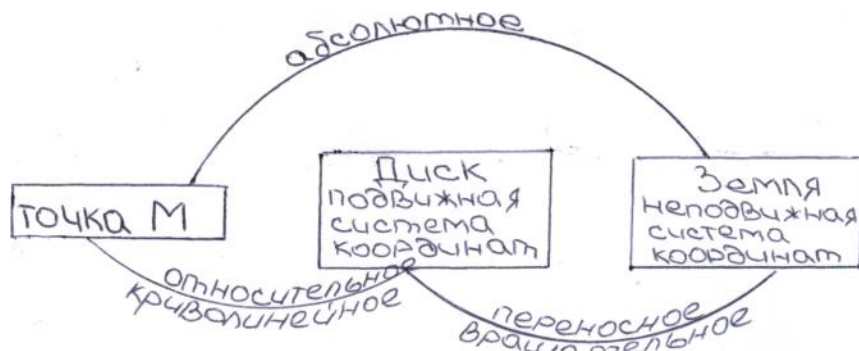


1. Точка М совершает сложное движение: вместе с диском - вращательное вокруг оси  $OZ$  и относительно диска по его ободу.

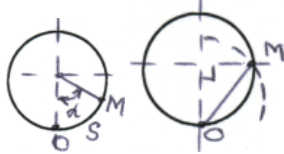
2. Выбираем неподвижную систему координат  $x_1O_1y_1z_1$ , условно связанную с Землей (в данном случае Земля считается неподвижной), и подвижную систему координат  $xOyZ$ , жестко связанную с диском (рис. 2).

Рис. 2.

Тогда движение диска, то есть подвижной системы координат, относительно неподвижной (Земли) - переносное (вращательное); движение точки М относительно неподвижной системы координат  $x_1O_1y_1z_1$ , является абсолютным (криволинейным); движение точки относительно подвижной системы координат (то же самое, что относительно диска) - относительное (криволинейное). Эти результаты можно представить следующим образом:



3. Определим положение точки в данный момент времени при  $t = 1\text{c}$ .



Из геометрии известно:

$$\varphi = \frac{s}{R} |_{t=1\text{c}} = \frac{\pi}{2} \text{ (рад)}.$$

Ри  
с.  
3

Покажем точку М при  $t = 1\text{c}$  на чертеже (рис. 3).

Элементом переносной траектории является окружность с радиусом  $OM = R\sqrt{2}$  (м).

4. Определим абсолютную скорость точки М по теореме о сложении скоростей:

$$\mathbf{V}_M = \mathbf{V}_e + \mathbf{V}_k \quad \rightarrow \quad \rightarrow$$

Переносной скоростью  $V_e$  точки М называется скорость той точки диска, с которой в данный момент времени совпадает наша точка.

Переносное движение - вращательное вокруг оси OZ, расстояние точки до оси вращения при  $t = 1\text{c}$   $OM = R\sqrt{2}$ , угловая скорость вращательного движения  $= 2\text{рад/с}$ . Тогда  $V_e = \omega_e OM_t =_{1\text{c}} = 2 * 0,5 = 1 \text{ (м/с)}$ .

и направление ускорения Кориолиса:

$$a_c = 2|\vec{\omega}_e| \cdot |\vec{V}_r| \sin 90^\circ = 2 \cdot 2 \cdot 1,57 = 6,28 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

Направление  $\vec{a}_c$  показано на рис.6.

Можно определить направление ускорения Кориолиса по правилу Жуковского. Для этого:

- 1) найдем проекцию вектора относительной скорости  $\vec{V}_r$  на плоскость, перпендикулярную оси вращения. В нашем случае  $\vec{V}_r$  лежит в этой плоскости (рис.6);
- 2) в этой плоскости проекцию вектора относительной скорости поворачиваем на угол  $90^\circ$  в направлении переносного вращения и получаем вектор ускорения Кориолиса.

6. Покажем составляющие абсолютного ускорения  $\vec{a}_e^n$ ,  $\vec{a}_r^n$ ,  $\vec{a}_c$  на рис.5.

7. Определим модуль абсолютного ускорения (2). Для этого выбираем систему координат  $хоуз$  (рис. 5) и вычитаем проекции абсолютного ускорения на оси координат:

$$a_{Mx} = -a_r^n - a_c - a_e^n \cos 45^\circ = -9,56 \text{ (м/с}^2\text{)},$$

$$a_{My} = -a_e^n \cos 45^\circ = -1,96 \text{ (м/с}^2\text{)},$$

$$a_{Mz} = 0.$$

Тогда

$$a_M = \sqrt{a_{Mx}^2 + a_{My}^2 + a_{Mz}^2} = 9,57 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

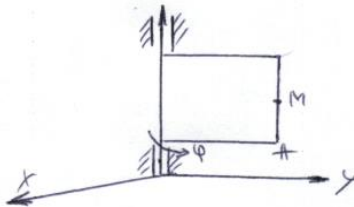
Для определения направления  $a_M$  вычисляем направляющие косинусы:

$$\cos(\vec{a}_M, \hat{x}) = \frac{a_{Mx}}{a_M} = -\frac{9,56}{9,57} = -0,9,$$

$$\cos(\vec{a}_M, \hat{y}) = \frac{a_{My}}{a_M} = \frac{1,96}{9,57} = 0,19,$$

$$\cos(\vec{a}_M, \hat{z}) = \frac{a_{Mz}}{a_M} = 0.$$

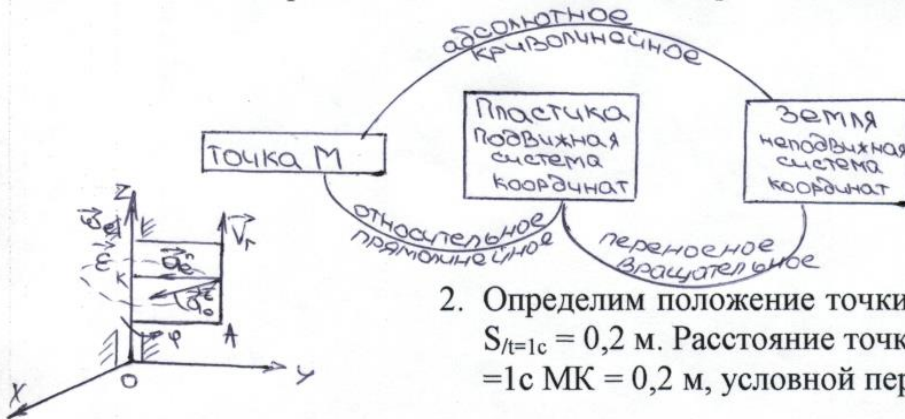
### Задача 2.



Квадратная пластинка со стороной  $a = 0,4$  м вращается вокруг оси  $OZ$  по закону  $\varphi = 8t - 3t^2$ . По стороне пластинки движется точка  $M$  по закону  $S = AM = 0,2t$  (м). Определить переносное ускорение точки  $M$  и ускорение Кориолиса при  $t = 1$  с (рис. 7).

### Решение.

1. Точка  $M$  совершает сложное движение. Определим движение точки:



2. Определим положение точки в момент времени  $t = 1$  с:  
 $S_{t=1c} = 0,2$  м. Расстояние точки до оси вращения при  $t = 1$  с  $OM = 0,2$  м, условной переносной траекторией

Точки является окружность с радиусом МК.

3. Определим переносное ускорение точки М. Переносное движение – вращательное, тогда

$$\vec{a}_e = \vec{a}_e^n + \vec{a}_e^\tau$$

Предварительно вычислим модули  $\omega_e$ ,  $\epsilon_e$  и направим их на чертеже.

$$\omega_e = \dot{\varphi} = (8 - 6t)_{t=1c} = 2 \text{ рад/с},$$

$$\epsilon_e = \dot{\omega}_e = \dot{\dot{\varphi}} = -6 \text{ (рад/с}^2\text{)}.$$

Векторы  $\vec{\omega}_e$ ,  $\vec{\epsilon}_e$  направлены по оси OZ в разные стороны, так как движение равнозамедленное. При этом

$$a_e^n = \omega_e^2 \cdot MK_{t=1c} = 0,8 \text{ м/с}^2, \quad a_e^\tau = \epsilon_e \cdot MK_{t=1c} = -12 \text{ м/с}^2,$$

$$a_e = \sqrt{(a_e^n)^2 + (a_e^\tau)^2}.$$

4. Определим ускорение Кориолиса:

$$\vec{a}_c = 2 \vec{\omega}_e * \vec{V}_r,$$

$$a_c = 2 \omega_e * V_r \sin 0^\circ, \text{ так как } \vec{\omega}_e \parallel \vec{V}_r.$$

### Контрольные вопросы

1. В чем заключается принцип кинестатики?
2. Могут ли при поступательном движении тела траектории его точек не прямыми линиями?
3. Равна ли скорость перемещения груза скоростям точек на ободу вращающегося шкива?
4. Как повлияет на скорость груза увеличение диаметра шкива при неизменной угловой скорости?
5. Какое ускорение (касательное или нормальное) характерно для точек вращающегося тела?
6. Какое движение называют сложным?
7. Какие движения твердого тела называют простыми?
8. Какие системы координат выбирают при определении скоростей твердых тел при сложном движении?
9. Какое движение считаю переносным, а какое – относительным?
10. Сформулируйте теорему сложения скоростей.
11. Какое движение называют плоским?
12. Что такое мгновенный центр скоростей и как его определяют и для чего его используют?

### Тема 1.7

#### Работа и мощность.

#### Практическое занятие № 7

**Тема.** Решение задач на проверку законов трения. (2 часа)

**Цель работы:** Приобретение навыков решения задач на проверку законов трения.

Трение – физическое явление, сопровождающее всякое движение на Земле. При любом механическом движении тела соприкасаются либо друг с другом, либо с окружающей их сплошной жидкой или газообразной средой. В результате соприкосновения возникает сила трения, которая препятствует движению. Трение может быть полезно, и тогда мы стремимся его увеличить. В случаях, когда трение вредно, принимаются меры для его уменьшения.

*История открытия.* Свой вклад в попытки объяснить природу трения внесли многие ученые, начиная с Аристотеля, Леонардо да Винчи, Амонтона, Леонарда Эйлера, Кулона. Дальнейший вклад в теорию трения сделали Майер, Джоуль, Гельмгольц, Кузнецов, Дерягин, Томлинсон, Рейнольдс, Штрибек, Боуден и другие.

*Различают следующие виды трения:*

1. сухое;
2. жидкое (вязкое).

Сухое трение бывает трех видов:

1. трение покоя;
2. трение скольжения;
3. трение качения.

*Причины возникновения силы трения:*

1. шероховатость поверхностей соприкасающихся тел.
2. взаимное притяжение молекул соприкасающихся тел.

*Сухое трение* – трение, возникающее при соприкосновении двух твердых тел при отсутствии между ними жидкой или газообразной прослойки. Силы сухого трения всегда направлены по касательной к соприкасающимся поверхностям.

Сухое трение, возникающее при относительном покое тел, называют *трением покоя*.

Сухое трение, возникающее при относительном движении тел, называют *трением скольжения*.

*Трение качения* возникает, когда одно тело катится по поверхности другого тела.

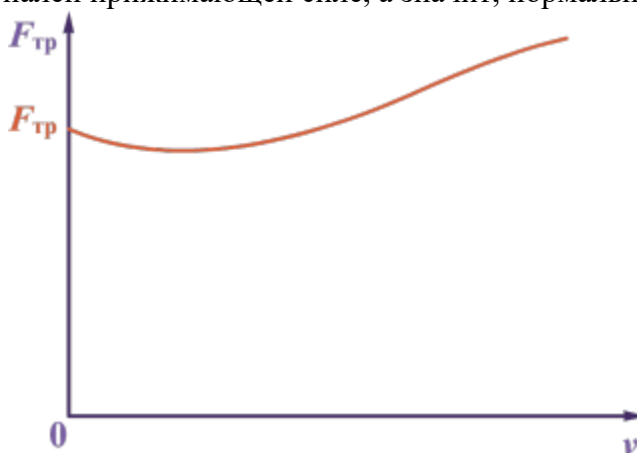
Закон, выражающий зависимость максимального значения модуля силы трения покоя от модуля силы нормальной реакции опоры впервые экспериментально установил французский военный инженер и учёный-физик Шарль Огюстен де Кулон. Согласно этому закону, *максимальное значение модуля силы трения покоя* прямо пропорционально модулю силы нормальной реакции опоры

$$F_{\text{тр.макс}} = \mu N,$$

где  $F_{\text{тр.макс}}$  - модуль максимальной силы трения покоя,  $\mu$ - коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом трения покоя.

Коэффициент трения  $\mu$  характеризует обе трущиеся поверхности и зависит не только от материала этих поверхностей, но и от качества их обработки. Коэффициент трения определяется экспериментально.

*Трение скольжения.* Сила трения скольжения также направлена вдоль поверхности соприкосновения тел, но в отличие от силы трения покоя, которая противоположна внешней силе, стремящейся сдвинуть тело, сила трения скольжения всегда направлена противоположно относительной скорости. Модуль силы трения скольжения, как и максимальной силы трения покоя, тоже пропорционален прижимающей силе, а значит, нормальной силе реакции опоры:



При не слишком больших относительных скоростях движения сила трения скольжения мало отличается от максимальной силы трения покоя. Поэтому приближенно можно считать ее постоянной и равной максимальной силе трения покоя:

$$F_{\text{тр}} \approx F_{\text{тр.макс}} = \mu N.$$

*Важно!* Сила трения зависит от относительной скорости движения тел. В этом ее главное отличие от сил тяготения и упругости, зависящих только от расстояний.

При движении твердого тела в жидкости или газе возникает *сила жидкого (вязкого) трения*. Сила жидкого трения значительно меньше силы сухого трения. Эта сила направлена против скорости тела относительно среды и тормозит движение.

*Главная особенность силы сопротивления* состоит в том, что она появляется только при наличии относительного движения тела и окружающей среды. *Сила трения покоя в жидкостях и газах полностью отсутствует.* Поэтому усилием рук можно сдвинуть тяжелую баржу в воде, а сдвинуть поезд усилием рук невозможно.

Итак, основными особенностями силы сопротивления, действующей на тело, являются:

- 1) отсутствие силы трения покоя;
- 2) зависимость от относительной скорости движения.

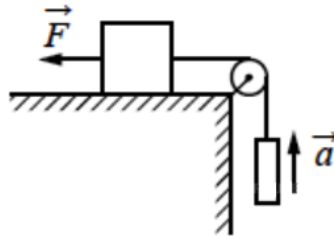
### Порядок выполнения работ:

#### Вариант 1

##### Задание 1

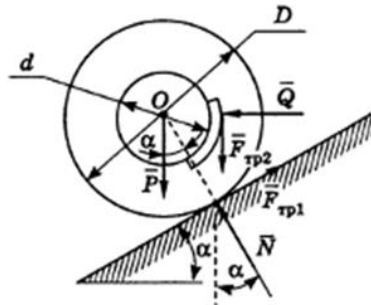
Груз массой 1 кг, находящийся на столе, связан лёгкой нерастяжимой нитью, переброшенной через идеальный блок, с другим грузом. На первый груз действует горизонтальная постоянная сила  $F$  равная по модулю 10 Н. Второй груз движется из состояния

покоя с ускорением  $a=2\text{м/с}^2$  направленным вверх. Коэффициент трения скольжения первого груза по поверхности стола равен 0,2. Чему равна масса второго груза?



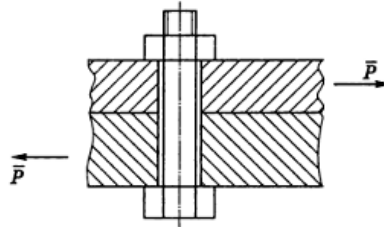
### Задание 2

Автомобиль удерживается с помощью тормозов на наклонной части дороги. При перемещении тормозной педали на 2 см тормозные колодки дисковых тормозов перемещаются на 0,2 мм. Диаметр рабочей части диска 220 мм, нагруженный диаметр колеса 520 мм, вес автомобиля 14 кН. Определить, с какой силой водитель должен нажимать на педаль тормоза, если угол наклона дороги  $20^\circ$ . Трением качения пренебречь. Коэффициент трения скольжения между тормозными колодками и диском  $f=0,5$ . Тормоза всех колес работают одинаково.



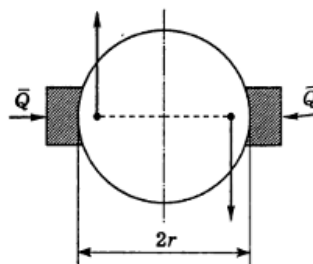
### Задание 3

Определить необходимую затяжку болта, скрепляющего две стальные полосы, разрываемые силой  $P=2$  кН. Болт поставлен с зазором и не должен работать на срез. Коэффициент трения между листами равен 0,2.



### Задание 4

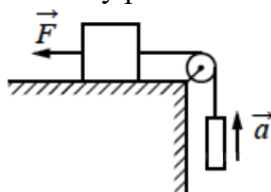
К валу приложена пара сил с моментом  $M=100$  Н·м. На валу заключено тормозное колесо, радиус  $r$  которого равен 25 см. Найти, с какой силой  $Q$  надо прижимать к колесу тормозные колодки, чтобы колесо оставалось в покое, если коэффициент трения покоя  $f$  между колесом и колодками равен 0,25.



Вариант 2

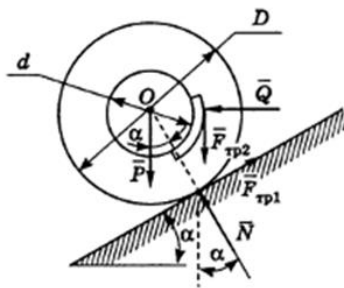
### Задание 1

Груз массой 1,5 кг, находящийся на столе, связан лёгкой нерастяжимой нитью, переброшенной через идеальный блок, с другим грузом. На первый груз действует горизонтальная постоянная сила  $F$  равная по модулю 12 Н. Второй груз движется из состояния покоя с ускорением  $a=2,2\text{ м/с}^2$  направленным вверх. Коэффициент трения скольжения первого груза по поверхности стола равен 0,25. Чему равна масса второго груза?



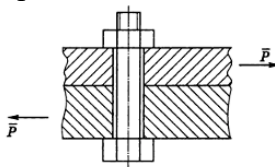
### Задание 2

Автомобиль удерживается с помощью тормозов на наклонной части дороги. При перемещении тормозной педали на 2,5 см тормозные колодки дисковых тормозов перемещаются на 0,25 мм. Диаметр рабочей части диска 230 мм, нагруженный диаметр колеса 500 мм, вес автомобиля 15 кН. Определить, с какой силой водитель должен нажимать на педаль тормоза, если угол наклона дороги  $20^\circ$ . Трением качения пренебречь. Коэффициент трения скольжения между тормозными колодками и диском  $f=0,5$ . Тормоза всех колес работают одинаково.



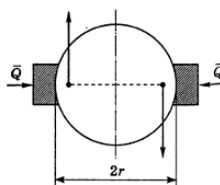
### Задание 3

Определить необходимую затяжку болта, скрепляющего две стальные полосы, разрываемые силой  $P=2,5\text{ кН}$ . Болт поставлен с зазором и не должен работать на срез. Коэффициент трения между листами равен 0,25.



### Задание 4

К валу приложена пара сил с моментом  $M=110\text{ Н}\cdot\text{м}$ . На валу заключено тормозное колесо, радиус  $r$  которого равен 20 см. Найти, с какой силой  $Q$  надо прижимать к колесу тормозные колодки, чтобы колесо оставалось в покое, если коэффициент трения покоя  $f$  между колесом и колодками равен 0,25.



**Вопросы для самоконтроля.**

**Тема.** Решение задач на определение момента силы относительно оси пространственной системы произвольно расположенных сил. (2 часа)

**Цель работы:** Освоить решение задач на определение момента силы относительно оси пространственной системы произвольно расположенных сил

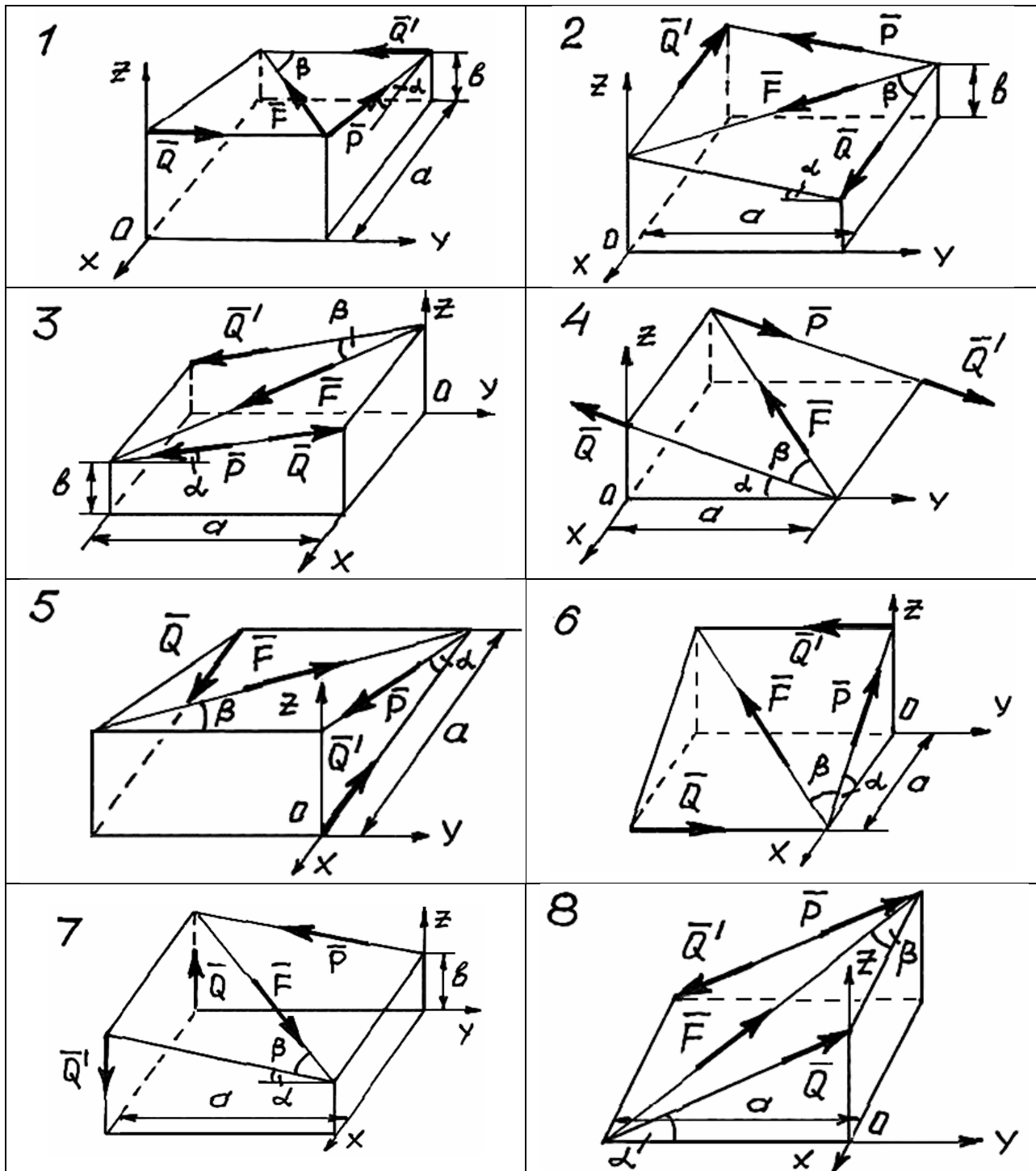
**Порядок выполнения работ:**

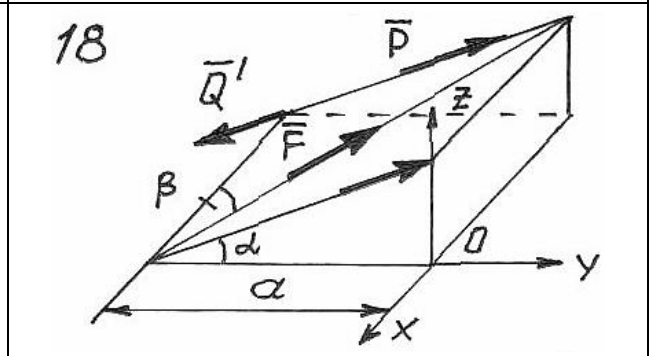
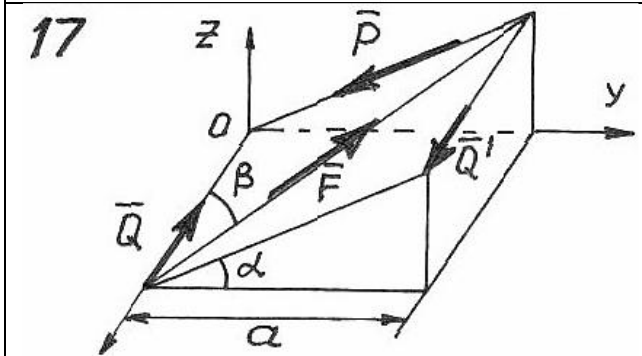
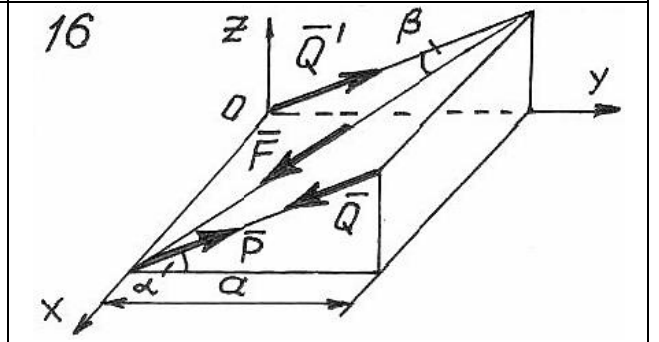
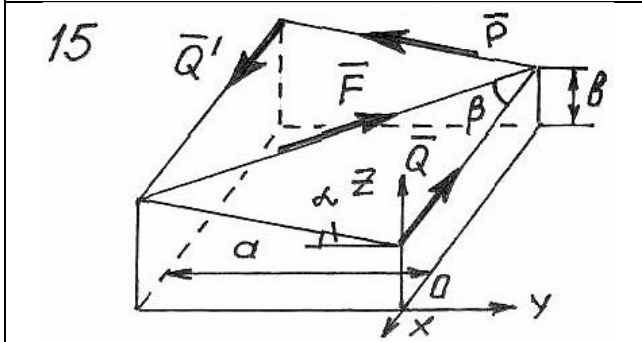
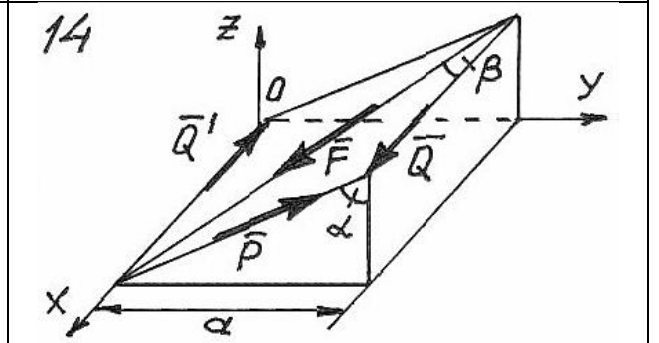
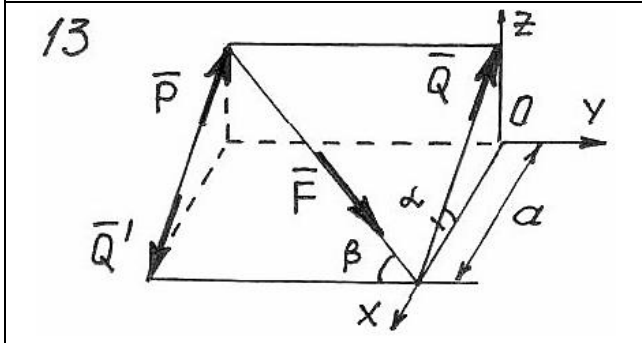
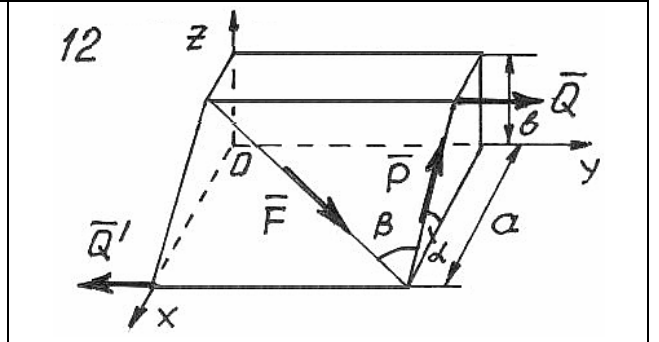
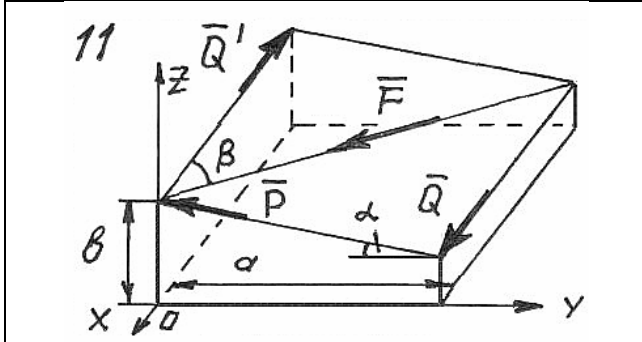
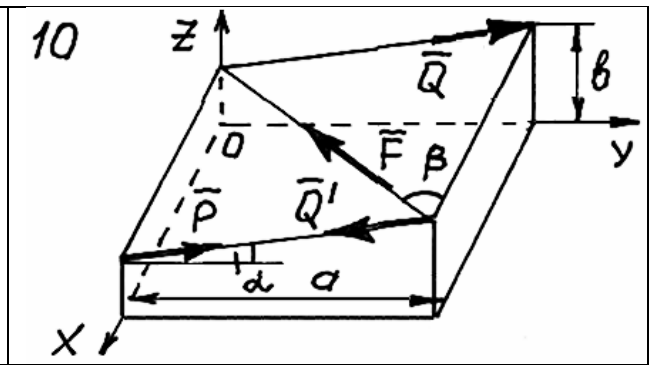
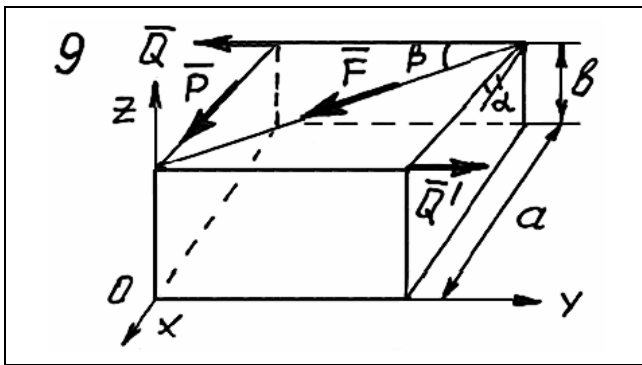
**Задача 1.**

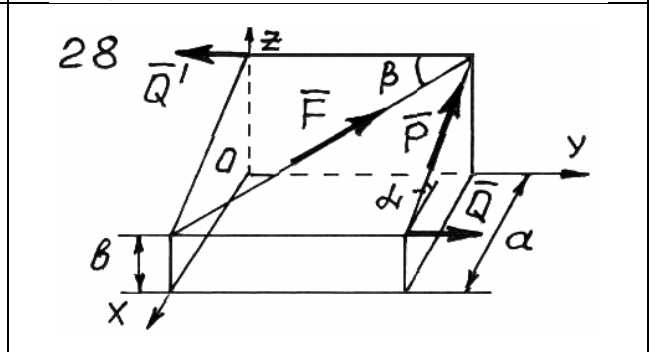
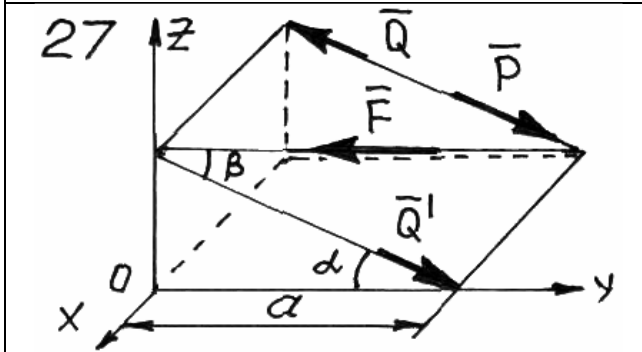
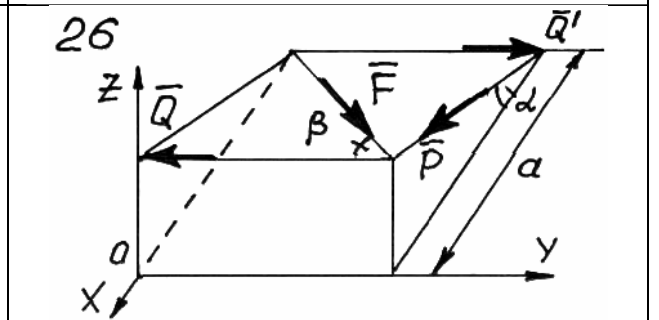
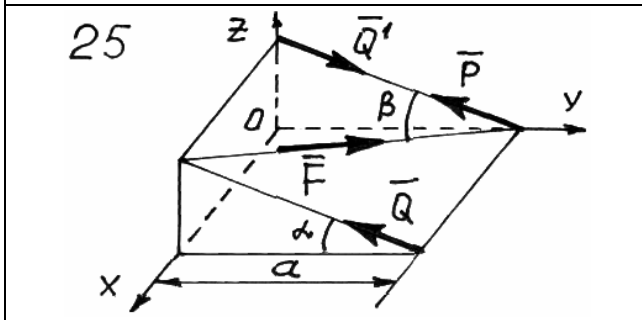
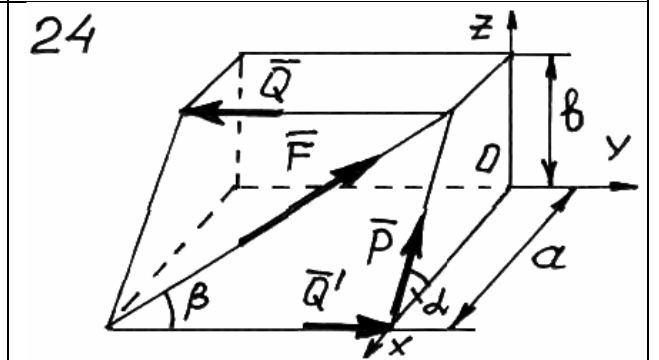
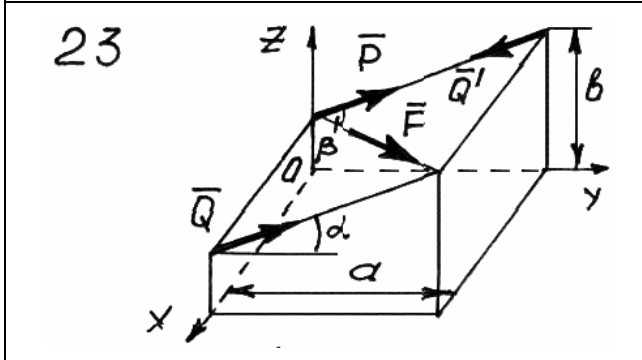
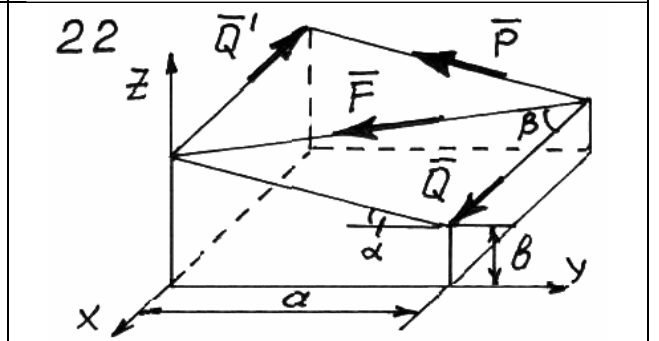
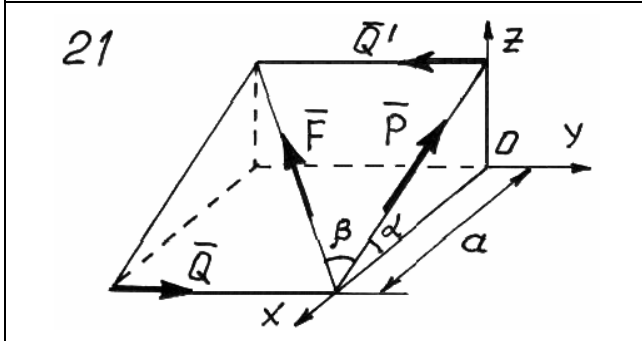
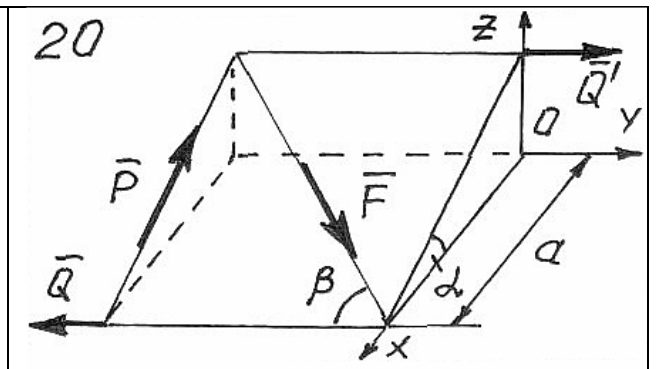
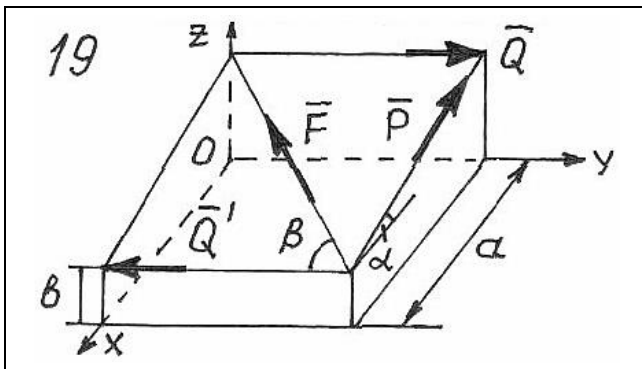
Проекция силы на ось и момент силы относительно оси.

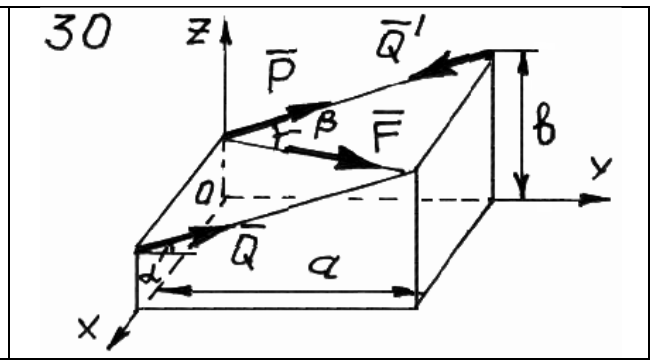
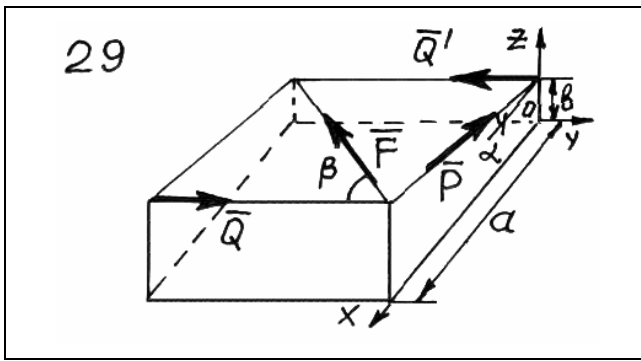
На схемах рисунка показаны системы сил  $\{Q, Q', P, F\}$  в прямоугольной системе координат. Геометрические размеры  $a, b$  и углы  $\alpha, \beta$  – известны.

Во всех вариантах схем требуется найти проекции всех сил на оси координат и моменты этих сил относительно осей координат  $Ox, Oy, Oz$  двумя способами – аналитическим и графо-аналитическим.







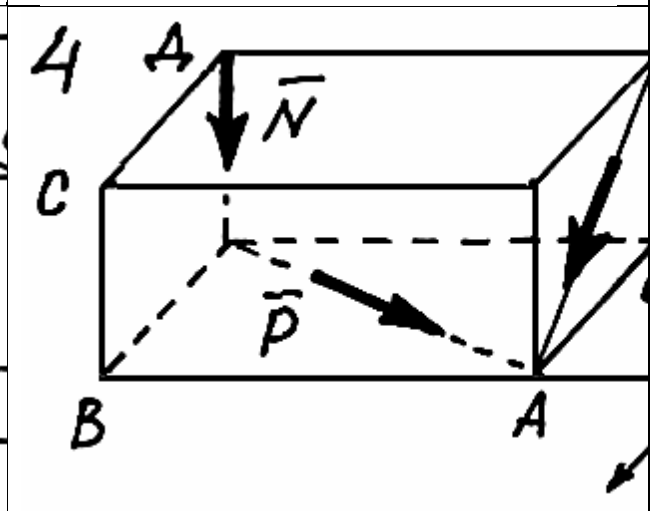
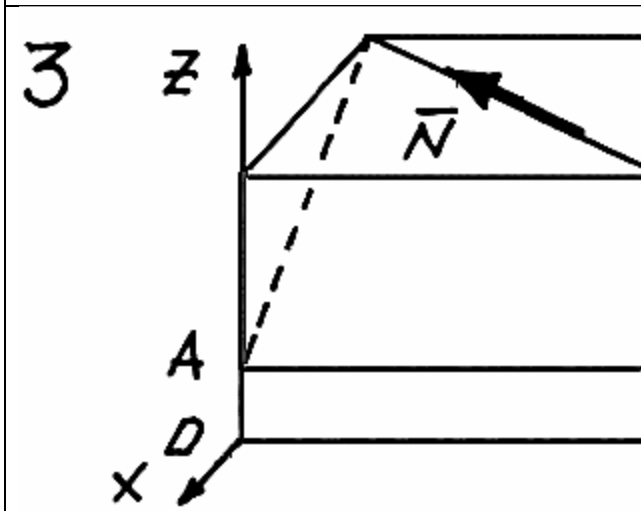
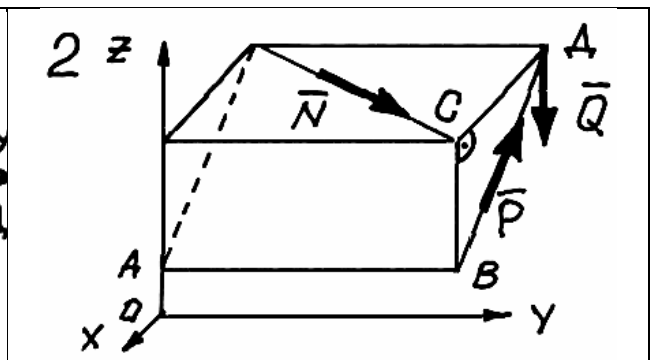
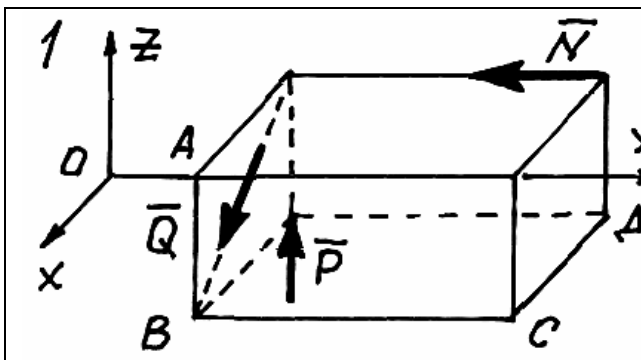


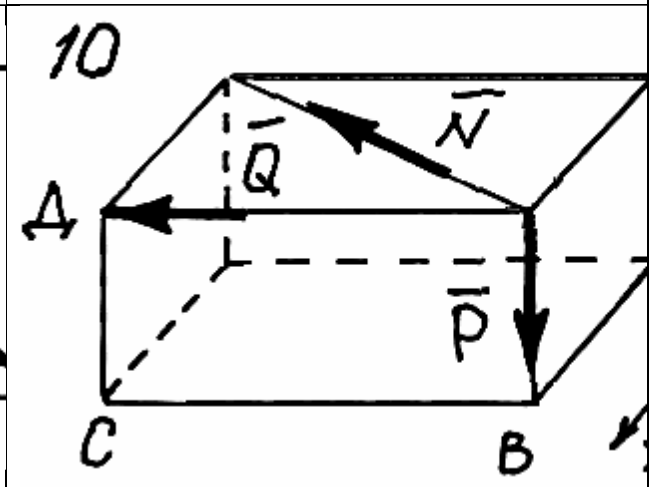
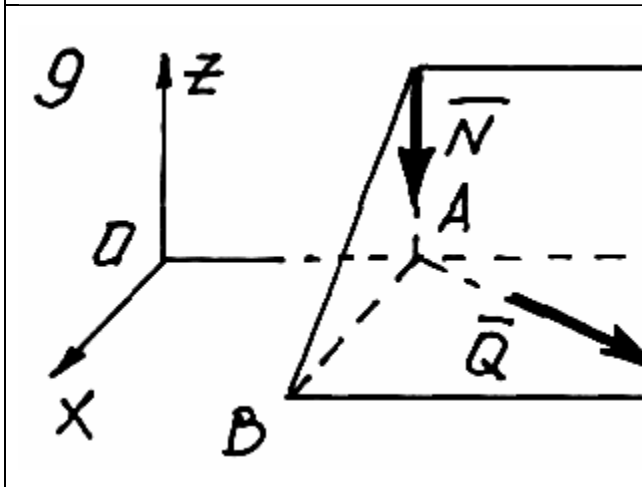
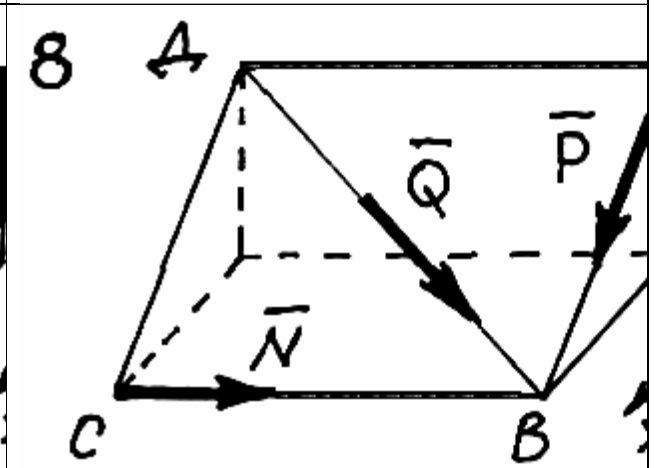
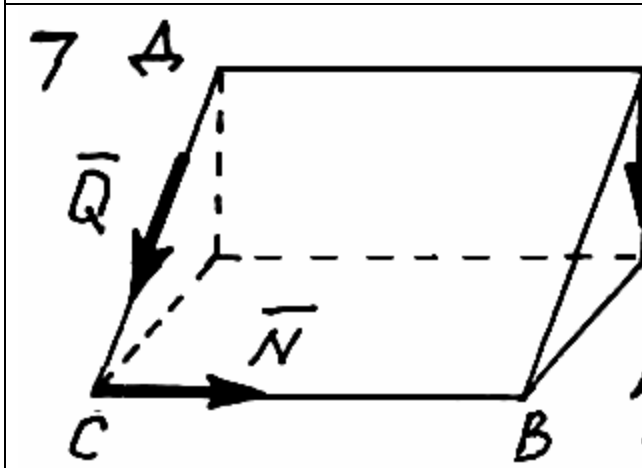
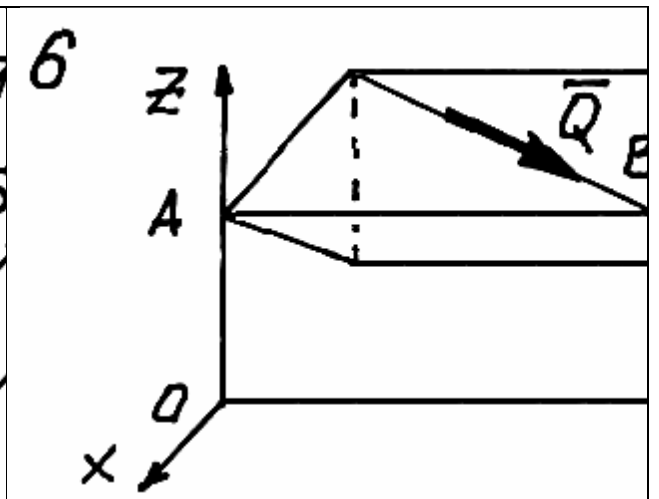
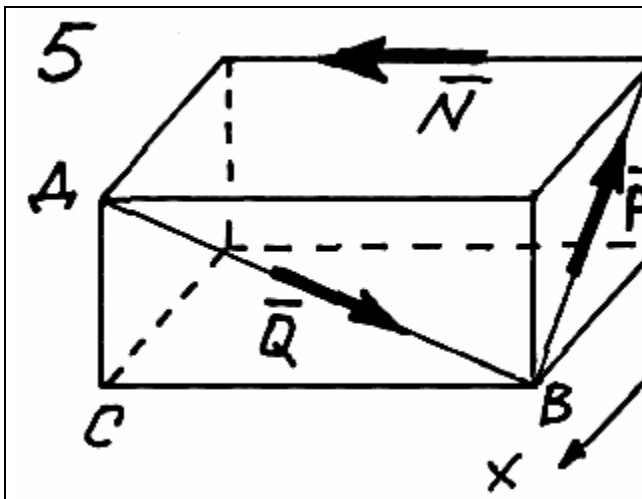
**Задача 2.**

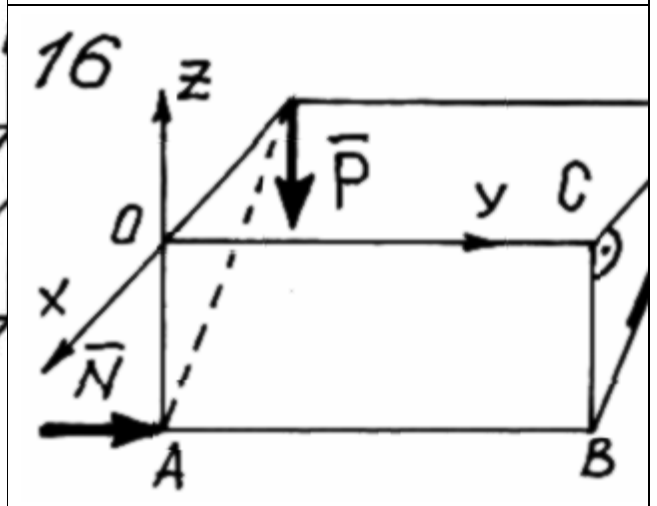
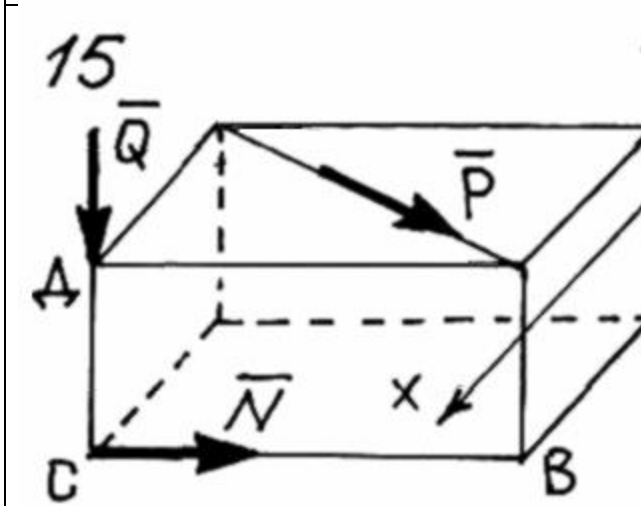
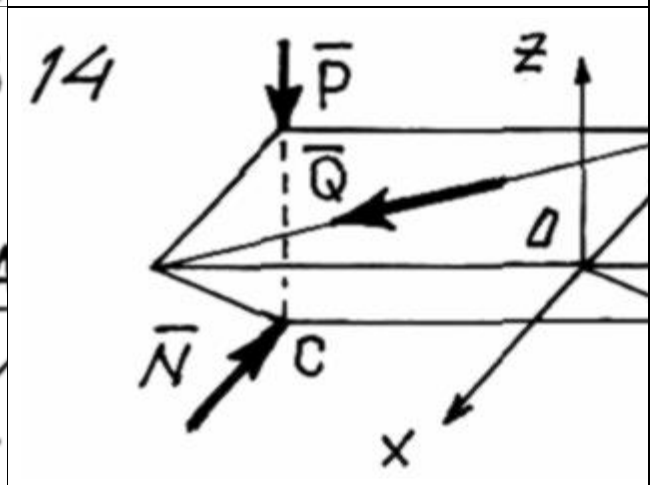
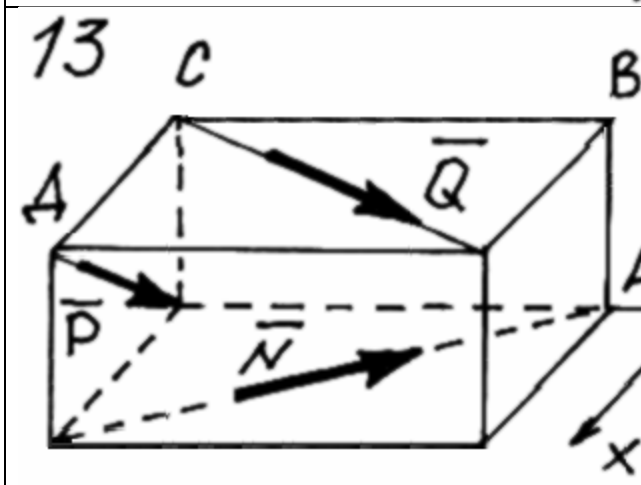
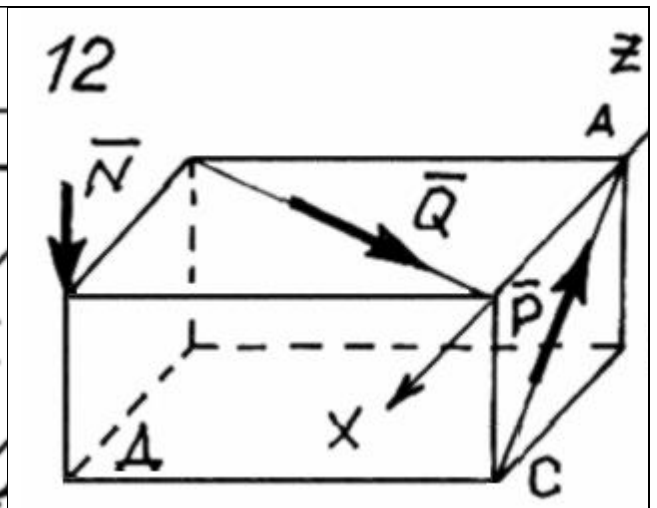
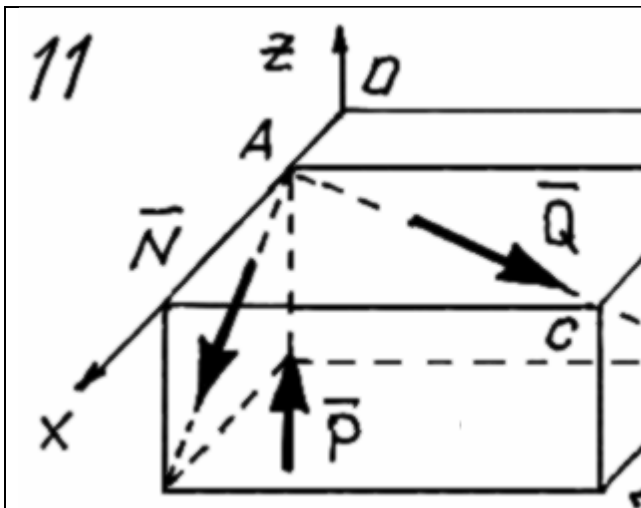
Главный вектор и главный момент системы сил.

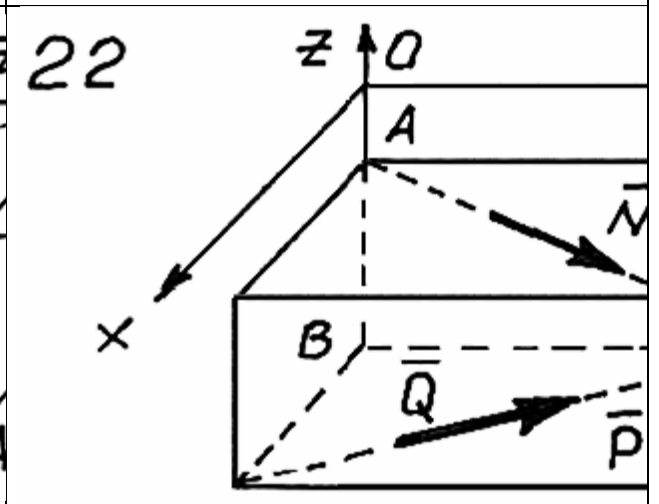
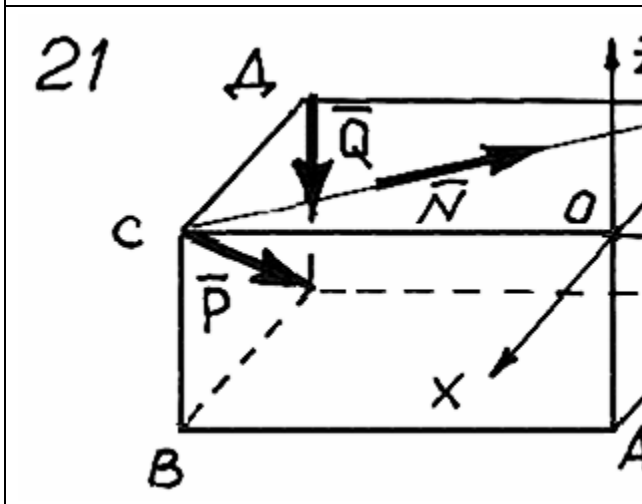
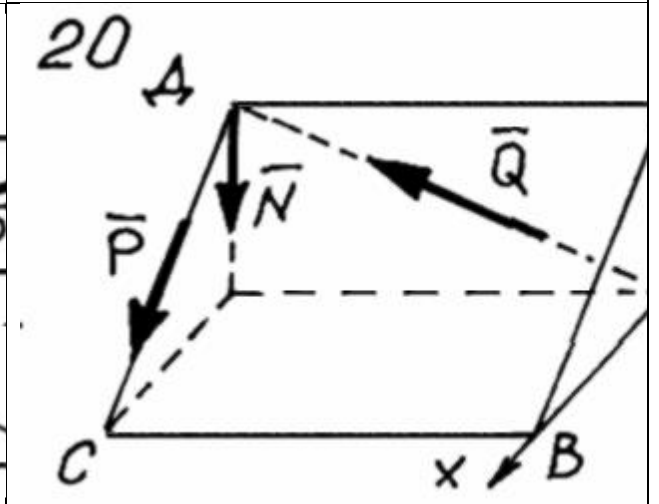
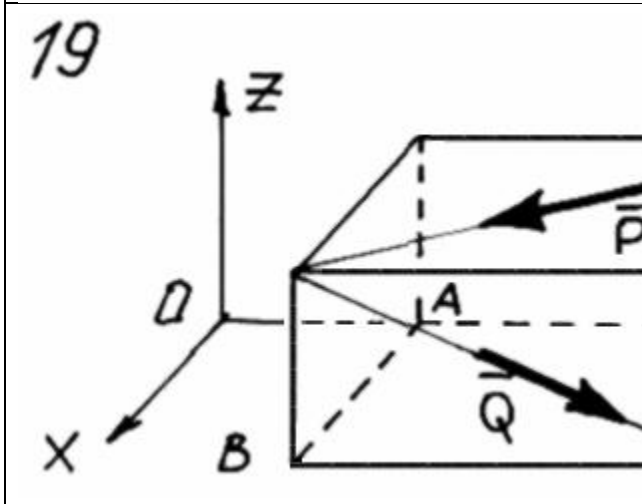
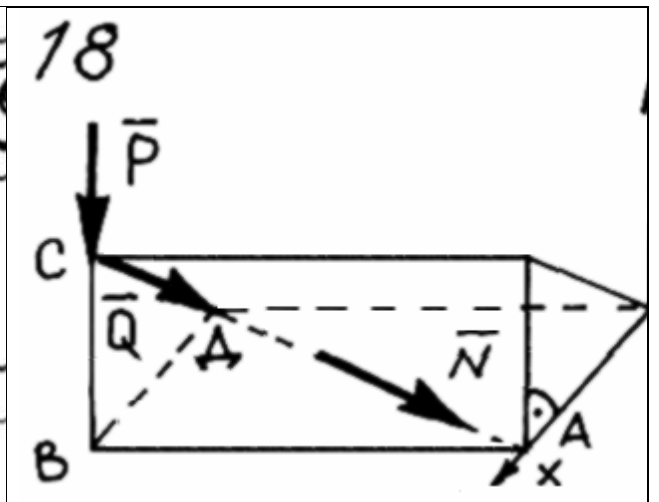
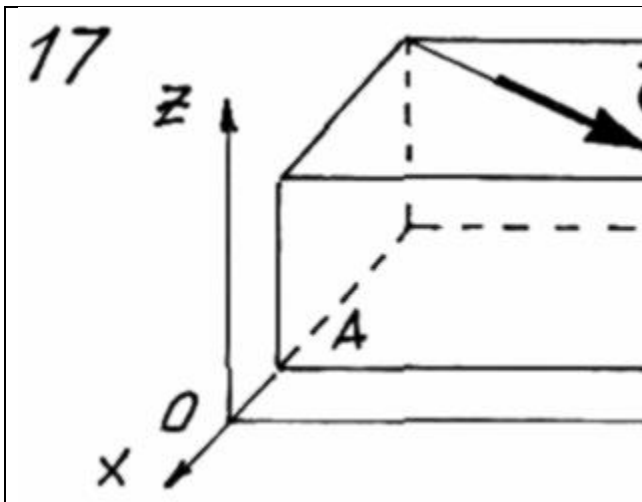
Система сил  $\{N; P; Q\}$  произвольно расположена в пространстве (на рисунке). Величины сил и геометрические размеры для каждого варианта заданы в таблице 1.

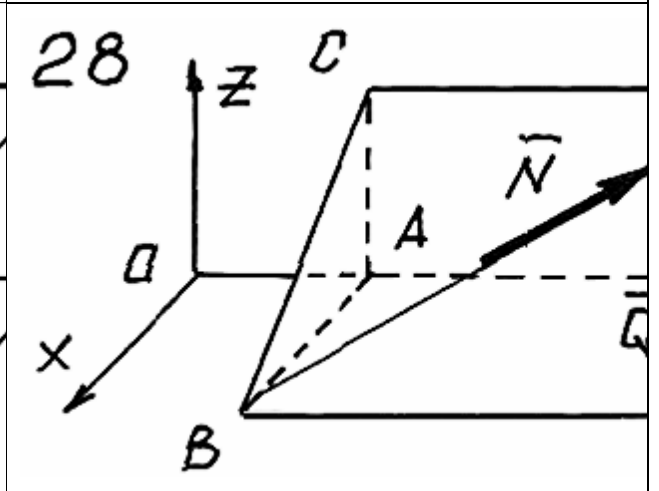
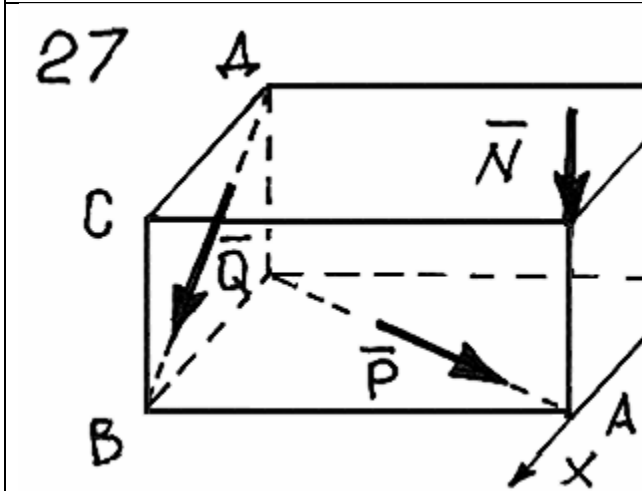
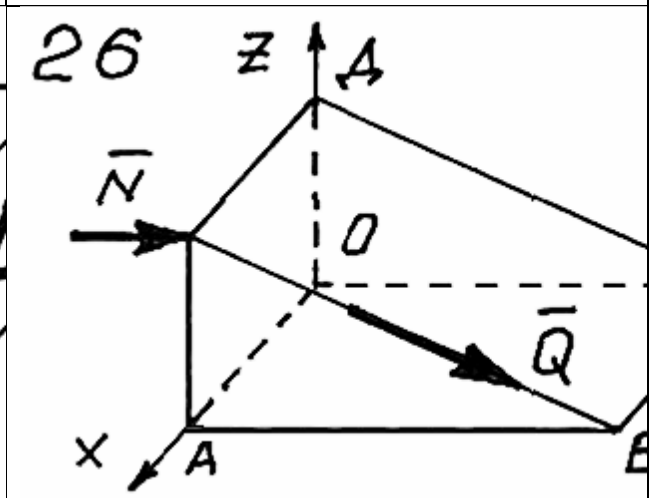
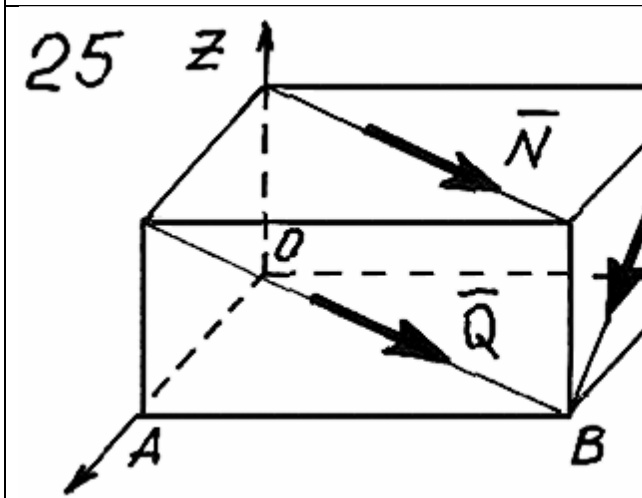
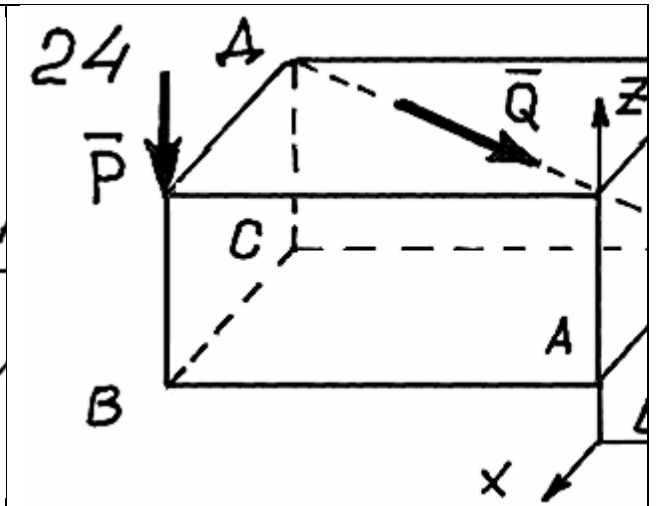
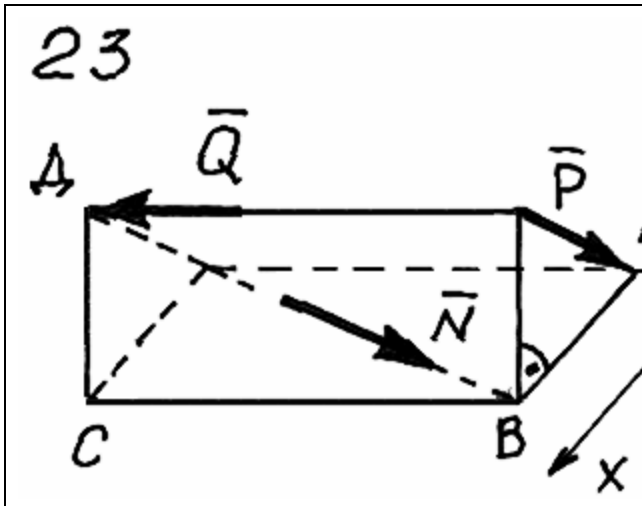
В данной задаче требуется все силы привести в заданный центр точки  $O$ , а затем вычислить модуль главного вектора  $R'$  и модуль главного момента  $M_o$ . В любом масштабе для  $R'$  и  $M_o$  сделать чертеж.











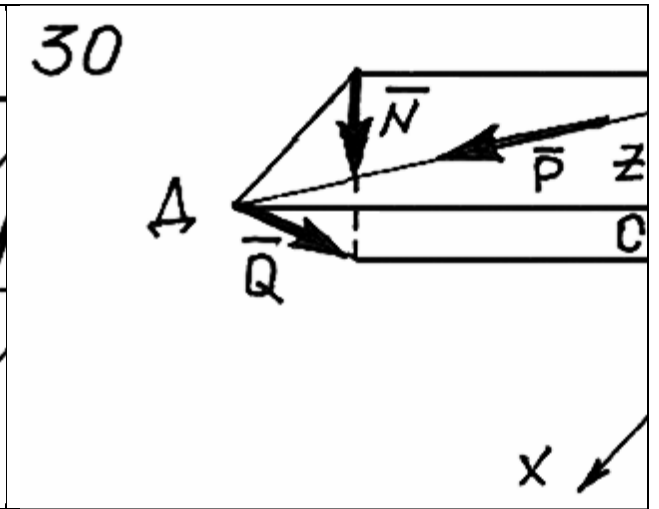
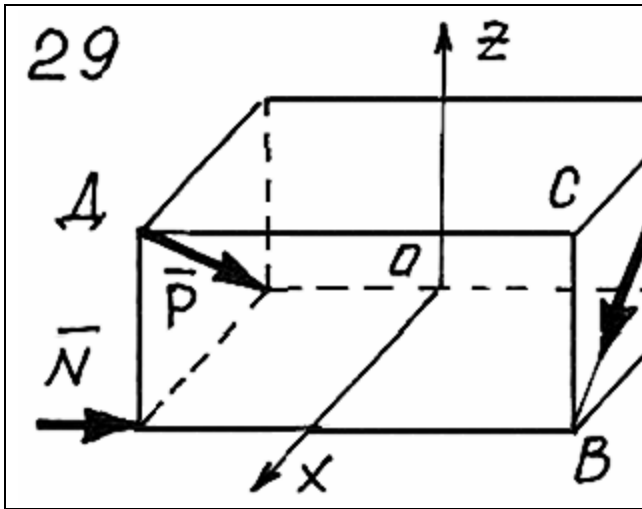


Таблица 1

Номер вариан- та (рис. 11-13)	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>Q</i>	<i>OA</i>	<i>AB</i>	<i>BC</i>	<i>CD</i>
	<i>кН</i>	<i>кН</i>	<i>кН</i>	<i>м</i>	<i>м</i>	<i>м</i>	<i>м</i>
1	7	6	5	3	2	2	1
2	1	2	3	2	5	1,5	1,5
3	2	4	5	1	3	2	4
4	5	6	8	6	5	4	2
5	7	1	4	7	5	4	2
6	3	7	4	2	5	3	4
7	3	7	9	1	4	5	6
8	4	6	8	2	3	4	8
9	5	4	2	3	4	5	10
10	4	8	3	1	2	4	3
11	3	4	8	3	2	4	2
12	9	8	7	2	3	4	6
13	5	5	3	3	4	6	2
14	7	4	2	4	3	6	–
15	5	8	4	2	4	7	5
16	5	7	4	4	8	4	6
17	2	3	5	2	4	3	2
18	5	4	6	4	6	2	–
19	2	4	5	1	2	4	3
20	4	3	7	3	4	6	8
21	6	7	9	2	6	2	4
22	2	4	6	1	4	6	3
23	4	7	5	2	5	8	3
24	9	7	5	2	6	4	2
25	2	3	4	3	4	3	5
26	4	5	3	4	6	4	10
27	3	4	2	2	5	3	2
28	3	3	3	2	4	6	6
29	4	3	2	2	4	3	8
30	5	4	3	4	6	4	10

**Задача 3.**

Произвольная пространственная система сил.

На пространственную конструкцию (рис. 18 – 27) действует система сил  $\{F; Q; Q'; P; G\}$ . Геометрические размеры  $a, b, c, d, e, r, h$  и углы  $\alpha, \beta, \gamma, \varphi$  – заданы.

В данной задаче следует составить расчетные схемы для каждого тела и записать в общем виде уравнения равновесия.

Произвольную пространственную систему сил можно привести в заданный центр и получить главный вектор

$$\bar{R}' = \sum_{k=1}^n \bar{F}_k$$

и главный момент

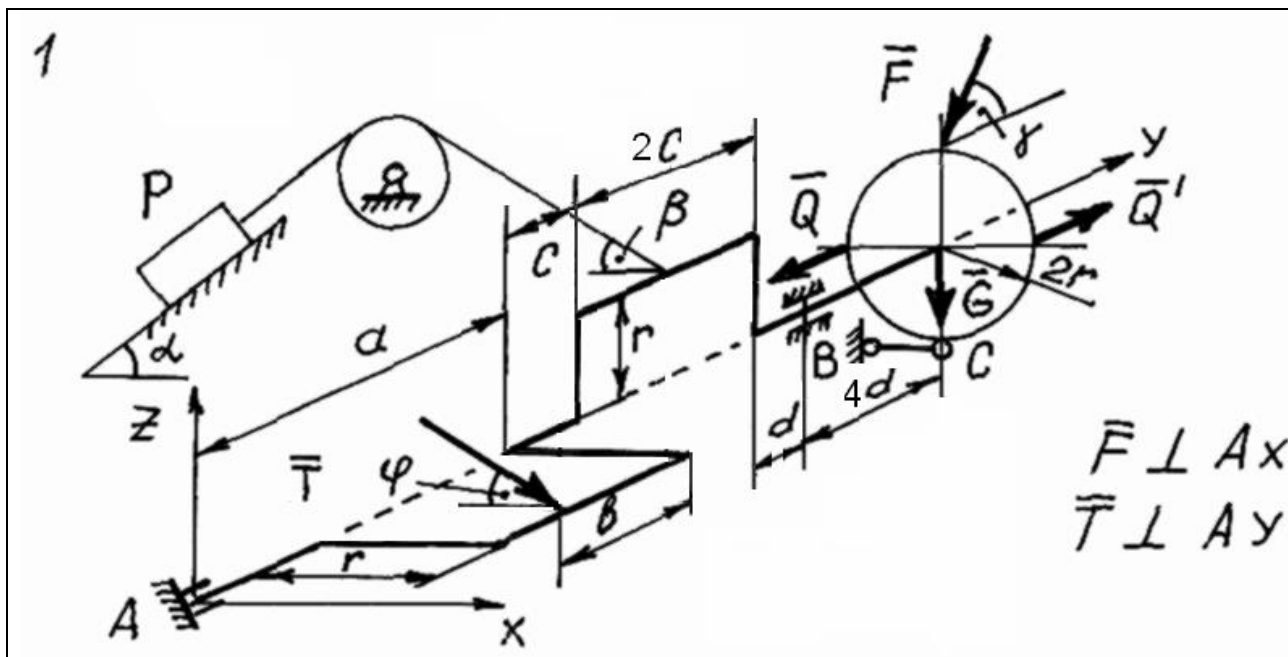
$$\bar{M}_O = \sum_{k=1}^n \bar{m}_O(\bar{F}_k)$$

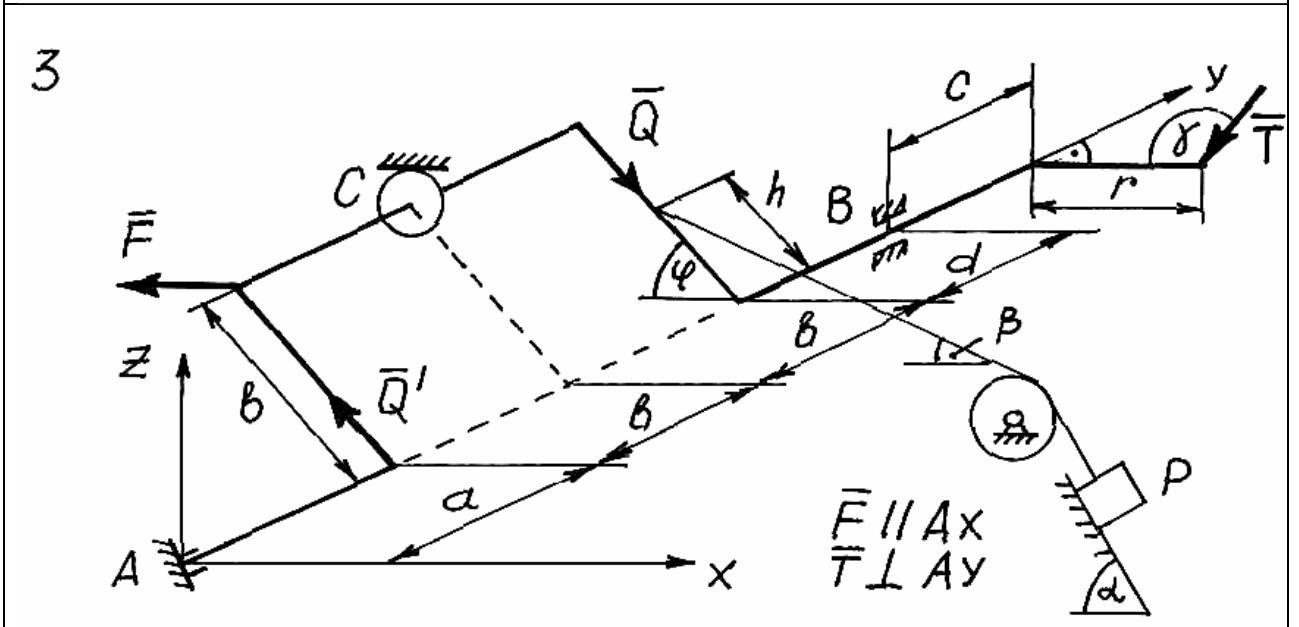
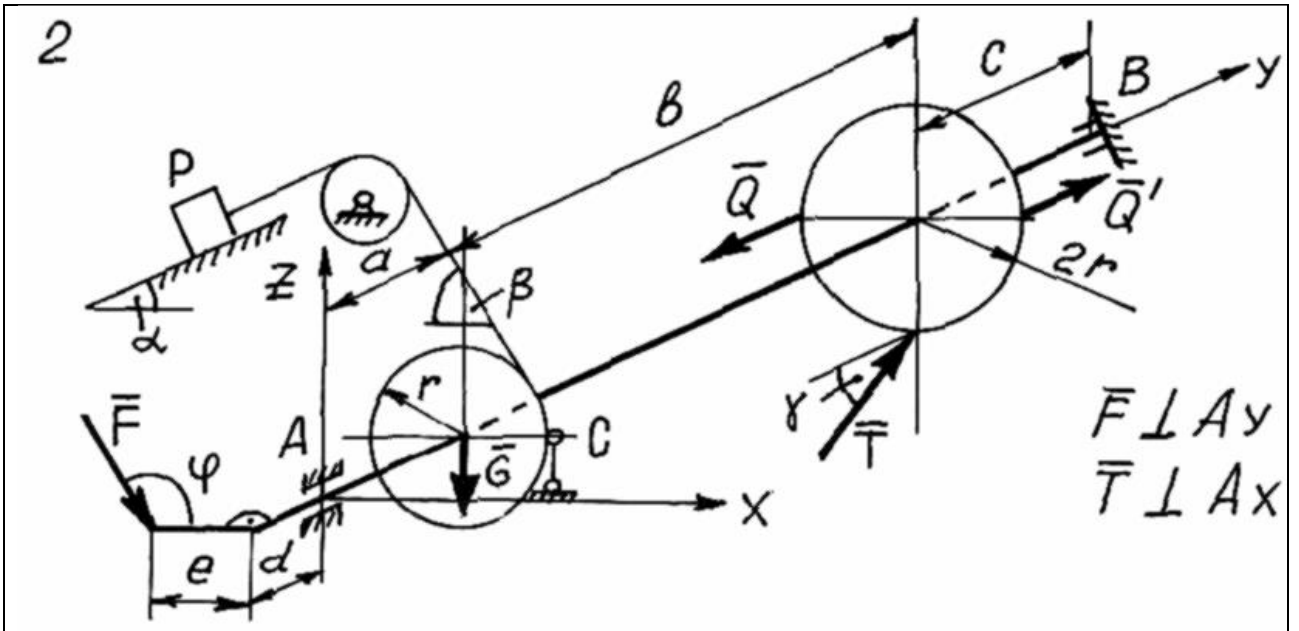
Если  $R' = 0$  и  $M_O = 0$ , то данная система сил взаимно уравновешивается.

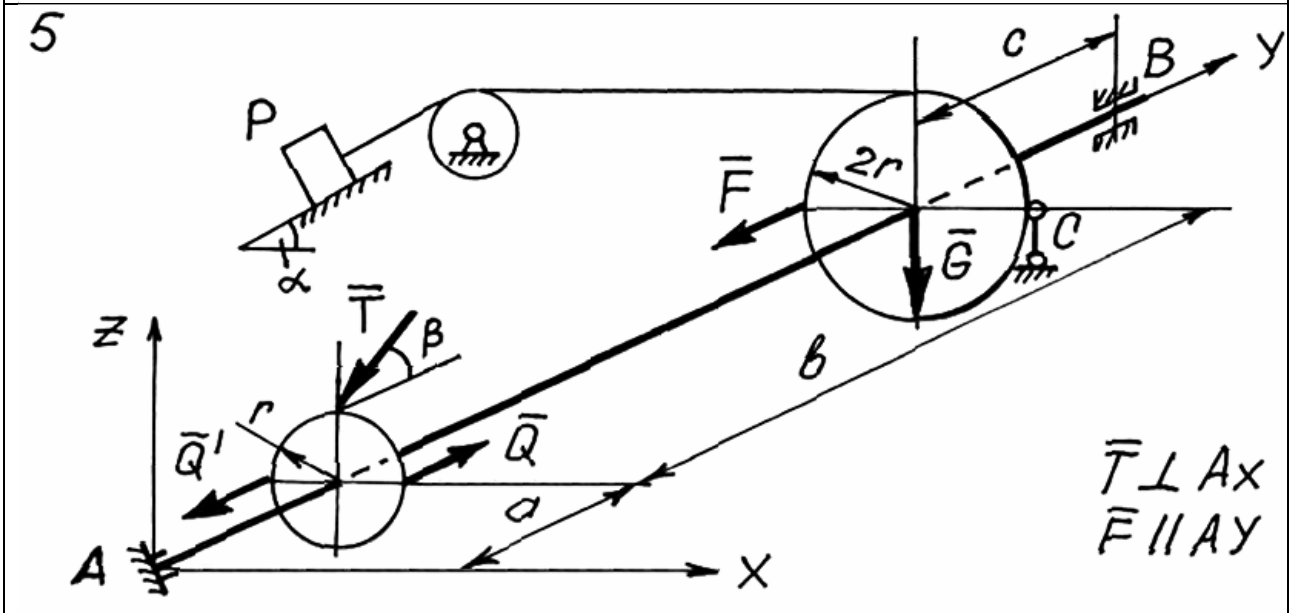
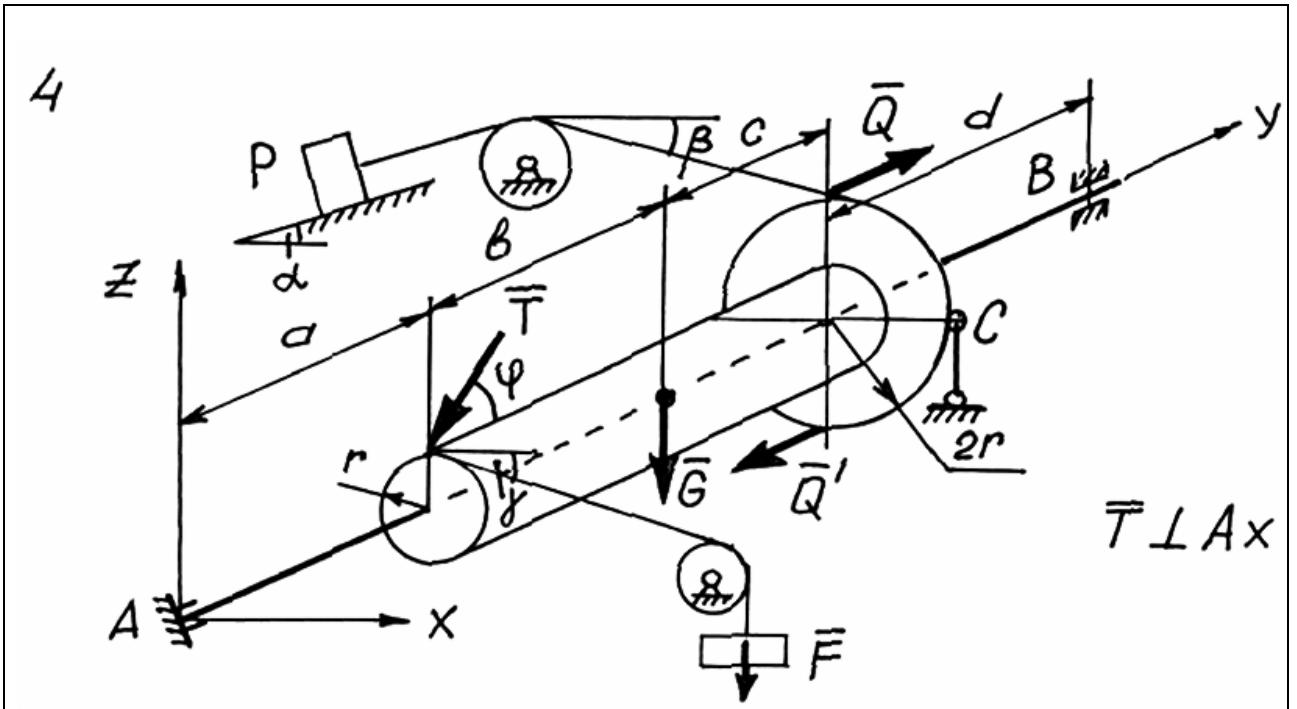
Проецируя эти равенства на оси прямоугольной декартовой системы координат, получим шесть уравнений равновесия произвольной пространственной системы сил:

$\sum F_{kx} = 0;$	$\sum M_{kx}(\bar{F}_k) = 0;$
$\sum F_{ky} = 0;$	$\sum M_{ky}(\bar{F}_k) = 0;$
$\sum F_{kz} = 0;$	$\sum M_{kz}(\bar{F}_k) = 0.$

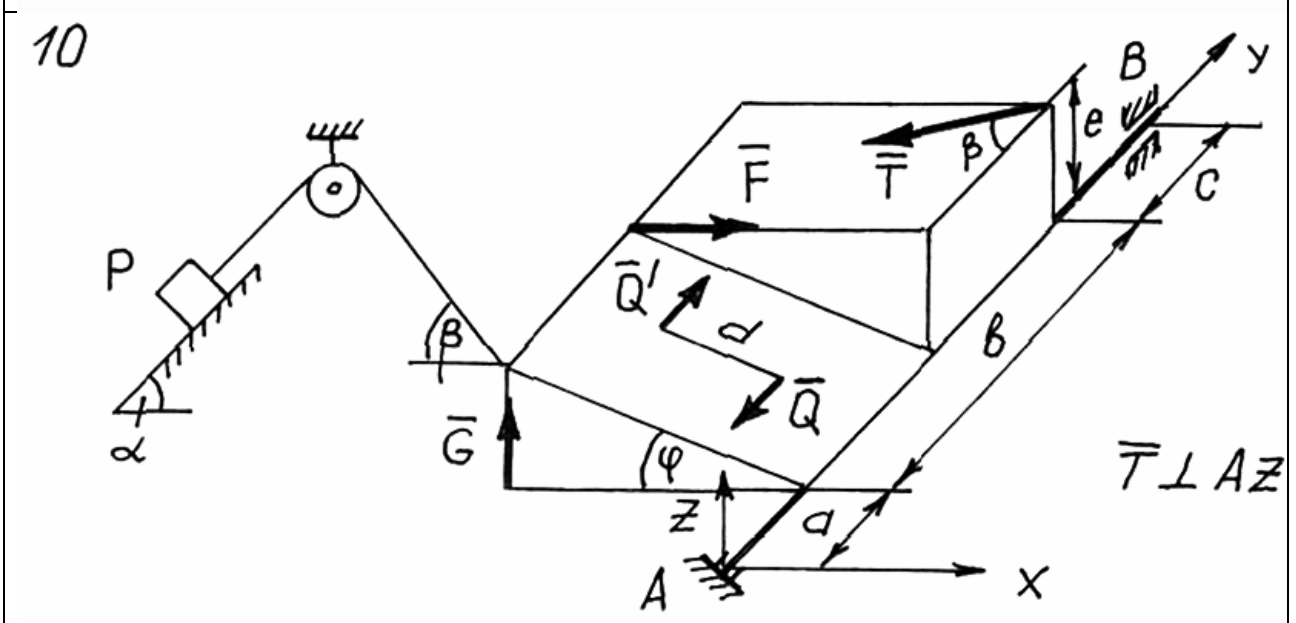
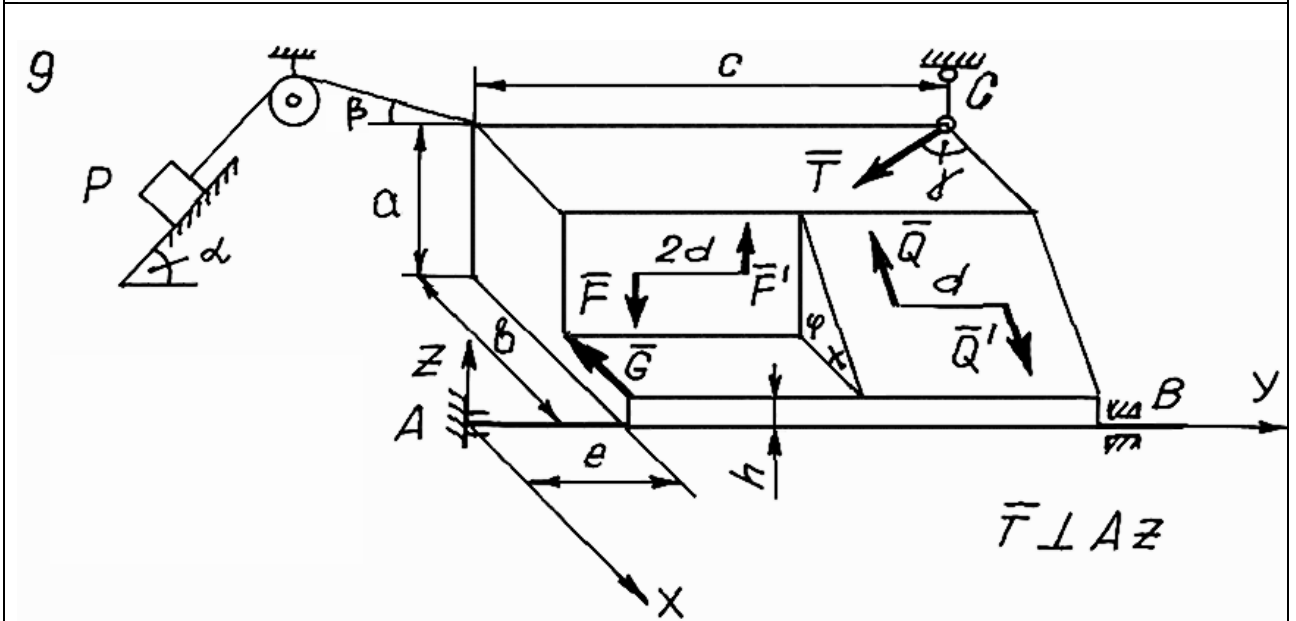
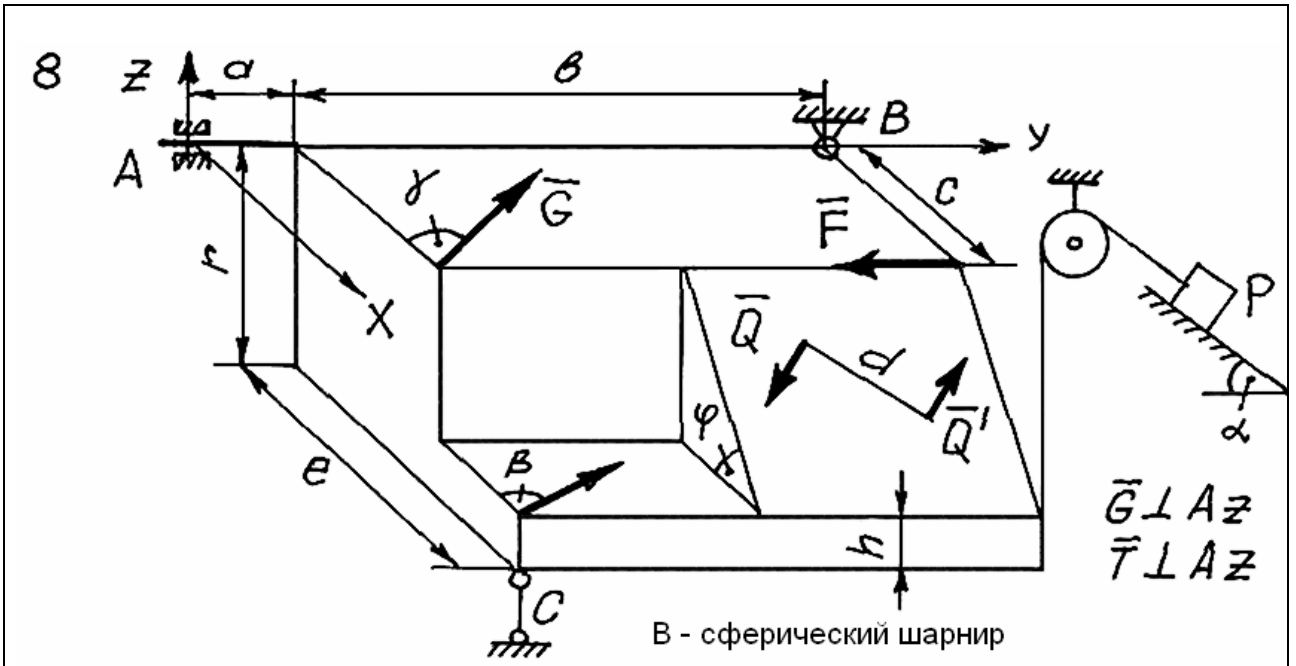
Эти уравнения равновесия позволяют определить шесть неизвестных величин. Поэтому при составлении уравнений нужно проверять, чтобы число неизвестных не было больше числа уравнений. В противном случае задача будет статически неопределимой.



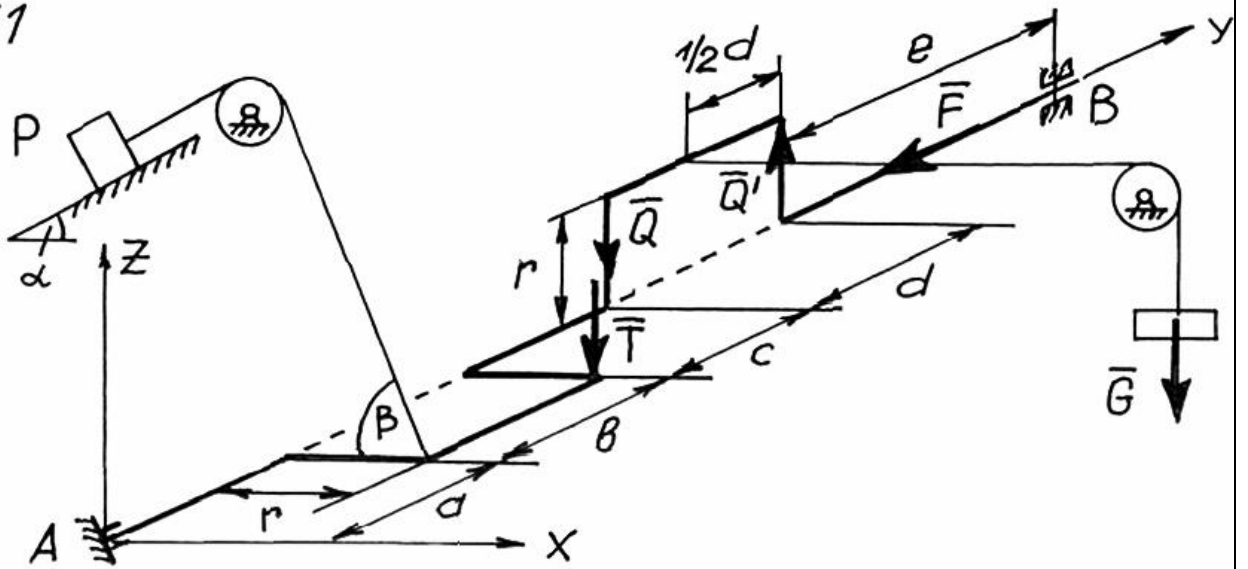




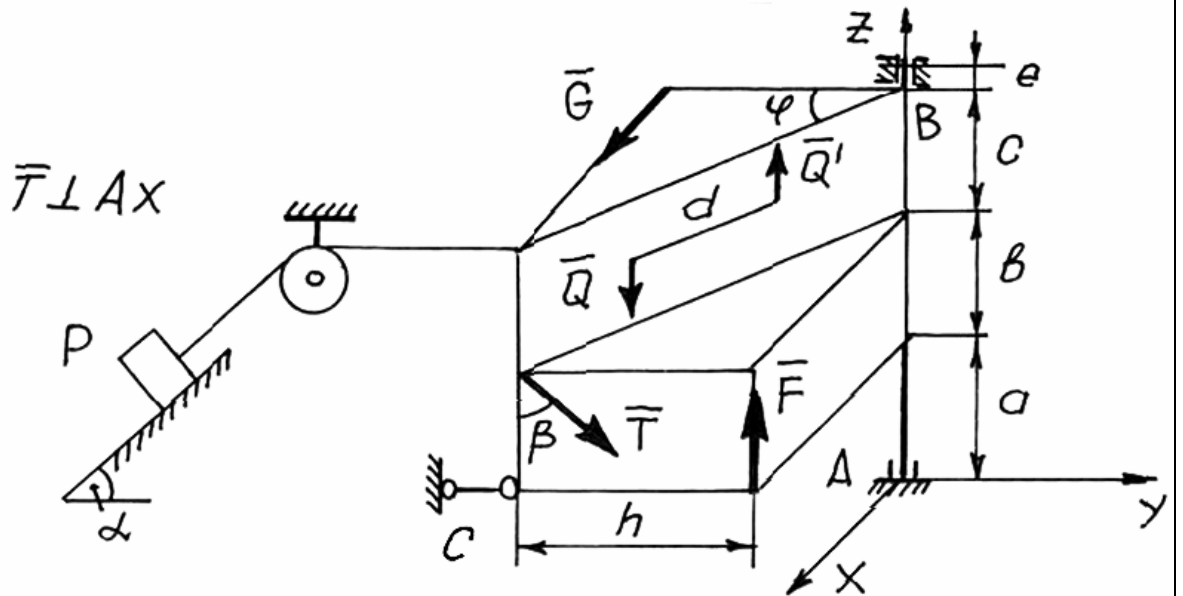




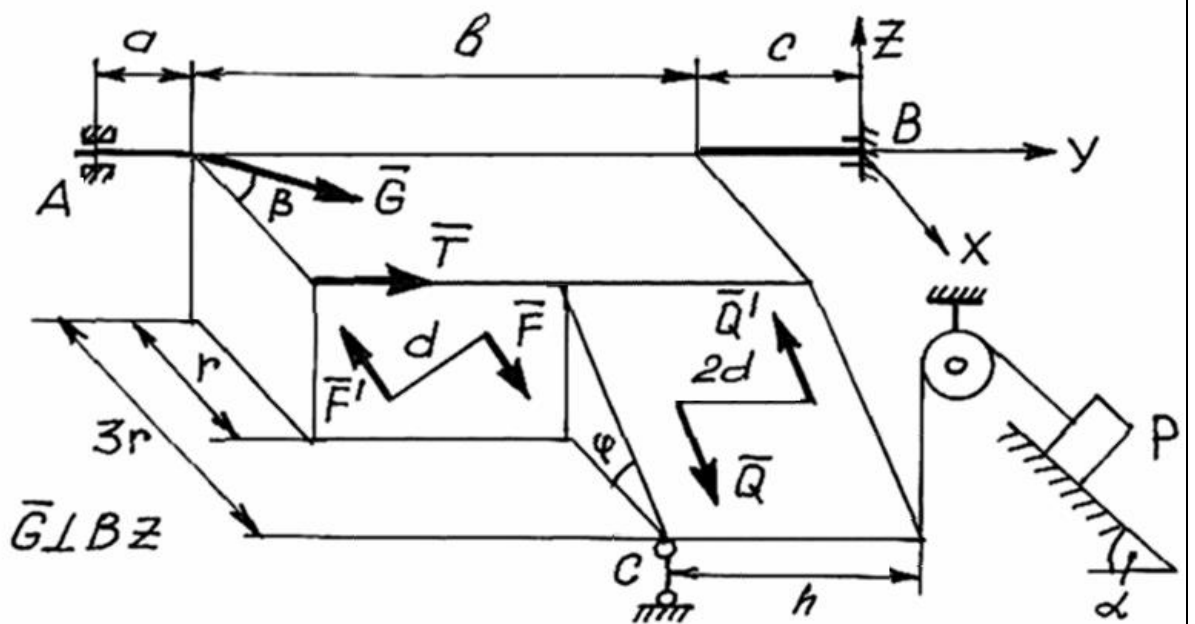
11



12



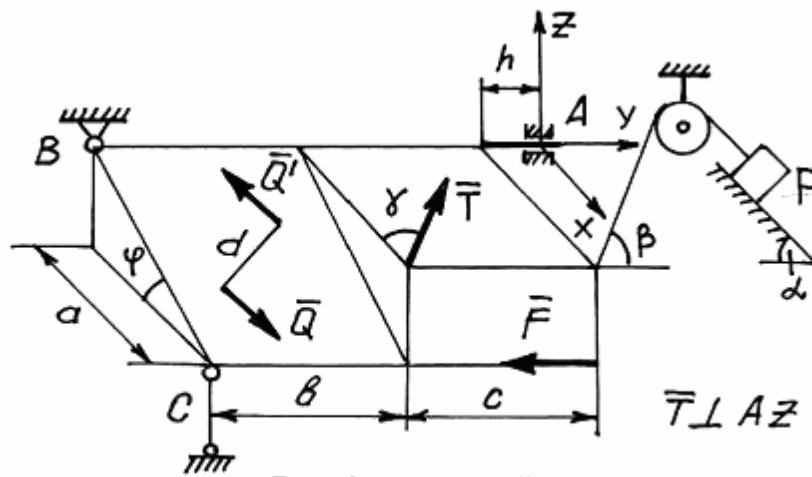
13





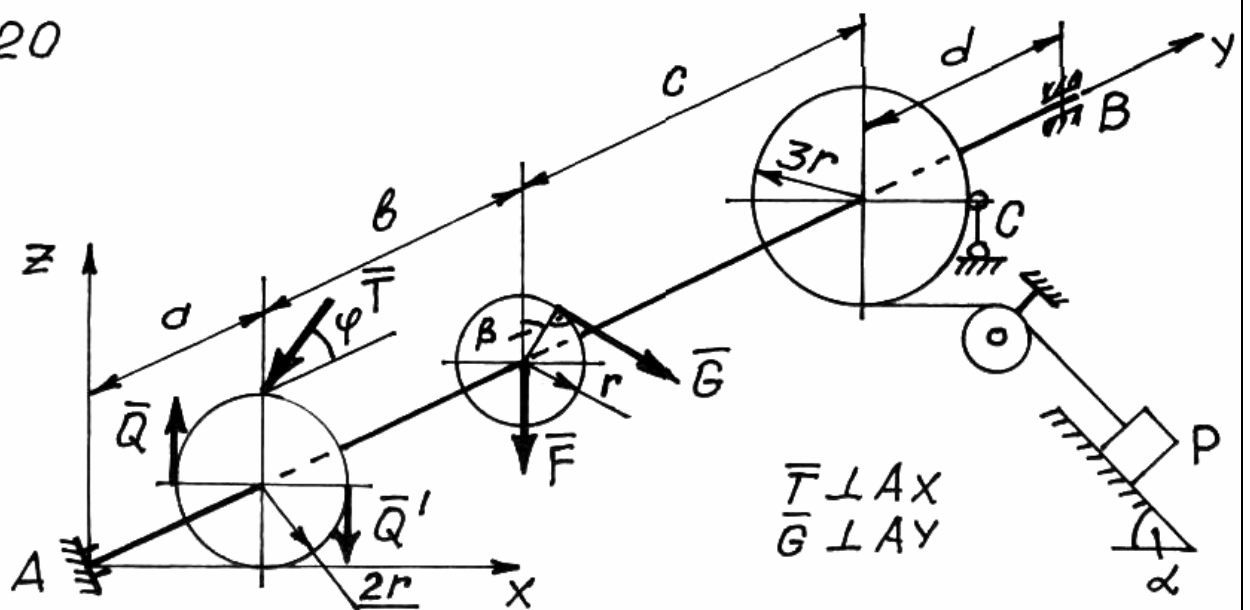


19

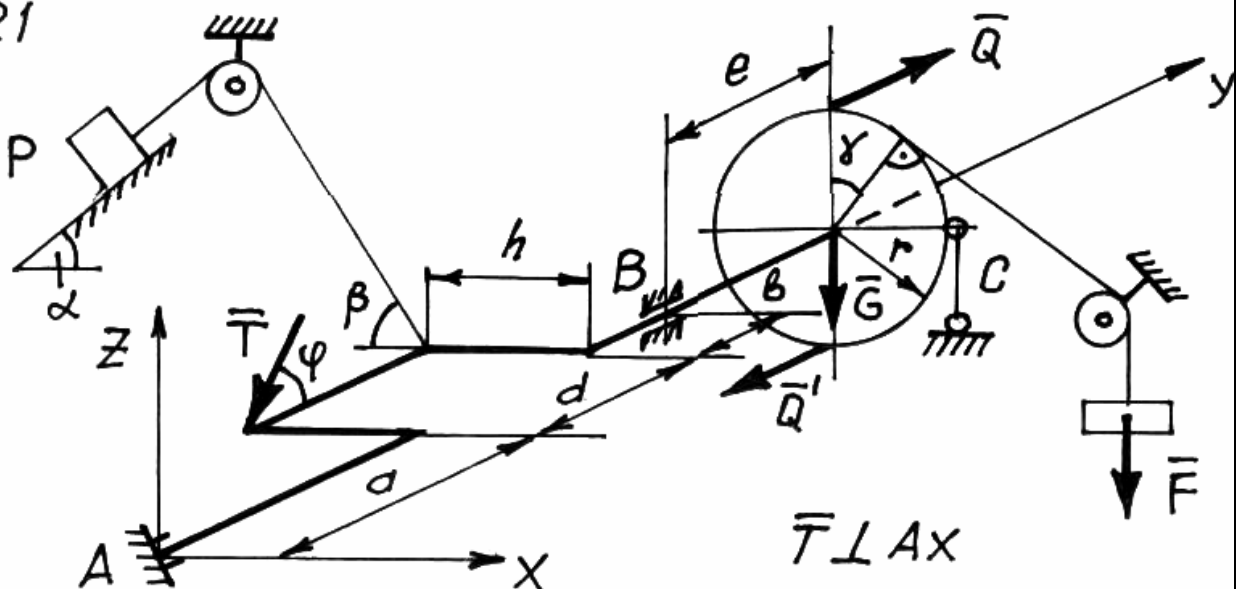


B - сферический шарнир

20

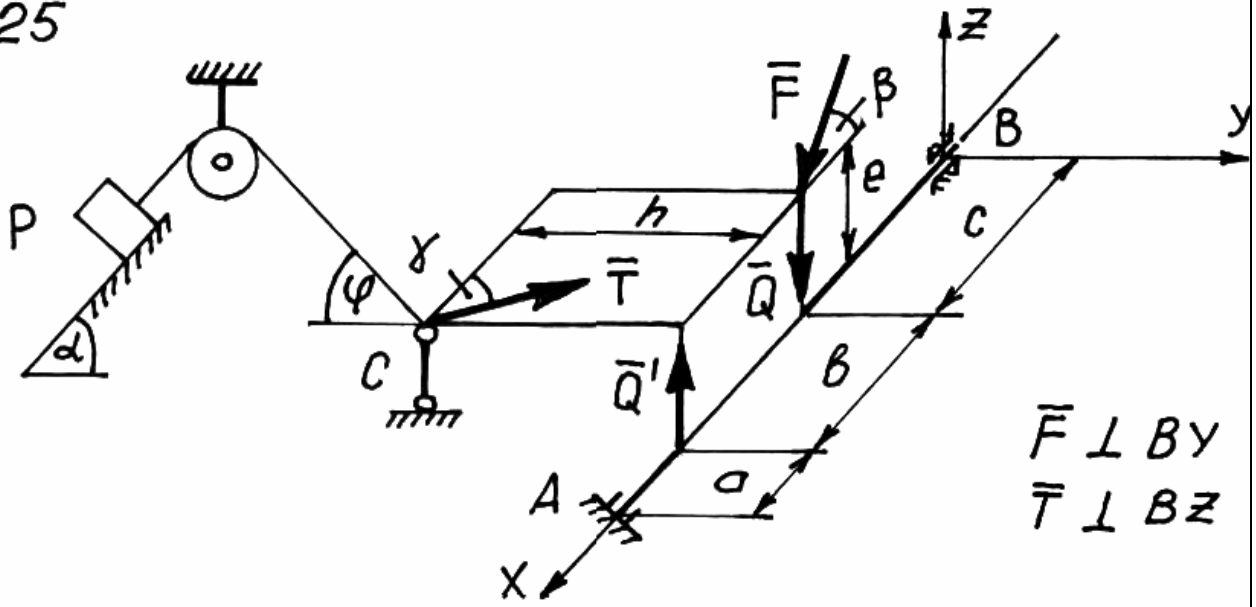


21

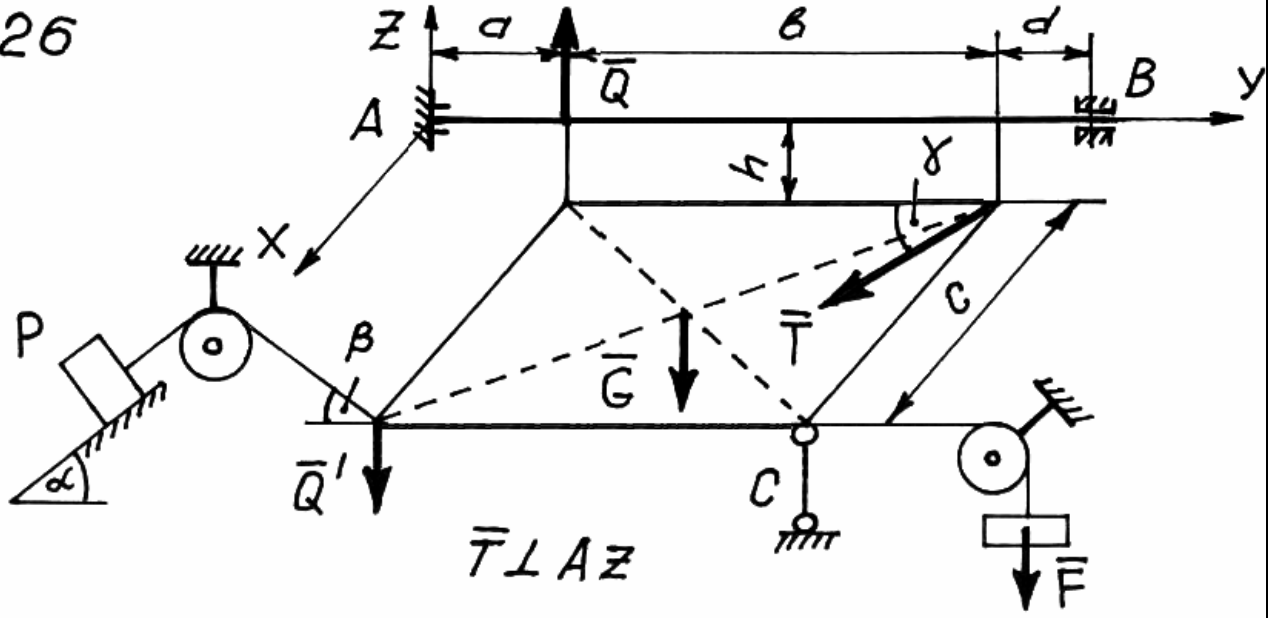




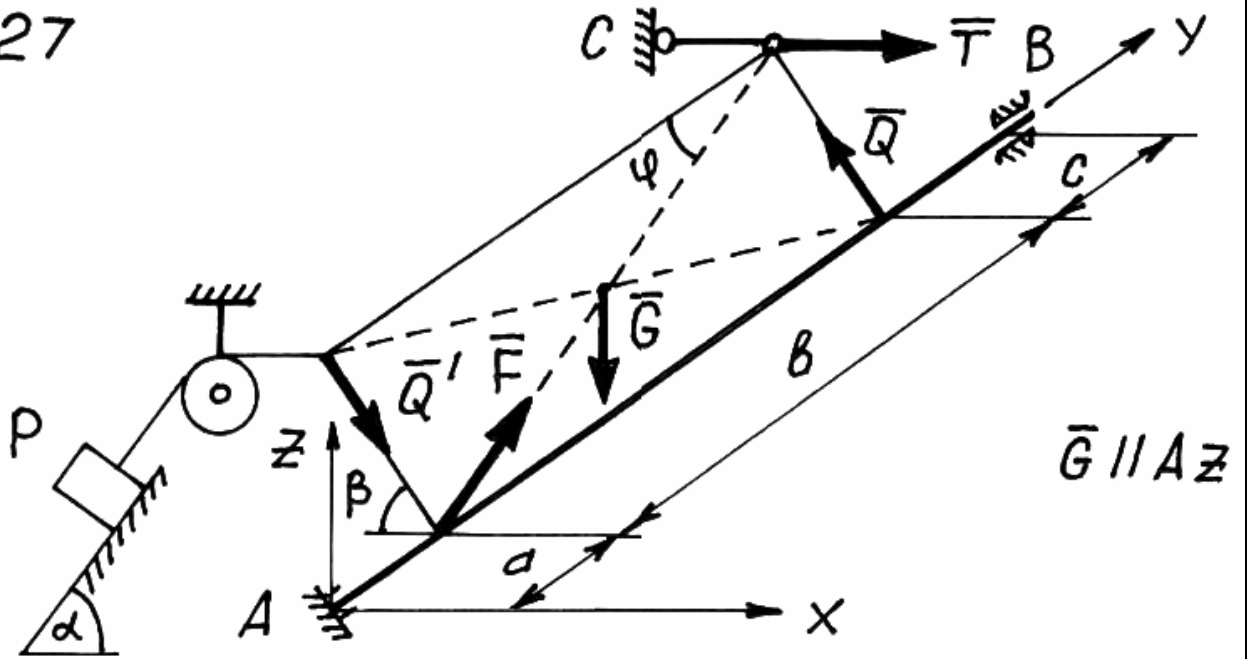
25



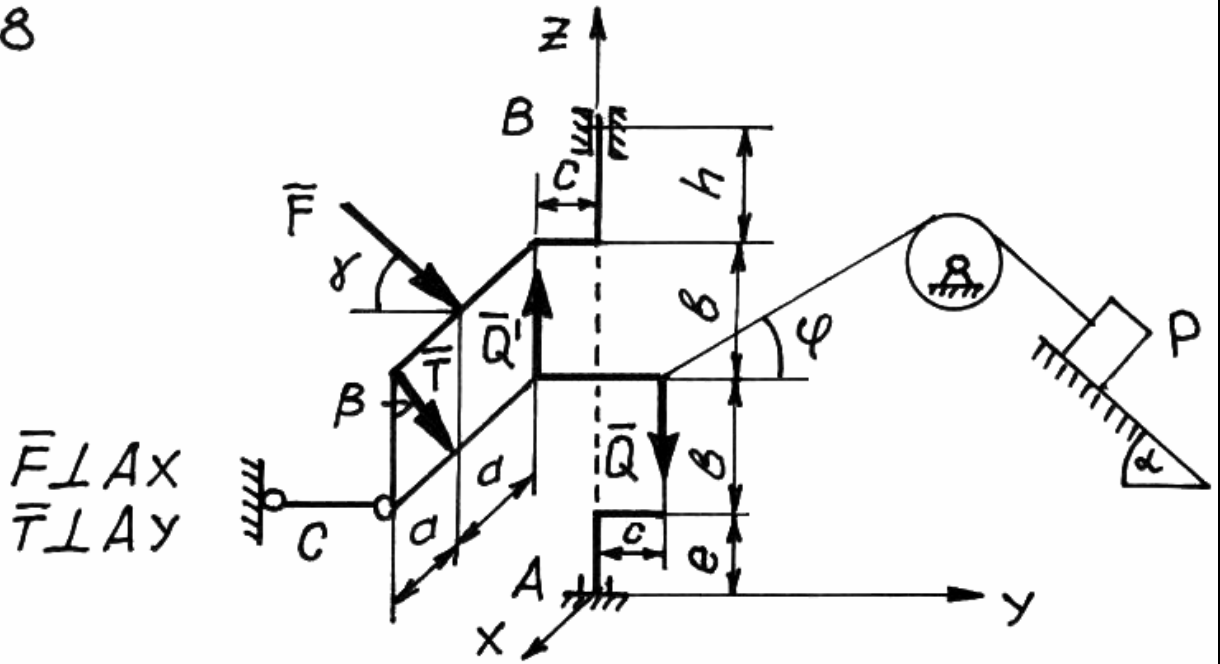
26



27



28





- концевые сечения бруса;
  - точки приложения внешних нагрузок;
  - сечения, по которым изменяется поперечный размер.
2. Провести ось эпюры: прямая, параллельная оси бруса.
  3. Начиная со стороны свободного конца бруса, последовательно применяя метод сечений, определить величину продольной силы на каждом участке.
  4. Построить эпюру.
  5. Штриховка эпюры выполняется прямыми, перпендикулярно к оси бруса.
  6. Проверить правильность построения эпюры продольных сил по скачкам: под сечениями бруса, где приложена внешняя нагрузка, на эпюре имеют место скачки, численно равные величине приложенной нагрузке.

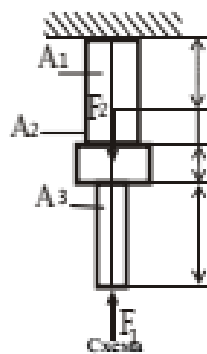
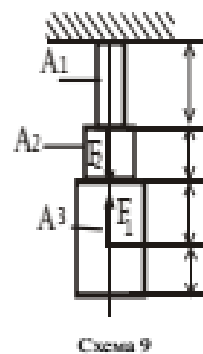
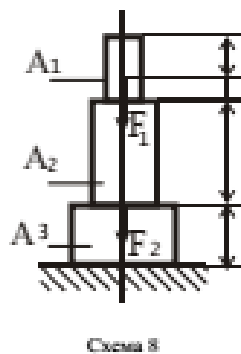
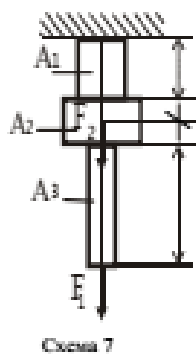
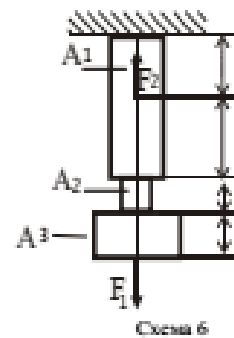
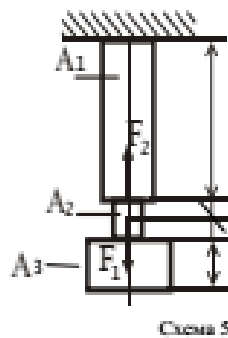
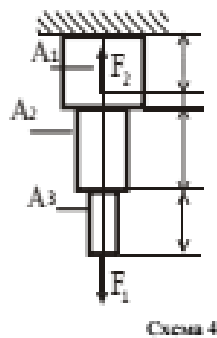
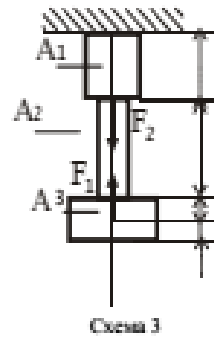
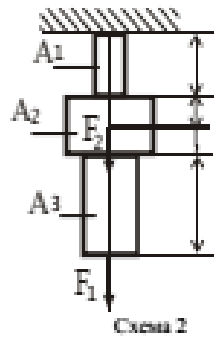
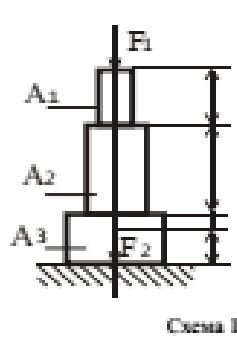


Схема	Вариант	$F_1$ кН	$F_2$ кН	$A_1$ см <sup>2</sup>	$A_2$ см <sup>2</sup>	$A_3$ см <sup>2</sup>	$a_1$ см	$a_2$ см	$a_3$ см	$a_4$ см
I	00	120	70	16	12	8	60	40	80	70
	11	150	120	25	15	10	80	20	60	50
	21	200	150	20	16	10	70	50	100	80
	31	140	100	22	20	15	40	60	70	80
	49	220	100	20	18	12	50	70	80	10
	58	130	120	20	18	15	80	40	50	0
	63	180	50	18	15	8	90	30	50	60
	71	150	100	18	12	10	70	80	80	40
	81	250	60	20	20	15	50	60	70	90
	91	110	90	15	15	10	40	30	70	40
II	01	130	120	12	16	8	80	40	50	60
	10	150	120	15	25	10	60	20	40	80
	20	120	70	16	20	10	100	50	30	70
	30	220	100	20	22	15	70	60	20	40
	39	150	100	18	20	12	80	70	20	50
	59	250	50	18	20	15	50	40	60	80
	61	110	90	15	18	8	50	30	40	90
	74	140	100	12	18	10	80	80	30	70
	84	200	150	20	25	15	70	60	20	50
	90	180	150	15	20	10	90	30	50	70
III	02	70	120	16	8	12	10	40	70	80
	12	120	150	25	10	15	20	30	50	60
	23	150	200	20	10	16	15	50	80	10
	33	100	140	22	15	20	10	60	80	0
	42	100	220	20	12	18	15	70	100	70
	56	120	180	20	15	18	20	40	60	80
	62	50	180	18	8	15	10	30	40	50
	70	100	150	18	10	12	20	50	90	50
	80	50	250	25	15	20	15	30	40	80
	93	90	110	20	10	15	15	40	70	70
IV	03	10	70	5	8	12	70	80	10	40
	13	20	120	8	10	15	50	60	20	30
	22	25	150	12	15	20	80	100	15	50
	32	30	100	16	20	25	80	70	10	60
	41	40	100	15	18	25	100	80	15	70
	57	45	120	18	25	30	60	50	20	40
	60	40	140	16	20	25	40	50	10	60
	77	35	75	14	18	20	90	80	20	50
	87	25	125	12	16	20	40	70	15	80
	92	20	80	10	15	18	50	70	15	60
V	05	70	120	16	8	12	60	10	40	10
	15	120	250	25	10	15	80	20	30	0

	25	150	200	22	15	20	70	15	50	90
	35	100	140	30	20	25	40	10	60	80
	44	100	220	30	18	25	50	15	70	70
	54	120	180	35	25	30	80	20	40	12
	67	50	180	30	20	25	50	10	30	0
	73	70	150	25	18	20	70	20	50	10
	83	50	250	25	16	20	60	15	30	0
	95	90	190	25	15	18	70	15	40	90
VI	04	70	120	16	8	12	80	60	40	50
	14	120	150	25	10	15	60	80	20	40
	24	150	200	22	15	20	100	70	50	30
	34	100	140	30	20	25	70	40	60	20
	43	100	220	30	18	25	80	50	30	30
	55	120	180	35	25	30	50	80	40	70
	65	50	180	30	20	25	50	90	30	20
	76	70	150	25	18	20	80	70	30	50
	86	50	250	25	16	20	70	50	20	40
	94	90	110	25	15	18	90	70	30	60
VII	07	120	70	8	16	12	100	40	50	60
	17	150	120	10	22	15	90	20	40	80
	27	200	150	15	25	20	80	50	30	70
	37	140	100	12	30	25	70	60	20	40
	46	220	100	8	20	15	120	30	20	50
	52	130	120	15	30	20	100	40	40	80
	66	180	50	12	35	25	90	30	40	90
	72	150	100	8	25	20	150	30	70	70
	82	250	50	10	30	25	100	20	60	50
	97	110	90	15	25	18	90	30	50	70
VIII	06	120	130	16	12	8	60	80	40	40
	16	150	120	22	15	8	50	60	30	30
	26	70	120	25	20	12	80	100	50	50
	36	100	220	30	25	16	60	70	60	60
	45	100	150	20	15	10	50	80	70	70
	53	50	250	30	20	16	30	50	40	40
	64	90	110	35	25	15	40	50	30	30
	79	100	140	25	20	12	60	80	50	50
	89	150	200	30	25	12	50	70	30	30
	96	150	80	25	18	10	70	90	40	40
IX	09	90	240	16	12	10	10	60	80	70
	19	120	220	22	15	12	20	80	60	50
	29	50	180	25	20	15	15	70	100	80
	38	100	150	30	25	16	10	40	70	80
	48	50	250	20	15	10	15	50	80	10
	50	70	170	30	20	12	20	80	50	0
	68	100	180	35	25	12	10	50	50	60
	75	140	220	25	20	10	20	70	80	40
	85	130	180	30	25	14	15	60	70	90

	99	80	150	20	18	10	15	70	90	40
X	08	100	230	8	12	10	80	50	40	50
	18	110	210	10	14	12	60	40	20	40
	28	60	180	12	16	14	100	30	50	30
	40	90	140	14	18	16	70	20	60	20
	47	60	160	8	12	10	80	20	30	20
	51	120	200	10	14	12	70	40	40	60
	69	140	220	12	16	14	60	40	30	40
	78	100	180	14	18	16	80	30	30	30
	88	120	170	8	12	10	70	50	20	20
	98	80	150	10	14	12	100	40	30	50

### Практическое занятие № 10

**Тема.** Решение задач на определение главных центральных моментов инерции составных сечений, имеющих ось симметрии. (2 часа)

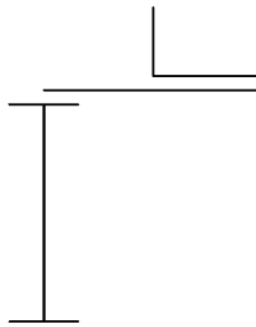
**Цель работы:** закрепление теоретических знаний и практических умений, определения опорных реакций балок и выполнения проверки правильности решения.

**Материалы, оборудование, программное обеспечение:** учебник, калькулятор, линейка, карандаш.

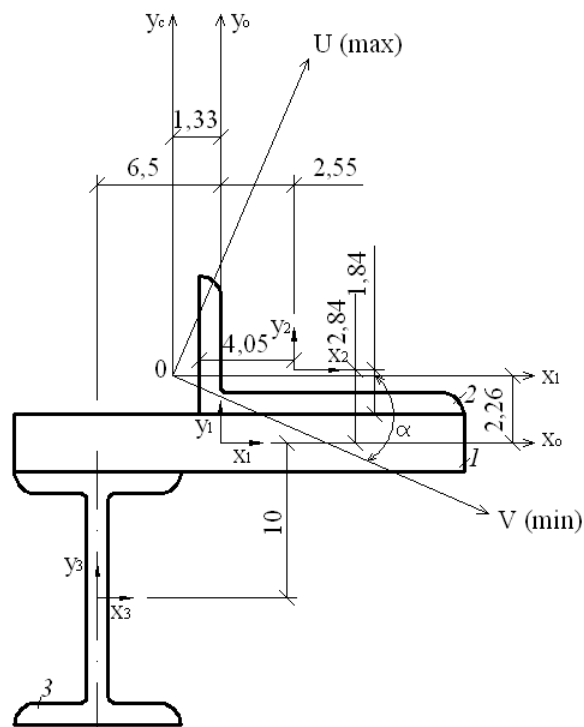
#### Порядок выполнения работ:

Задача 1.

Для заданного сечения (рисунок), состоящего из прямоугольного листа и прокатных профилей требуется: вычислить главные центральные моменты инерции, начертить сечение и показать все оси и размеры.



1. Лист 22 2см,
2. Уголок неравнобокий 125 80 8,
3. Двутавр №18.



## Тема 2.2

### Растяжение и сжатие.

### Практическое занятие № 11

Тема. Решение задач на построение эпюр крутящих моментов, углов закручивания. (2 часов)

### Задача 1.

Стальной вал круглого поперечного сечения нагружен скручивающими моментами. Расчётное сопротивление материала вала на сдвиг  $R_c=130$  МПа, а модуль сдвига  $G=80$  ГПа.

Требуется:

- 1) подобрать диаметр вала;

- 2) построить эпюру крутящих моментов и напряжений;
- 3) построить эпюру углов закручивания;
- 4) построить эпюру относительных углов закручивания.

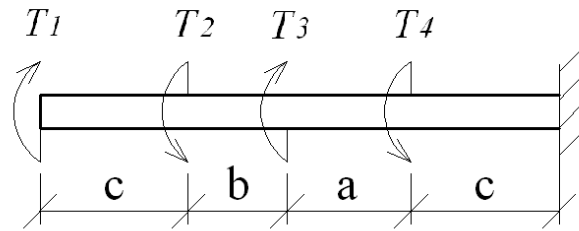
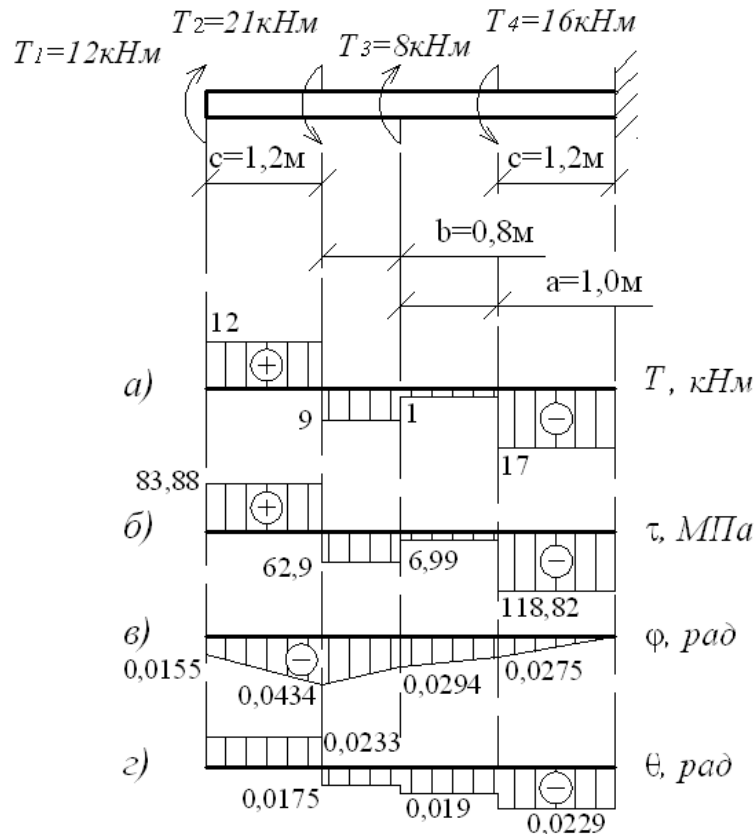


Схема вала

$a=1\text{ м}, b=0,8\text{ м}, c=1,2\text{ м},$   
 $T_1=12\text{ кН·м}, T_2= 21\text{ кН·м}, T_3=8\text{ кН·м}, T_4=16\text{ кН·м}$   
 $\alpha=2^\circ$



### Практическое занятие № 12

**Тема.** Решение задач на построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. (2 часов)

#### Ход работы.

Решение задачи на плоский поперечный изгиб.

1. Определить реакции опор.
2. Составить уравнение равновесия.
3. Исходя из направления нагрузок определить горизонтальную реакцию.
4. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов методом сечений:

- в точке А;
  - в точке В;
  - в точке С (справа);
  - в точке С (слева);
  - в точке D;
5. Подобрать двутавровое сечение при значениях  $R$  и  $\sigma$ .
  6. Определить максимальный изгибающий момент  $M_{\max}$  по эпюре изгибающих моментов.
  7. Пользуясь сортаментом (Приложение 1), выбирать двутавр.
  8. Проверить прочность по нормальным напряжениям.
  9. Рассчитать недогрузку.
  10. Проверить прочность по касательным напряжениям.
  11. Определить максимальное значение поперечной силы по эпюре поперечных сил.
  12. Геометрические характеристики выбирать из (Приложения 1)

### Задача 1.

Для указанной балки построить эпюры внутренних усилий. Выполнить расчёт на прочность. Подобрать двутавровое сечение из прокатного профиля, если  $R=210$  МПа,  $R_c=130$  МПа,  $m=20$  кН·м,  $q=8$  кН/м,  $F=12$  кН.

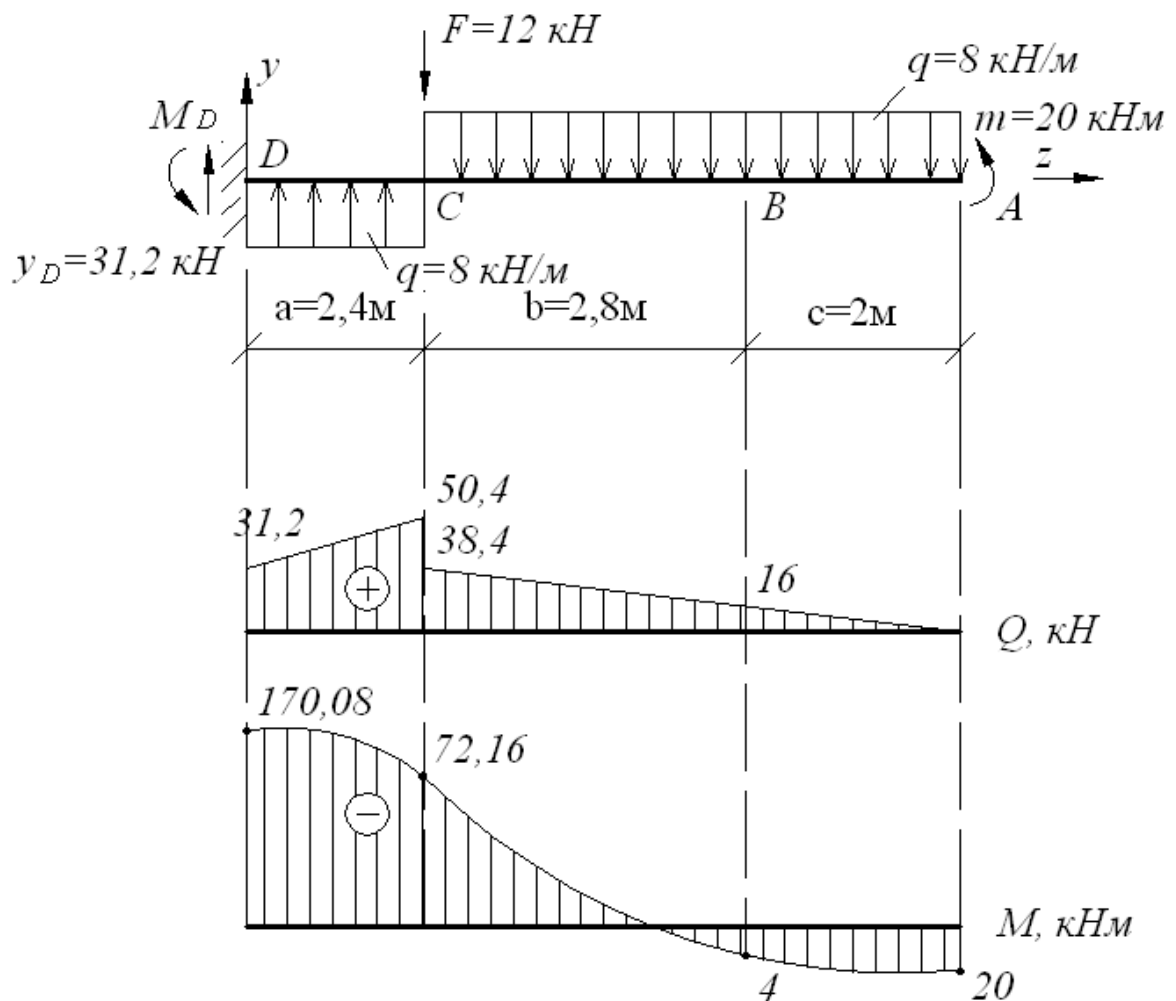


Схема балки. Эпюры поперечных сил и изгибающих

**Задача 2.**

Для указанной балки построить эпюры внутренних усилий. Подобрать сечение из двух швеллеров из прокатных профилей, если  $R=210$  МПа,  $R_c=130$  МПа,  $m=18$  кН·м,  $q=20$  кН/м,  $F=12$  кН.

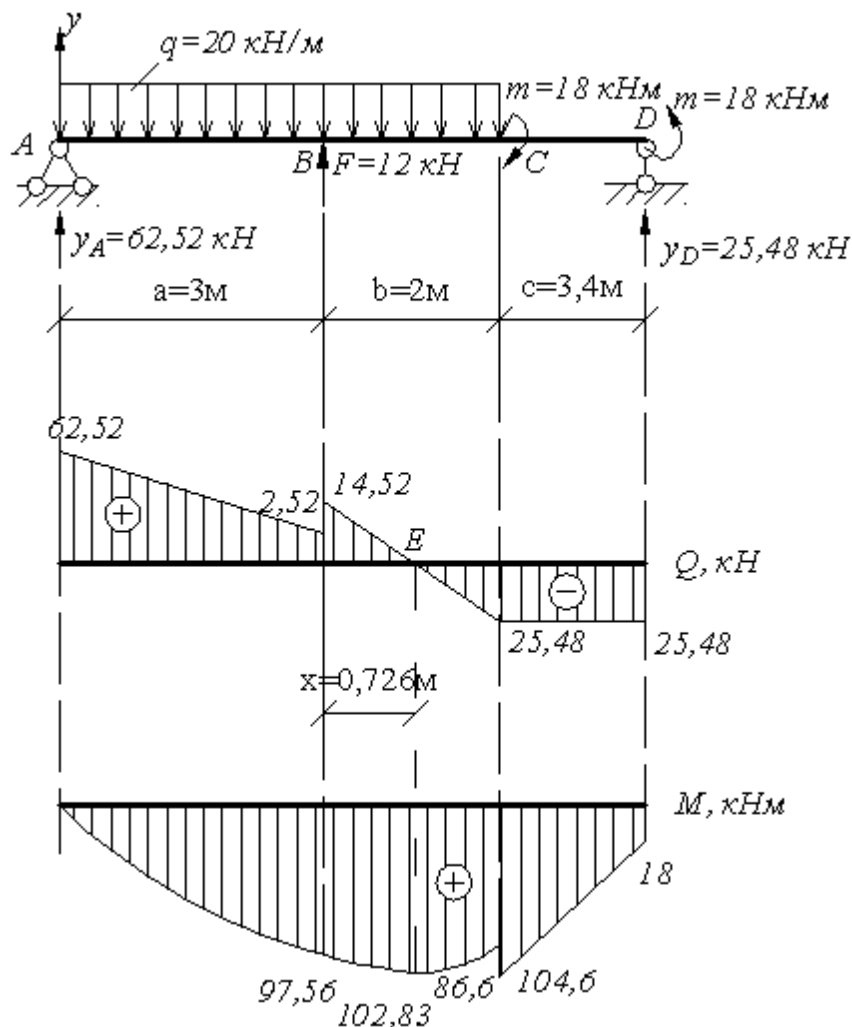


Схема балки. Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

**Задача 3.**

Для указанной балки построить эпюры внутренних усилий. Выполнить расчёт на прочность. Подобрать прямоугольное сечение из древесины, если соотношение сторон сечения составляют  $h/b=1.5$ ,  $R=16$  МПа,  $R_c=2$  МПа,  $m=8$  кН·м,  $q=6$  кН/м,  $F=8$  кН.

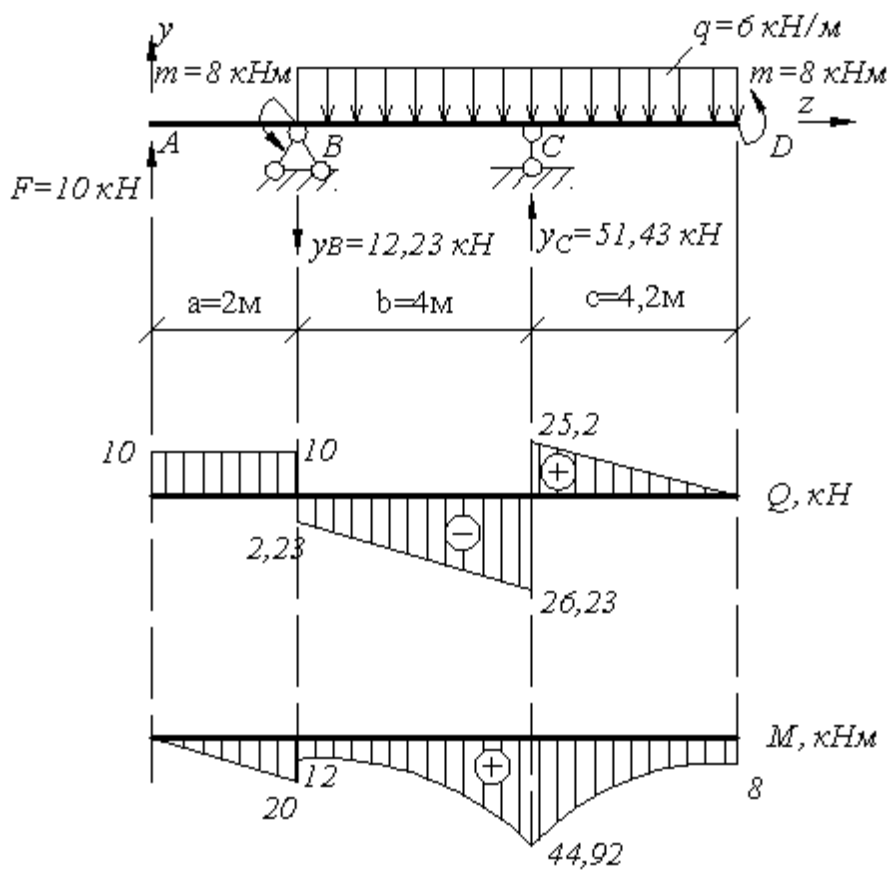
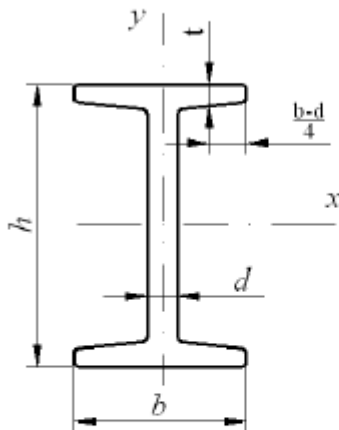


Схема балки. Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

## Приложение 1

### Сталь горячекатаная. Балки двутавровые (по ГОСТ 8239-89\*)



$I$  – момент инерции

$W$  – момент сопротивления

$S$  – статический момент площади полусечения

$i$  – радиус инерции

Таблица П1.1

Номер профиля	Размеры, мм				Площадь сечения $A$ , см <sup>2</sup>	Линейная плотность $\rho$ , кг/м	Геометрические характеристики относительно осей						
	$n$	$b$	$d$	$t$			$x$				$y$		
							$I_x$ см <sup>4</sup>	$W_x$ см <sup>3</sup>	$i_x$ см	$S_x$ см <sup>3</sup>	$I_y$ см <sup>4</sup>	$W_y$ см <sup>3</sup>	$i_y$ см
10	100	55	4,5	7,2	12,0	9,46	198	39,7	4,06	23	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	14,7	11,5	350	58,4	4,88	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	17,4	13,7	572	81,7	5,73	46,8	41,9	11,5	1,55
16	160	81	5	7,8	20,2	15,9	873	109	6,57	62,3	58,6	14,5	1,7
18	180	90	5,1	8,1	23,4	18,4	1290	143	7,42	81,4	82,6	18,4	1,88
20	200	100	5,2	8,4	26,8	21	1840	184	8,28	104	115	23,1	2,07
22	220	110	5,4	8,7	30,6	24	2550	232	9,13	131	157	28,6	2,27
24	240	115	5,6	9,5	34,8	27,3	3460	289	9,97	163	198	34,5	2,37
27	270	125	6	9,8	40,2	31,5	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54
30	300	135	6,5	10,2	46,5	36,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69
33	330	140	7	11,2	53,8	42,2	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79
36	360	145	7,5	12,3	61,9	48,6	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89
40	400	155	8,3	13	72,6	57	19062	953	16,2	545	667	86	3,03
45	450	160	9	14,2	84,7	66,5	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09
50	500	170	10	15,2	100	78,5	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23
55	550	180	11	16,5	118	92,6	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39
60	600	190	12	17,8	138	108	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54

Раздел 3. Детали машин

Тема 3.1

## Механизм и машина. Основные положения. Валы и оси. Подшипники скольжения и качения.

Практическое занятие № 13

Тема. Выполнение проекторочного расчета валов передачи. (2 часа)

### Ход работы.

На начальной стадии проектирования еще неизвестны длины отдельных участков вала, поэтому невозможно оценить величины действующих на вал изгибающих моментов. Расчет вала ведется только на кручение, но чтобы учесть неизвестные изгибные напряжения, в расчете принимают заниженные допускаемые напряжения. Диаметр вала  $d$ , мм:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{0,2[\tau_{кр}]}}$$

где  $M_{кр}$  – крутящий момент, Н·мм;  
 $[\tau_{кр}]$  – допускаемые напряжения для материала вала, МПа.  $[\tau_{кр}]$  почти не зависят от материала вала, а зависят от длины вала и частоты вращения. Для редукторных валов рекомендуется принимать:  $[\tau_{кр}] = 10-15$  МПа – для быстроходных валов;  $[\tau_{кр}] = 15-25$  МПа – для тихоходных валов.

Рассчитанное значение  $d$  должно соответствовать диаметру самого тонкого участка вала. Полученное значение  $d$  необходимо увеличить на 5-7% в случае размещения на этом участке вала шпоночного или прессового соединения. Следует помнить, что диаметр вала  $d$  должен быть округлен в большую сторону до стандартного значения.

После этого разрабатывается конструкция вала, обеспечивающая технологичность изготовления и сборки.

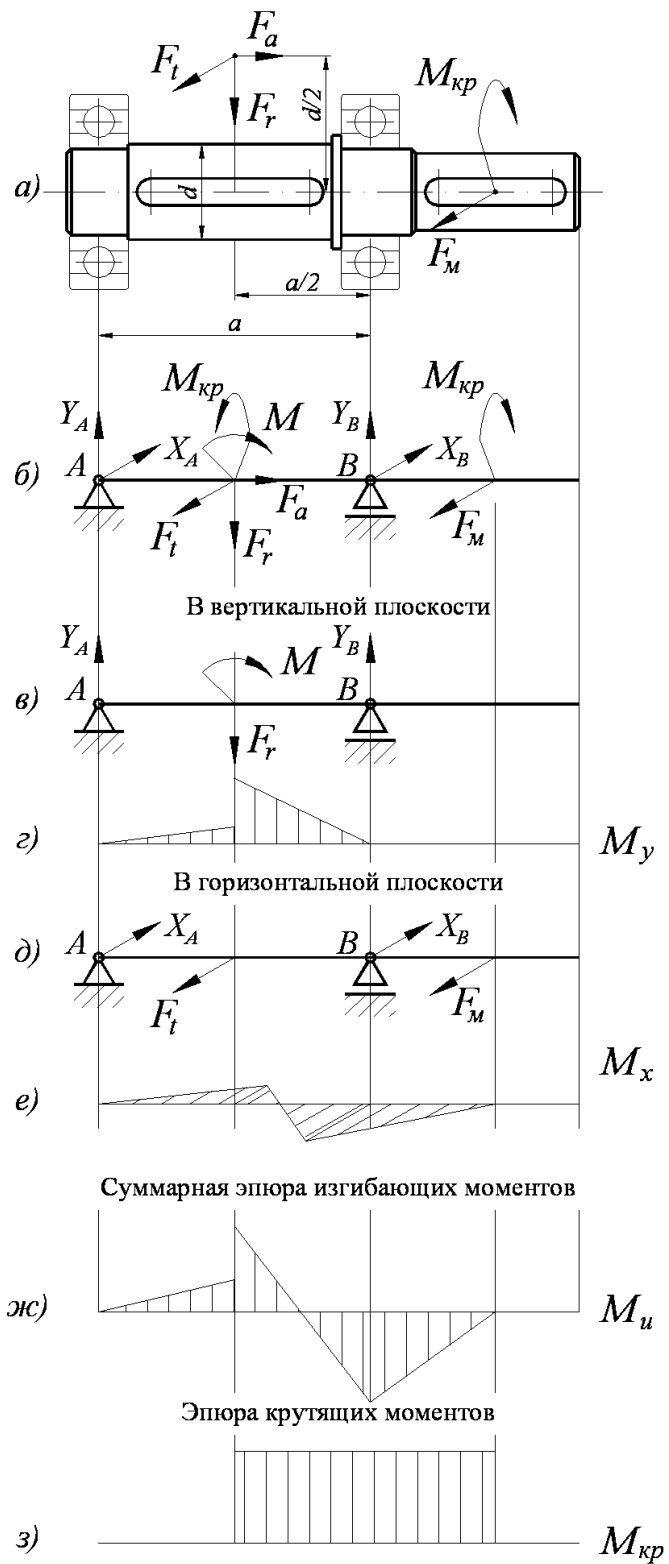
### Проверочный расчет на статическую прочность

При составлении расчётной схемы валы рассматривают как прямые брусья, лежащие на шарнирных опорах. При выборе типа опоры полагают, что деформации валов малы и, если подшипник допускает хотя бы небольшой наклон или перемещение цапфы, его считают шарнирно-неподвижной или шарнирно-подвижной опорой. Подшипники скольжения или качения, воспринимающие одновременно радиальные и осевые усилия, рассматривают как шарнирно-неподвижные опоры, а подшипники, воспринимающие только радиальные усилия – как шарнирно-подвижные.

На данном этапе учитывают не только крутящий, но и изгибающие моменты.

Выполняется на этапе эскизной компоновки, когда предварительно выбраны подшипники, известна длина всех участков вала, известно положение всех деталей на валу, рассчитаны силы, действующие на вал (рис. 6.5а,б).

Чертят расчётные схемы вала в двух плоскостях (рис. 6.5в,д). По известным силам, действующих на насаженные на вал детали и расстояниям до опор строятся эпюры изгибающих моментов в горизонтальной и фронтальной плоскостях (рис. 6.5з,е). Затем вычисляется суммарный изгибающий момент для каждого участка вала (рис. 6.5ж):



Построение эпюр изгибающих и крутящих моментов для проверки статической прочности вала

$$M_u = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}.$$

Далее строятся эпюры нормальных и касательных напряжений:

$$\sigma = \frac{M_u}{W} + \frac{N}{A}; \quad \tau = \frac{M_{кр}}{W_p};$$

где  $N$  – осевая сила, Н;

$W$  – осевой момент сопротивления сечения, мм<sup>3</sup>;

$A$  – площадь поперечного сечения, мм<sup>2</sup>;

$W_p$  – полярный момент сопротивления сечения, мм<sup>3</sup>.

По полученным результатам определяется максимальное эквивалентное напряжение, которое сравнивается с допускаемым:

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma].$$

Допускаемые напряжения можно принять:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_m}{[S_m]},$$

где  $\sigma_m$  – предел текучести материала вала (табл. 6.1);

$[S_m]$  – коэффициент запаса

прочности по пределу текучести;

рекомендуется  $[S_m] = 2-3$ .

Марка стали	Диаметр заготовки, мм	Твердость НВ (не менее)	Механические характеристики, МПа					Коэффициент $\psi_\tau$
			$\sigma_e$	$\sigma_m$	$\tau_m$	$\sigma_{-1}$	$\tau_{-1}$	
Ст5	Любой	190	520	280	150	220	130	0,06
45	≤120	240	780	540	290	360	200	0,09
	≤80	270	900	650	390	410	230	0,10
40X	≤200	240	790	640	380	370	210	0,09
	≤120	270	900	750	450	410	240	0,10
40XH	≤200	270	920	750	450	420	230	0,10
20X	≤120	197	650	400	240	310	170	0,07
12XH3A	≤120	260	950	700	490	430	240	0,10
18XГТ	≤60	330	1150	950	660	500	280	0,12

#### Практическое занятие № 14

**Тема.** Изучение конструкций узлов подшипников, их обозначение и основные типы. (2 часа)

**Цель работы:** ознакомление с конструкцией, областью применения, системой условных обозначений и маркировкой подшипников качения.

**Оборудование и инструменты:** набор подшипников, измерительный инструмент (штангенциркуль, металлическая линейка).

#### Краткие теоретические положения.

**Подшипник качения** - это часть опоры вала (или вращающейся оси), воспринимающая от него радиальные, осевые и радиально-осевые нагрузки, работающая в условиях преобладающего трения качения.

Подшипники качения имеют ряд преимуществ перед подшипниками скольжения. К основным их достоинствам относятся:

1. Меньшие затраты энергии на трение (момент трения в шарикоподшипниках в 3-6 раз меньше, чем в подшипниках скольжения);
2. Меньше габаритные размеры (по ширине);
3. Меньший расход смазочных материалов;
4. Подшипники качения обладают лучшими конструктивными и эксплуатационными характеристиками;
5. Применение подшипников качения дает возможность повысить к.п.д. всей машины, уменьшить нагрузку на двигатель в период пуска машины;
6. Эксплуатационные расходы на подшипники качения меньше на 20-30%, чем на подшипники скольжения;

**Основными недостатками подшипников качения являются:**

1. Ограничение возможности работы при весьма больших нагрузках и частотах вращения;
2. Большие габаритные размеры по диаметру, неразъемность конструкции, что затрудняет монтаж и демонтаж машины;
3. Сравнительно высокая стоимость и возможность изготовления только на специализированных заводах с высоким техническим уровнем.

В настоящее время в России выпускаются подшипники качения с внутренним диаметром от долей миллиметра до 2475 мм и массой от долей грамма до 4 тонн.

Подшипник качения (рис. 1.1) представляет собой готовую сборочную единицу (узел), основными деталями которой являются тела качения 3 - шарики или ролики различной формы, установленные между наружным 1 и внутренним 2 кольцами, и сепаратор «А», разделяющий тела качения. Внутреннее кольцо насаживается на вал, наружное устанавливается в корпусе опорного узла машины. На наружной поверхности внутреннего кольца и внутренней поверхности наружного кольца выполняются дорожки качения, геометрическая форма которых определяется формой тел качения.

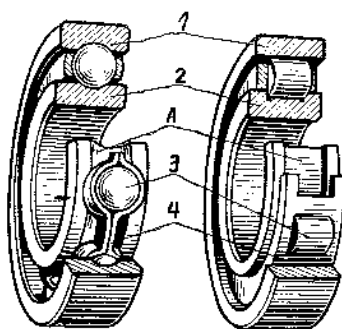


Рис.1.1 Конструкция подшипника качения

Основные типы шарикоподшипников и роликоподшипников представлены на рис. 1.2 и 1.3 соответственно.

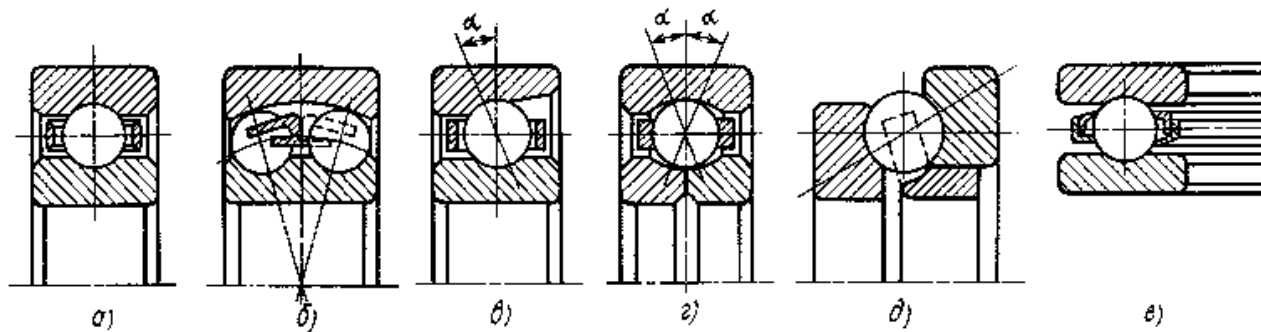


Рис. 1.2. Основные типы шарикоподшипников: а – радиальные однорядные; б – двухрядные несамоустанавливающиеся; в, г – радиально-упорные; д – упорно-радиальные; е – упорные

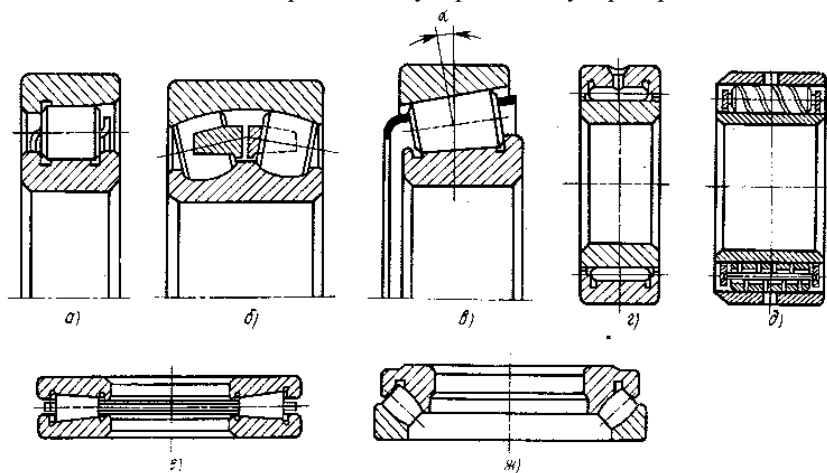


Рис. 1.3. Основные типы роликоподшипников: а – радиальные с короткими (или с длинными) цилиндрическими роликами; б – радиальные с бочкообразными роликами двухрядные

Подшипники качения классифицируются по следующим основным признакам:

1. По направлению действия воспринимаемой нагрузки:

а) радиальные - воспринимают преимущественно радиальную нагрузку;

б) упорные - воспринимают осевую нагрузку;

в) радиально-упорные - воспринимают комбинированную нагрузку, причем преобладающей может быть как радиальная, так и осевая нагрузка; г) упорно-радиальные - воспринимают в основном осевую нагрузку и частично радиальную.

2. По форме тел качения:

а) шариковые;

б) роликовые (ролики могут быть цилиндрическими короткими и длинными, витыми, коническими, сферическими, сфероконическими и выполненными в виде игл).

3. По числу рядов тел качения делятся на одно-, двух-, четырех- и многорядные.

4. По основным конструктивным признакам:

а) самоустанавливающиеся и несамоустанавливающиеся;

б) с цилиндрическим или конусным отверстием внутреннего кольца;

в) одинарные или двойные.

5. По габаритным (диаметральным) размерам:

а) сверхлегкая серия (2 серии);

б) особо легкая серия (2 серии);

в) легкая серия;

г) средняя серия;

д) тяжелая серия.

6. По ширине:

а) узкая серия;

б) нормальная серия;

в) широкая серия;

г) особо широкая серия.

**Условные обозначения:**

Условные обозначения подшипников состоят из цифр и букв. Две первые цифры, считая справа, указывает посадочный диаметр подшипника на вал, то есть внутренний диаметр подшипника. Для подшипника с внутренним диаметром от 20 до 495 мм ЭТИ цифры соответствуют внутреннему диаметру, делённому на 5. Для подшипников с внутренним диаметром от 10 до 17 мм цифры, обозначающие диаметр, соответствуют:

00 - диаметр посадки на вал 10 мм

01 - диаметр посадки на вал 12 мм

02 - диаметр посадки на вал 15 мм

03 - диаметр посадки на вал 17 мм

Третья цифра справа совместно с седьмой обозначают серию подшипников всех диаметров, кроме малых (до 9 мм) - см. табл.1.1.

Четвертая цифра справа указывает тип подшипника:

0 - радиальный шариковый однорядный, (рис.1.4);

1 - радиальный шариковый сферический двухрядный (рис.1.5);

2 - радиальный с короткими цилиндрическими роликами (рис.1.6);

3 - радиальный роликовый сферический (рис.1.7);

4 - радиальный роликовый с длинными цилиндрическими роликами и иглами (игольчатый) (рис.1.8);

5 - радиальный роликовый с витыми роликами (рис.1.9);

6 - радиально-упорный шариковый (рис.1.10);

7 - радиально-упорный роликовый (конический) (рис.1.11);

8 - упорный шариковый (рис.1.12);

9 - упорный роликовый (рис.1.13).

Рис. 1.4

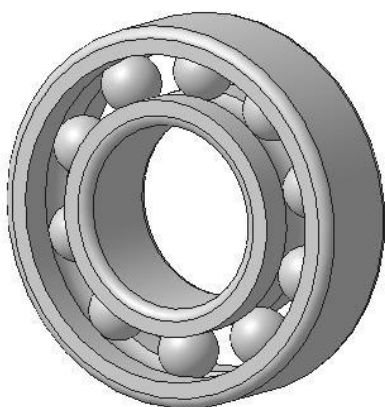


Рис.1.5

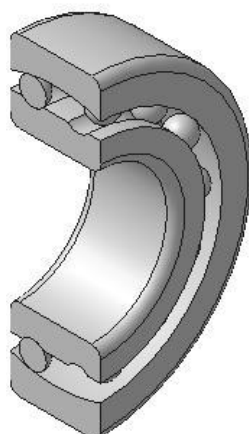


Рис.1.6

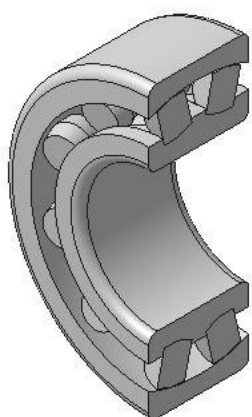


Рис.1.7

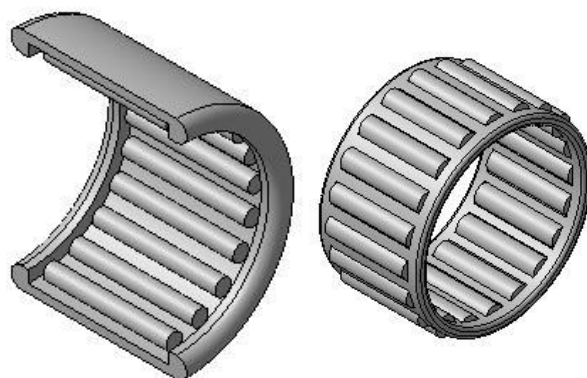


Рис.1.8



Рис.1.9

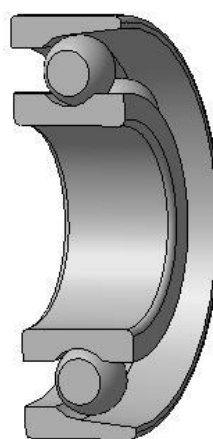


Рис.1.10

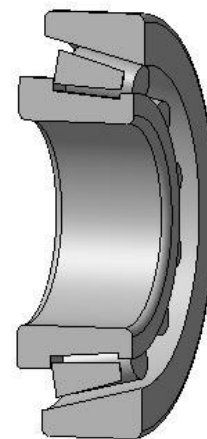


Рис.1.11

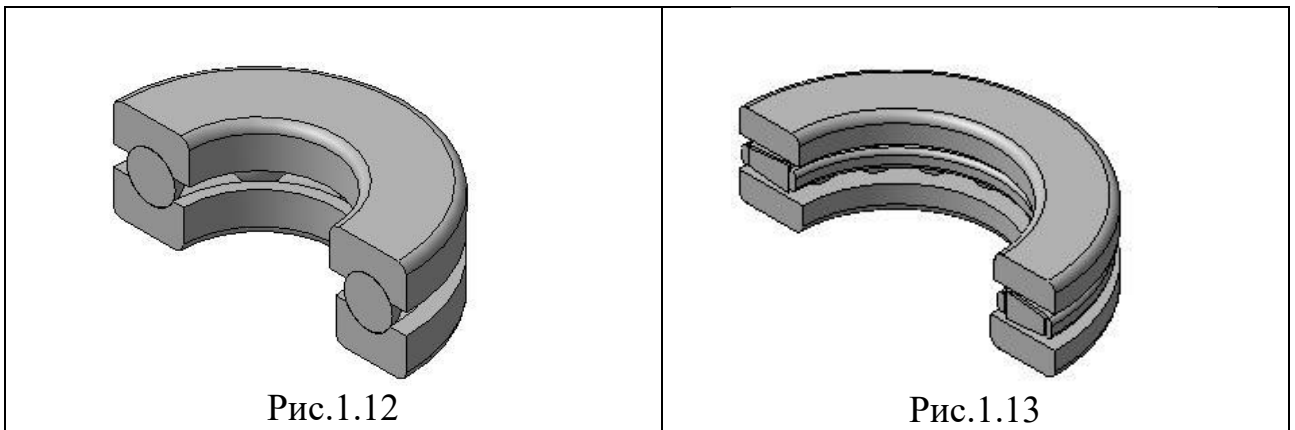


Рис.1.12

Рис.1.13

Пятая и шестая цифры справа указывают конструктивные особенности подшипника, такие как угол - контакта тел качения с обоймой, наличие встроенных уплотнений, стопорные канавки на наружном кольце и т.п.

Цифры 6, 5, 4,5; 4,3 и 2, стоящие через тире перед условным обозначением подшипника, обозначают его класс точности. Нормальный класс точности обозначается цифрой 0, которая не указывается. Если нет особых обоснований следует применять нулевой класс точности, как самый дешевый.

Буквенные обозначения могут стоять перед и после цифрового обозначения. Они характеризуют материал сепаратора, материалы деталей подшипников, специальные требования по шуму и т.п.

Подшипниковые кольца и тела качения изготавливают из высококачественных сталей марок **ШХ15, ШХ15СГ**, а также специальных сталей марок **9Х18Ш, ЭН347Ш, Н36ХТЮ**. Для уменьшения трения и износа качения и поверхность беговой дорожки колец должны обладать большой твердостью (**HRC 61-65**).

Грузоподъемность роликоподшипников при тех же габаритных размерах значительно выше, чем шарикоподшипников, однако потери на трение в роликоподшипниках больше, чем в шариковых: значение коэффициента трения для шарикоподшипников  $f=0,001-0,004$ , для роликоподшипников  $f=0,0025-0,01$ .

Роликоподшипники более чувствительны к перекосу валов. Подшипники с витыми роликами хорошо противостоят ударным радиальным нагрузкам и менее чувствительны к перекосам, чем подшипники с длинными цилиндрическими роликами. Игольчатые подшипники предназначены для восприятия больших радиальных нагрузок в опорах, размеры которых ограничены по диаметру. Тела качения игольчатых подшипников представляют собой длинные ролики диаметром не свыше 5 мм и длиной от 4 до 12 диаметров. В подшипниках они укладываются без сепараторов, почти вплотную друг к другу. Могут работать как при малых, так и при больших оборотах.

**Радиальные подшипники** качения предназначены для восприятия главным образом радиальных нагрузок. **Однорядные радиальные шарикоподшипники** кроме радиальной нагрузки могут воспринимать осевую нагрузку в пределах до 35 % от недоиспользованной радиальной. Допускаемый угол перекоса  $8' \dots 10'$ . Являются наиболее массовыми, наиболее быстроходными, наиболее массовыми.

**Радиальные роликовые** (с короткими цилиндрическими роликами) **подшипники**: дорожке шариковых, уступают им по скорости, но выше по нагрузочной способности. Осевую нагрузку – не воспринимают, требуют повышенной точности посадочных мест:  $2' \dots 3'$ ;

**Радиальные шариковые сферические двухрядные**: уступают шариковым радиальным ПК по быстроходности, хуже воспринимают осевую нагрузку (один ряд тел качения – нагружается, другой – разгружается; обладают наибольшим допускаемым углом перекоса:  $2^0 \dots 3^0$ ;

**Радиальные роликовые сферические:** обладают большей нагрузочной способностью; меньшей предельной частотой вращения  $n_{\max}$ , и углом перекоса  $2^0 \dots 3^0$ ;

**Роликовые игольчатые ПК:** обладают наибольшей нагрузочной способностью (по радиальной нагрузке), осевую силу – не воспринимают; из-за отсутствия сепаратора имеют повышенные потери на трения; предъявляют высокие требования к точности посадочных мест и практически не допускают перекосов; малые диаметральные габариты (+); для уменьшения габаритов иногда используются без колец;

**Радиальные роликовые с витыми роликами:** полые ролики в виде навитой ленты; обладают низкой нагрузочной способностью и повышенными упругими свойствами, что способствует улучшению динамических свойств системы; менее чувствительны к загрязнению (+); обладают ограниченной частотой вращения и сложностью изготовления. В настоящее время имеют ограниченное применение.

**Радиально - упорные шариковые и роликовые подшипники** предназначены для восприятия одновременно действующих радиальных и осевых нагрузок одного направления. Эти подшипники могут воспринимать кроме того только осевые нагрузки.

**Радиально - упорные шариковые ПК** сложны в изготовлении, дороги, уступают по быстроходности шариковым радиальным ПК; сепараторы изготавливаются из латуни или текстолита.

**Роликовые конические ПК** обладают высокой нагрузочной способностью; съемное наружное кольцо (для удобства монтажа и регулировки зазоров); быстроходность – меньше, чем у шариковых; и углом перекоса  $2' \dots 3'$ ;

**Упорные шариковые и роликовые подшипники** служат для восприятия только осевой нагрузки: однорядные - одностороннего действия, двухрядные - двухстороннего действия. Упорные шариковые подшипники при больших частотах вращения работают неудовлетворительно вследствие неблагоприятного влияния центробежных сил, действующих на тела качения. Они весьма чувствительны к несоосности и относительному перекосу осей вращающегося и неподвижного колец.

Основными причинами потери работоспособности подшипников качения являются:

- 1) Усталостное выкрашивание тел качения и беговых дорожек колец;
- 2) Абразивный износ вследствие плохой защиты подшипника от попадания пыли и грязи;
- 3) Пластические деформации на дорожках качения из-за ударных нагрузок;
- 4) Разрушение сепараторов от действия центробежных сил инерции и истирания;
- 5) Раскалывание колец и тел качения из-за перекосов при монтаже или при больших динамических нагрузках.

В связи с тем, что перечисленные факторы не поддаются точному учету, расчет подшипников качения производится на долговечность по динамической (при  $n > 10$  об/мин) и статической нагрузке (при  $n \leq 1$  об/мин).

Динамическая грузоподъемность подшипников устанавливается из условия контактной выносливости таким образом, чтобы 90% испытуемых подшипников выдержали при этой нагрузке не менее миллиона оборотов. Критерием для выбора подшипника служит неравенство:

$$C_{тр} \leq C,$$

где  $C_{тр}$  - требуемая величина динамической грузоподъемности подшипника;

$C$  - табличное значение динамической грузоподъемности.

Требуемая величина динамической грузоподъемности подшипника определяется по одной из формул:

$$C_{тр} = P(L)^{1/p}; \text{ или } C_{тр} = P(60nL_h/10^6)^{1/p}, \text{ где}$$

$P$  – эквивалентная динамическая нагрузка подшипника;

$L$  – долговечность подшипника в миллионах оборотов;

$L_h$  – долговечность подшипника в часах;

$p$  – коэффициент, зависящий от формы кривой контактной усталости;

для шарикоподшипников  $p=3$ ;  
 для роликоподшипников  $p=10/3$ ;  
 $n$  – частота вращения кольца вала.

При постоянной частоте вращения между  $L$  и  $L_h$  существует простая зависимость:

$$L=(C/P)^p; \text{ или } L_h=10^6/60n*(C/P)^p=10^6 L/60n;$$

$$L=60n/10^6*L_h \text{ или } L_h=10^6/60n*(C/P)^p.$$

Эквивалентная динамическая нагрузка  $P$  для радиальных и радиально-упорных подшипников (кроме роликовых радиальных) определяется по формуле:

$$P=(x*V*F_r+y*F_a)*K_b*K_t,$$

где  $F_r, F_a$  – радиальная и осевая нагрузка на подшипнике;

$x, y$  – коэффициенты радиальной и осевой нагрузок;

$V$  – кинематический коэффициент (коэффициент вращения) (Если вращается внутреннее кольцо  $V=1,0$ , если вращается наружное кольцо,  $V=1,2$ );

[По новому ГОСТ, в соответствии с ISO, коэффициент вращения принимается равным  $V=1,0$  для всех случаев]

$K_b$  – коэффициент безопасности (динамичности);

$K_t$  – температурный коэффициент.

Значение коэффициента безопасности  $K_b$  выбирается по таблице в зависимости от характера нагрузки на подшипник. Для зубчатых передач 7<sup>ой</sup> и 8<sup>ой</sup> степеней точности для всех редукторов:  $K_b=1,3-1,5$ .

Температурный коэффициент выбирается в зависимости от рабочей температуры подшипника:

$t, ^\circ\text{C}$	100	125	150	175	200	250
$K_t$	1.0	1.05	1.10	1.15	1.25	1.4

Значения коэффициентов  $x$  и  $y$  уопределяются в зависимости от отношения осевой нагрузки  $F_a$  к статической грузоподъемности подшипника  $C_0$  с учетом угла контакта  $\alpha^0$  параметра  $e$ , который берется из таблицы, либо определяется по графику  $e=f(R/C_0)$  при углах контакта от  $12^0$  до  $18^0$ , где  $C_0$  – статическая грузоподъемность, статическая радиальная нагрузка, от действия которой возникает общая остаточная деформация тел качения и колец, не превышающая  $0,0001$  диаметр тела качения.  $C_0$  выбирается по таблицам для каждого типа размера подшипника.

При отношении  $F_a/VF_r < e$  для радиальных и радиально-упорных подшипников  $x=1$ , а  $y$  выбирается в зависимости от  $e$ .

При  $F_a/VF_r > e$ , величина  $x$  зависит от угла контакта  $\alpha$ , а  $y$  от  $F_a/C_0$

### Ход работы.

1. Осмотреть изучаемые подшипники. По конструктивным признакам определить тип подшипника, направление воспринимаемой нагрузки.
2. Сделать эскизы (или фотографии, с последующим включением в отчет) изучаемых подшипников, с расшифровкой их обозначения.
3. Провести измерение основных габаритов подшипника. Значения занести в таблицу.
4. По маркировке на кольце подшипника, с использованием справочников, установить тип подшипника, уточнить размеры, определить статические и динамические грузоподъемности.
6. Оформить отчет.

Сводная таблица изучаемых подшипников качения

Таблица 1.2

№	Маркировка	d	D	B	C	T	$\alpha$	Серия ПК, вид воспринимаемой нагрузки	С	С <sub>0</sub>	Конструкт. особенности
		мм									
1	50407										
2	209										
3	7000108										
4	36211										
5	46108										
6	7208										
7	1208										
8	2306										
9	32311										
10	8207										
11	8114										

### Контрольные вопросы к защите работы

1. Из каких деталей состоят подшипники качения?
2. Для чего предназначен сепаратор?
3. Из каких материалов изготавливают тела качения, кольца и сепараторы подшипников качения?
4. В чем заключаются преимущества и недостатки подшипников качения?
5. По каким признакам классифицируют подшипники качения?
6. Для чего изготавливают подшипники различных серий?
7. Чем отличаются подшипники различных классов точности?
8. Дайте сравнительную характеристику радиальных роликовых и шариковых подшипников.
9. Особенности конструкции игольчатых подшипников.
10. В каких случаях следует применять сферические подшипники?
11. Дайте сравнительную характеристику радиально-упорных шариковых и роликовых подшипников.
12. Каковы особенности конструкции и применения упорных шариковых и роликовых подшипников?
13. Что и как можно узнать из условного обозначения подшипника?
14. Какова роль смазки в подшипниках качения? Какие смазки применяют в подшипниках качения и какие из них наиболее эффективны?
15. Как определить тип подшипника качения по его маркировке?
16. Как определить серию диаметров подшипника качения по его маркировке?
17. Каковы отличительные признаки серий подшипников качения по ширине и как их маркируют?
18. Как определить внутренний диаметр подшипника качения по его маркировке?
19. Что характеризуют буквы, расположенные справа от основной маркировки подшипника качения?
20. Где располагают признаки конструктивных особенностей подшипника

качения в его маркировке?

### **Тема 3.2**

**Общие сведения о передачах.**

#### **Практическое занятие № 15**

**Тема.** *Выполнение расчета параметров ременной передачи. (2 часа)*

**Цель работы:** Научиться производить расчет параметров ременной передачи.

#### **Порядок выполнения работы:**

- 1 Определить частоту вращения меньшего шкива.
- 2 Выбрать сечение ремня (номограмма).
- 3 Вычислить вращающий момент, диаметр меньшего шкива, большего шкива.
- 4 Определить передаточное отношение межосевое расстояние, длину ремня.
- 5 Оформить практическую работу.

# 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ

Для сравнимости результатов при анализе решений расчеты различных типов ременных передач произведены для одних и тех же исходных данных:

- 1) номинальная мощность привода винтового конвейера  $P_{\text{ном}} = 2,9$  кВт;
- 2) частота вращения ведущего шкива (вала двигателя)  $n_1 = 950$  мин<sup>-1</sup>;
- 3) передаточное число  $i = 1,6$ ;
- 4) ограничения:

а) по условиям компоновки: номинальное межцентровое расстояние  $a_{\text{ном}} = 500 \pm 60$  мм; угол наклона передачи  $\psi = 25^\circ$ ; высота редуктора  $H = 450$  мм;

б) по режиму работы: значительные колебания нагрузки, кратковременная пусковая перегрузка до 200% от номинальной; работа двухсменная.

## *Общие параметры при расчетах*

1) Общая расчетная схема для всех типов передач приведена на рис.1.1.

2) Согласно  $P'_{\text{дв}} = P_{\text{ном}}$ , где  $P'_{\text{дв}}$  – потребная мощность двигателя – и  $n_1 = 950$  мин<sup>-1</sup> принят электродвигатель АИР 112МА6У3 ( $P_{\text{дв}} = 3$  кВт), у которого габарит  $d_{30} = 246$  мм (рис.1.1).

Диаметры шкивов по условиям компоновки должны быть:

$$d_1 \leq d_{30}, \quad d_2 \leq H \quad (1.1)$$

3) По табл. П8 режим работы – тяжелый, коэффициент динамичности нагрузки и режима работы  $C_p = 1,3$ .

4) Номинальный вращающий момент  $T_{1\text{ном}} = 9550 \cdot 2,9 / 950 = 29,2$  Н·м.

Расчетная передаваемая мощность  $P = P_{\text{ном}} C_p = 2,9 \cdot 1,3 = 3,77$  кВт. (1.2)

Расчетный передаваемый момент  $T_1 = 9550 \cdot 3,77 / 950 = 37,9$  Н·м. (1.3)

## 2. РАСЧЕТ ПЛОСКОРЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ

2.1. *Последовательность и результаты расчета* передач с синтетическим и прорезиненным кордшнуровым ремнями оформлены в виде табл.2.1.

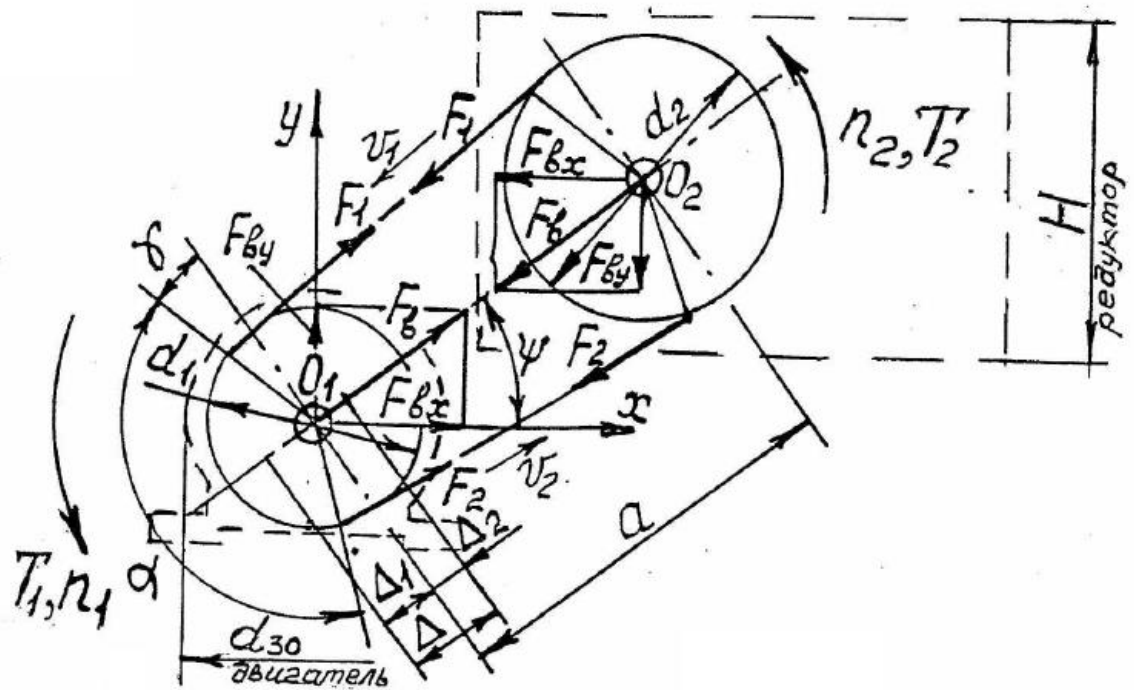


Рис.1.1. Расчетная схема ременной передачи

## 2.2. Анализ результатов расчета по табл.2.1:

1) Для передачи мощности  $P = 3,77$  кВт при  $n_1 = 950$  мин<sup>-1</sup> плоские прорезиненные ремни не годятся, так как требуется  $b' = 156...71,8$  мм при  $d_1 = 140...200$  мм, а изготавливают ремни только до  $b_{\max} = 60$  мм (табл.П2). Если принять  $b = 60$  мм, то для передачи наименьшей величины  $F_t = 379$  Н (п.12 табл.2.1) потребуется  $[p] \approx [p_0] \approx 379 / 60 = 6,3$  Н/мм. Это может быть выполнено (табл.2 части I) при  $d_1 = 224$  и  $250 (\approx d_{30})$  мм,  $\sigma_0 = 2$  МПа и  $[p_0] = 6,5$  Н/мм. Пересчет на данные размеры  $d_1$  приведен в табл.2.1, начиная с п.18.

2) При использовании синтетического ремня толщиной 1,0 мм вариант с  $d_1 = 100$  мм неудовлетворителен, так как расчетная ширина  $b' = 90,1$  мм должна быть округлена до ближайшей большей  $b = 100$  мм (табл.П1), но тогда длина  $L_p = 1400$  мм не удовлетворяет  $L_{p \min} = 1500$  мм при  $b = 100$  мм.

3) Сравнивая результаты при  $b = 60$  мм (для вариантов  $d_1 = 160$  и  $224$  мм), видим, что в передаче с прорезиненным ремнем габариты по диаметрам и частота пробега ремня увеличились в 1,4 раза

Таблица 2.1 – Формуляр расчета плоскоремennых передач

Параметры		Результаты расчета для ремней						Примечание
Наименование	источник	синтетического			прорезиненного			
1. Толщина ремня $\delta$ , мм	табл.П1, П2	1,0			2,8			
2. Диаметр шкива $d_1$ , мм	формула (2) *	174...206						
3. Отношение $d_1 / \delta$	стр. 8 (ч.1) **	174...206 > 100			62...74 > 50			
4. Диаметр $d_1$ , мм	ГОСТ 17383 - 73	100	160	180	140	180	200	Принято $d_1 < d_{30}$
5. Диаметр $d_2$ , мм	(3)	158	253	285	222	285	316	$\xi = 0,01$
$d_2$ , мм	ГОСТ 17383 - 73	160	250	280	224	280	315	$d_2 < H$
6. Фактическое $i$	(4)	1,62	1,58	1,57	1,62	1,57	1,59	
7. Скорость ремня $v$ , м / с	$\pi d_1 n_1 / 60000$	4,97	7,96	8,95	6,96	8,95	9,95	< [ 35 ]
8. Угол обхвата $\alpha$ , град	(7)	173,16	169,74	168,6	170,42	168,6	166,9	> [ 150° ]
9. Расчетная длина ремня $L_p$ , мм	(10)	1410	1648	1728	1575	1728	1816	$a' = 500$
$L_p$ , мм	стандарт	1400	1600	1800	1600	1800	1800	R20
10. Частота пробегов $\mu$ , с <sup>-1</sup>	(49)	3,6	5	5	4,4	5	5,5	< [ 15 ]
11. Межцентровое расстояние $a_{ном}$ , мм	(14)	495	476	536	512	536	492	[ 440 ÷ 560 ]
12. Передаваемая окружная сила $F_t$ , Н	(17)	759	474	421	542	421	379	
13. Предварительное напряжение $\sigma_0$ , МПа	табл.2 (ч.1)	7,5	7,5	7,5	2	2	2	
14. Допускаемая удельная окружная сила $[p_0]$ , Н / мм	табл.2 (ч.1)	8,5	8,5	8,5	3,5	4,5	5,5	
15. Коэффициенты: $C_0$	стр.11 (ч.1)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	$\psi = 25^0$
$C_a$	(19)	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	
$C_v$	(20)	1,01	1,0	1,0	1,02	1,01	1,0	

Окончание табл. 2.1

Параметры		Результаты расчета для ремня						Примечание
наименование	источник	синтетического			прорезиненного			
16. Допускаемая сила $[p]$ в условиях эксплуатации, Н / мм	(18)	8,42	8,25	8,25	3,47	4,41	5,28	
17. Расчетная ширина ремня $b'$ , мм	(21)	90,1	57,5	51	156	95,5	71,8	
округление $b$ , мм	Табл.П1, П2	-	60	60	-	-	-	
18. Пересчет передачи с прорезиненным ремнем на $d_1 = 224$ и 250 мм								
				$d_1$ , мм		224	250	
				$d_2$ , мм		355	400	< $H = 450$
				$i$		1,6	1,62	
				$v$ , м / с		11,14	12,44	< [ 25 м / с ]
				$\alpha$ , град		165,07	162,9	> [ 150° ]
				$L_p$ , мм		1918	2032	$a' = 500$
				$L_p$ , мм		2000	2000	
				$\mu$ , с <sup>-1</sup>		5,57	6,2	< [ 15 с <sup>-1</sup> ]
				$a_{ном}$ , мм		541	484	[ 440 ÷ 560 ]
				$F_t$ , Н		338	303	
				$C_a$		0,96	0,95	
				$C_v$		0,99	0,98	
				$[p]$ , Н / мм		6,18	6,05	
				$b'$ , мм		54,7	50,08	
				$b$ , мм		60	50	

Примечание.

- 1) \* - здесь и далее в таблицах слово « формула » опущено.
- 2) \*\* - ч.1 означает : Часть I. Ременные передачи. Методика расчета.

4) Если в техническом задании на проект вид ремня задан, то следует, исходя из результатов расчета, отдать предпочтение вариантам:

а) синтетический ремень;  $d_1 = 160$  мм;  $d_2 = 250$  мм;  $\mu = 5$  с<sup>-1</sup>;  $b = 60$  мм;  $L_p = 1600$  мм;

б) прорезиненный кордшнуровой ремень  $d_1 = 224$  мм;  $d_2 = 355$  мм;  $\mu = 5,57$  с<sup>-1</sup>;  $b = 60$  мм;  $L_p = 2000$  мм.

5) Если вид плоского ремня не задан, то преимущество имеет синтетический ремень по п.4а.

### Тема 3.3

#### Соединение деталей и механизмов.

#### Практическое занятие № 16

**Тема.** Решение задач по расчету винта на износостойкость, проверка винта на прочность и устойчивость. (2 часа)

#### *Расчёт элементов винта и гайки на прочность*

#### Задача

Винт в передаче винт – гайка испытывает напряжения сжатия или растяжения и кручения. Для оценки величины этих напряжений следует определить величину эквивалентного напряжения и сравнить ее с допускаемым напряжением растяжения:

*Контрольные вопросы для защиты расчетно-графической работы «Расчет конструкции с передачей винт-гайка»*

1. В каких узлах и механизмах применяется передача «винт-гайка»?
2. Какие возможны варианты конструкторского оформления передачи «винт-гайка»?
3. Какие требования предъявляются к материалам для изготовления рабочей пары передачи «винт-гайка»? Назовите марки материалов винтов и гаек.
4. Назовите основные критерии работоспособности передачи «винт-гайка»?
5. Как выбирается основной геометрический параметр — диаметр винта в передаче «винт-гайка»?
6. Как устанавливаются размеры гайки в передаче «винт-гайка»?
7. В чем заключается явление самоторможения в резьбе передачи «винт-гайка»? Каково условие его удовлетворения?
8. Как определяется КПД передачи «винт-гайка»?
9. Каковы причины низкого КПД передачи «винт-гайка»? Какие существуют способы его повышения?
10. Как оценить устойчивость винта в передаче «винт-гайка»?
11. Как проверить резьбу винта и гайки на прочность в передаче «винт-гайка»?
12. Как определить размеры рукоятки или ключа для вращения винта в передаче «винт-гайка»?
13. Какими преимуществами и недостатками в сравнении с другими видами передач обладает передача «винт-гайка»?

#### **Критерии оценки практических работ:**

Текущий контроль представляет собой регулярно осуществляемую проверку усвоения учебного материала. Данная оценка позволяет на основе постоянного и непрерывного наблюдения за качеством усвоения студентом учебного и практического материала, систематически выявлять и оценивать его знания.

Практические занятия, как правило, должны проводиться в активном и интерактивном режиме. Оценка знаний, умений и навыков осуществляется на всех

практических занятиях в соответствии с целями и задачами занятия. Контроль может проводиться в начале, в ходе отработки основной части и в заключительной части занятия.

Текущий контроль знаний, умений и навыков осуществляется преподавателем по пятибалльной шкале с выставлением оценки в журнале учета занятий.

По результатам выполнения практической работы **«отлично»** выставляется, если работа выполнена правильно и в полном объеме, студент активно работает в течение всего практического занятия, дает полные ответы на вопросы преподавателя в соответствии с планом практического занятия и показывает при этом глубокое владение соответствующей литературой по рассматриваемым вопросам, способен выразить собственное отношение к данной проблеме, проявляет умение самостоятельно и аргументировано излагать материал, анализировать факты, делать самостоятельные обобщения и выводы.

По результатам выполнения практической работы **«хорошо»** выставляется, если работа выполнена правильно и в полном объеме, студент активно работает в течение практического занятия, дает практически полные ответы на вопросы преподавателя, изложение материала логическое, обоснованное фактами, освещение вопросов завершено выводами, студент обнаружил умение анализировать факты, а также выполнять учебные задания. Но в ответах допущены неточности, некоторые незначительные ошибки, имеются погрешности оформления работы.

По результатам выполнения практической работы **«удовлетворительно»** выставляется в том случае, когда работа выполнена с незначительными неточностями, практически в полном объеме, студент в целом овладел содержанием вопросов по данной теме, обнаруживает знание лекционного материала и учебной литературы, пытается анализировать факты, делать выводы и решать задачи. При этом на занятии ведет себя пассивно, отвечает только по вызову преподавателя, дает неполные ответы на вопросы, допускает ошибки при освещении теоретического материала.

По результатам выполнения практической работы **«неудовлетворительно»** выставляется в случае, когда студент обнаружил несостоятельность осветить вопрос, либо вопрос раскрыт неправильно, бессистемно, с грубыми ошибками, при этом отсутствуют понимание основной сути вопроса, выводы, обобщения.

### **Список информационных источников:**

#### **Основные печатные издания**

1. Гребенкин, В. З. Техническая механика : учебник и практикум для среднего профессионального образования / В. З. Гребенкин, Р. П. Заднепровский, В. А. Летягин ; под редакцией В. З. Гребенкина, Р. П. Заднепровского. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 390 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-10337-3. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/475629>
2. Журавлев, Е. А. Техническая механика: теоретическая механика : учебное пособие для среднего профессионального образования / Е. А. Журавлев. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 140 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-10338-0. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/475625>
3. Зиомковский, В. М. Техническая механика : учебное пособие для среднего профессионального образования / В. М. Зиомковский, И. В. Троицкий ; под научной редакцией В. И. Вешкурцева. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 288 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-10334-2. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/475631>

4. Королев, П. В. Техническая механика : учебное пособие для СПО / П. В. Королев. — Саратов : Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 111 с. — ISBN 978-5-4488-0672-8, 978-5-4497-0264-7. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/88496>
5. Калентьев, В. А. Техническая механика : учебное пособие для СПО / В. А. Калентьев. — Саратов : Профобразование, 2020. — 110 с. — ISBN 978-5-4488-0904-0. — 228 Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/98670>
6. Максимов, А. Б. Механика. Решение задач статики и кинематики : учебное пособие для СПО / А. Б. Максимов. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 208 с. — ISBN 978-5-8114-6767-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152478> (дата обращения: 13.05.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Техническая механика : учебник / Г.Г. Сафонова, Т.Ю. Артюховская, Д.А. Ермаков. - Москва : ИНФРА-М, 2022. — 320 с. — (Среднее профессиональное образование).
8. Техническая механика : учебное пособие / В.Э. Завистовский. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 376 с. — (Среднее профессиональное образование).
9. Техническая механика. Сборник тестовых заданий : учебное пособие / В.П. Олофинская. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Форум, 2019. - 136 с. — (Профессиональное образование).
10. Техническая механика : учебник / Л. Н. Гудимова, Ю. А. Елифанцев, Э. Я. Живаго, А. В. Макаров. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 324 с. — ISBN 978-5-8114-4498-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/148215> (дата обращения: 13.05.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
11. Техническая механика : учебник для среднего профессионального образования / В. В. Джамай, Е. А. Самойлов, А. И. Станкевич, Т. Ю. Чуркина. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 360 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-14636-3. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/478096>

#### **Основные электронные издания**

1. Гребенкин, В. З. Техническая механика : учебник и практикум для среднего профессионального образования / В. З. Гребенкин, Р. П. Заднепровский, В. А. Летягин ; под редакцией В. З. Гребенкина, Р. П. Заднепровского. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 390 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-10337-3
2. Журавлев, Е. А. Техническая механика: теоретическая механика : учебное пособие для среднего профессионального образования / Е. А. Журавлев. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 140 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-10338-0.
3. Зиомковский, В. М. Техническая механика : учебное пособие для среднего профессионального образования / В. М. Зиомковский, И. В. Троицкий ; под научной редакцией В. И. Вешкурцева. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 288 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-10334-2.
4. Королев, П. В. Техническая механика : учебное пособие для СПО / П. В. Королев. — Саратов : Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 111 с. — ISBN 978-5-4488-0672-8, 978-5-4497-0264-7.

#### **Дополнительные источники**

1. Королев, П. В. Техническая механика : учебное пособие для СПО / П. В. Королев. — Саратов : Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 111 с. — ISBN 978-5-4488-0672-8, 978-5-4497-0264-7. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/88496>

2. Калентьев, В. А. Техническая механика : учебное пособие для СПО / В. А. Калентьев. — Саратов : Профобразование, 2020. — 110 с. — ISBN 978-5-4488-0904-0. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROОбразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/98670>
3. Максимов, А. Б. Механика. Решение задач статики и кинематики : учебное пособие для СПО / А. Б. Максимов. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 208 с. — ISBN 978-5-8114-6767-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152478> (дата обращения: 13.05.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Техническая механика : учебник / Г.Г. Сафонова, Т.Ю. Артюховская, Д.А. Ермаков. - Москва : ИНФРА-М, 2022. — 320 с. — (Среднее профессиональное образование).
5. Техническая механика : учебное пособие / В.Э. Завистовский. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 376 с. — (Среднее профессиональное образование).
6. Техническая механика. Сборник тестовых заданий : учебное пособие / В.П. Олофинская. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Форум, 2019. - 136 с. — (Профессиональное образование).
7. Техническая механика : учебник / Л. Н. Гудимова, Ю. А. Епифанцев, Э. Я. Живаго, А. В. Макаров. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 324 с. — ISBN 978-5-8114-4498-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/148215> (дата обращения: 13.05.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
8. Техническая механика : учебник для среднего профессионального образования / В. В. Джамай, Е. А. Самойлов, А. И. Станкевич, Т. Ю. Чуркина. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 360 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-14636-3. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/478096>