

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ  
«ЧЕРЕМХОВСКИЙ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ  
ИМ. М.И. ЩАДОВА»**

**РАССМОТРЕНА**

Рассмотрено на  
заседании ЦК  
«Горных дисциплин»  
Протокол № 9  
«31» мая 2022 г.  
Председатель: Жук Н.А.

**ОДОБРЕНА**

Методическим советом  
колледжа  
Протокол № 5  
от 15 июня 2022 года  
Председатель МС: Т.В. Власова

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

для выполнения

практических работ студентов

по учебной дисциплине

**ОП.05 ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

программы подготовки специалистов среднего звена

**21.02.18 Обогащение полезных ископаемых**

Разработал преподаватель:  
Пилипченко Н. А.

2022г.

## СОДЕРЖАНИЕ

	<b>СТР.</b>
1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА	3
2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ	7
3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ	9
4. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ	56
5. ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ И ДОПОЛНЕНИЙ, ВНЕСЕННЫХ В МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	57

## 1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические указания по выполнению практических работ по учебной дисциплине **Техническая механика** предназначены для студентов специальности 21.02.18 Обогащение полезных ископаемых, разработаны на основе Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 21.02.18 Обогащение полезных ископаемых.

Методические указания являются частью учебно-методического комплекса по дисциплине **Техническая механика** и содержат задания, указания по выполнению практических графических работ.

Перед выполнением практической работы каждый студент обязан показать свою готовность к выполнению работы: выполнить тестовое задание, упражнение, ответить на вопросы. По окончании работы студент выполняет и оформляет практическую работу в соответствии с требованиями и защищает свою работу.

### **БАЗОВАЯ ЧАСТЬ**

В результате освоения дисциплины студент должен **уметь**:

- определять напряжения в конструкционных элементах;
- определять передаточное отношение;
- проводить расчет и проектировать детали и сборочные единицы общего назначения;
- проводить сборочно-разборочные работы в соответствии с характером соединений деталей и сборочных единиц;
- производить расчеты на сжатие, срез и смятие;
- производить расчеты элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость;
- собирать конструкции из деталей по чертежам и схемам;
- читать кинематические схемы;

В результате освоения учебной дисциплины студент должен **знать**:

- 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;

- кинематику механизмов, соединение деталей машин, механические передачи, виды и устройство передач;
- методику расчета конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при -- различных видах деформации;
- методику расчета на сжатие, срез и смятие;
- назначение и классификацию подшипников;
- характер соединения основных сборочных единиц и деталей;
- основные типы смазочных устройств;
- типы, назначение, устройство редукторов;
- трение, его виды, роль трения в технике;
- устройство и назначение инструментов и контрольно-измерительных приборов, используемых при техническом обслуживании и ремонте оборудования;

### **ВАРИАТИВНАЯ ЧАСТЬ**

В результате освоения учебной дисциплины студент должен **уметь:**

- выбирать детали и узлы на основе анализа их свойств для конкретного применения;
- оформлять технологическую и конструкторскую документацию в соответствии с действующей нормативно-технической документацией;

В результате освоения учебной дисциплины студент должен **знать:**

- основные понятия и аксиомы теоретической механики, законы равновесия и перемещения тел;
- методики выполнения основных расчетов по теоретической механике, сопротивлению материалов и деталям машин;
- основы проектирования деталей и сборочных единиц;
- основы конструирования.

Цель практических работ – обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний; формирование умений применять полученные знания на практике, развитие общих компетенций, включающих аналитическую, проектировочную, конструктивную деятельность, формирование профессиональных компетенций, направленных на выработку

таких профессионально значимых качеств, как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Методические рекомендации содержат такие разделы, как:

1. Теоретическая механика
2. Сопротивление материалов
3. Детали машин

При проведении практических работ применяются следующие технологии и методы обучения:

ТЕХНОЛОГИИ	МЕТОДЫ
Обучение в сотрудничестве	Словесные
Проблемно-развивающее обучение	Наглядные
Развивающее обучение	Практические
Технология учебно-поисковой деятельности	

### **Требования к рабочему месту:**

Реализация учебной дисциплины осуществляется в учебном кабинете Технической механики

### **Оборудование кабинета:**

- рабочие места по количеству обучающихся;
- рабочее место преподавателя;
- комплект учебно-наглядных пособий по технической механике;
- объемные модели по статике сооружений, сопротивлению материалов и теоретической механике, деталям машин.
- образцы деталей

### техническими средствами обучения:

- компьютер;

Общие требования к выполнению и оформлению практических работ

Ход работы:

- изучить теоретический материал;
- выполнить задания;
- описать ход выполнения заданий;
- ответить на контрольные вопросы.

Выполнение практических занятий должно быть оформлено в тетради для практических работ, и включать в себя:

- номер и тему занятия;
- заполненные таблицы;
- схемы и структуры;
- необходимые выводы;
- краткие ответы на контрольные вопросы.

### **Критерии оценки:**

**Оценка «отлично»** ставится, если студент выполнил работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий; в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; правильно выполняет анализ ошибок.

**Оценка «хорошо»** ставится, если студент выполнил требования к оценке "5", но допущены 2-3 недочета.

**Оценка «удовлетворительно»** ставится, если студент выполнил работу не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы; в ходе проведения работы были допущены ошибки.

**Оценка «неудовлетворительно»** ставится, если студент выполнил работу не полностью или объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов;

## 2. Оценивание защиты контрольных вопросов.

**Оценка «отлично»** ставится в том случае, если студент

- правильно понимает сущность вопроса, дает точное определение и истолкование основных понятий;
- строит ответ по собственному плану, сопровождает ответ новыми примерами, умеет применить знания в новой ситуации;
- может установить связь между изучаемым и ранее изученным материалом из курса «Техническая механика», а также с материалом, усвоенным при изучении других дисциплин.

**Оценка «хорошо»** ставится, если

- ответ студента удовлетворяет основным требованиям к ответу на оценку 5, но дан без использования собственного плана, новых примеров, без применения знаний в новой ситуации, без использования связей с ранее изученным материалом и материалом, усвоенным при изучении других дисциплин;
- студент допустил одну ошибку или не более двух недочетов и может их исправить самостоятельно или с небольшой помощью преподавателя.

**Оценка «удовлетворительно»** ставится, если студент

- правильно понимает сущность вопроса, но в ответе имеются отдельные пробелы в усвоении вопросов курса «Техническая механика», не препятствующие дальнейшему усвоению программного материала;
- допустил не более одной грубой ошибки и двух недочетов.

**Оценка «неудовлетворительно»** ставится, если студент

- не овладел основными знаниями и умениями в соответствии с требованиями программы и допустил больше ошибок и недочетов, чем необходимо для оценки 3.
- не может ответить ни на один из поставленных вопросов.

В соответствии с учебным планом программы подготовки специалистов среднего звена по специальности по специальности 21.02.18 Обогащение полезных ископаемых и рабочей программой на практические работы по дисциплине **Техническая механика** отводится 38 час.

## 2 ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

№ п/п	Название практической работы	Кол- во часов
1.	№ 1.Определение усилий и подбор элементов плоской системы сходящихся сил	2
2.	№ 2.Определение усилий и подбор элементов плоской системы параллельных сил	2
3.	№ 3.Определение усилий в элементах пространственной системы сил	2
4.	№ 4.Определение центра тяжести плоских фигур	2
5.	№ 5.Определение скоростей и ускорений для поступательного движения.	2
6.	№ 6.Определение линейных и угловых скоростей, ускорений для вращательного движения	2
7.	№7. Применение принципа Даламбера к решению задач на прямолинейное движение точки	2
8.	№ 8. Расчет прочности сжатых и растянутых элементов по предельному состоянию.	2
9.	№ 9.Построение эпюр продольных сил и напряжений	2
10.	№ 10.Расчет разъемных и не разъемных соединений на срез и смятие	2
11.	№ 11. Определение главных моментов составных конструкций.	2
12.	№ 12.Расчет валов и осей на кручение. Построение эпюр крутящих моментов	2
13.	№ 13. Построение эпюр продольных и нормальных напряжений при растяжении и сжатии.	2
14.	№ 14.Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов	2
15.	№ 15-16. Расчет и подбор сечения балки на поперечный изгиб	4
16.	№ 17.Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов	2
17.	№ 18. Расчет на устойчивость сжатых стержней.	2
18.	№ 19.Расчет на контактную усталость и усталость при изгибе зубьев зубчатых колес	2
19.	№ 20.Подбор элементов передач по видам	2

### 3 СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

#### Практическая работа № 1

Определение усилий и подбор элементов плоской системы сходящихся сил

**Цель:** уметь определять величины и направления действия уравновешивающих сил графическим и аналитическим способами.

**Задание:**

1. Повторить тему «Плоская система сходящихся сил».
2. Выпишите данные для вашего варианта (согласно нумерации в журнале).

№ варианта	$F_{l, n}$	№ варианта	$F_{l, n}$	№ варианта	$F_{l, n}$
1	22	11	32	21	27
2	23	12	33	22	28
3	24	13	34	23	29
4	25	14	35	24	30
5	26	15	36	25	31
6	27	16	22	26	32
7	28	17	23	27	33
8	29	18	24	28	34
9	30	19	25	29	35
10	31	20	26	30	36

3. Рассмотрите пример решения.

**Пример решения:** Найти величины и направления действия уравновешивающих сил  $F_2$  и  $F_3$  графическим и аналитическим способами, если заданы величина силы  $F_1 = 20$  кН и линии действия сил  $F_2$  и  $F_3$  (рис. а).

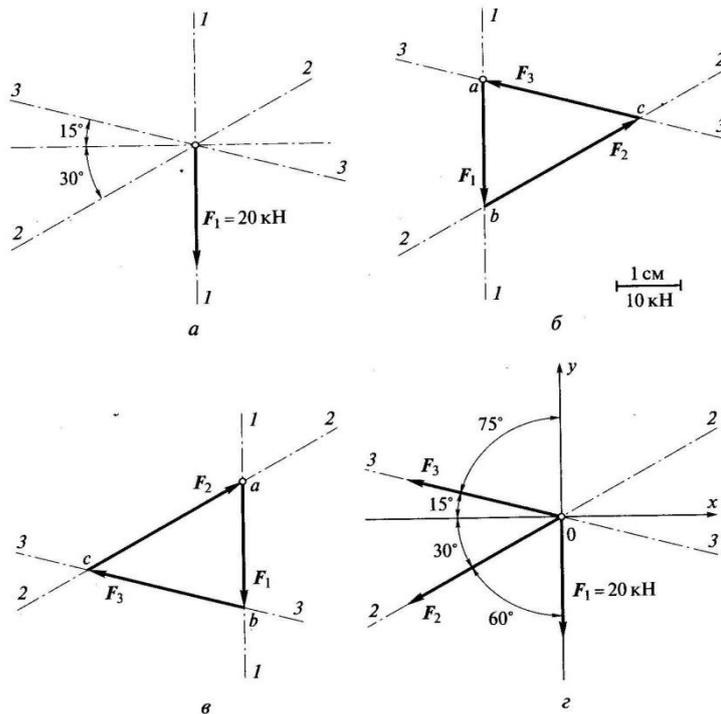
**Решение графическим способом.**

Принимаем масштаб сил: в 1 см – 10 кН.

Из произвольной точки а откладываем в масштабе известную силу  $F_1$ , длина вектора которой равна длине отрезка  $ab = 2$  см (рис. б).

Через начало и конец вектора силы  $F_1$ , т.е. через точки а и б, проводим линии, параллельные линиям действия сил  $F_2$  и  $F_3$ , так, чтобы они пересекались в одной точке с. При этом силы  $F_2$  и  $F_3$  могут оказаться как справа от силы  $F_1$  (см. рис. б), так и слева от нее (рис. в). Это не является ошибкой построения, поскольку оба полученных силовых треугольника являются двумя частями параллелограмма. Но, все же, правильнее, когда при обходе треугольника номера сил идут в нарастающем порядке, т.е. вариант  $F_1 F_2 F_3$  предпочтительнее, чем второй вариант. Силы  $F_2$  и  $F_3$  являются уравновешивающими силу  $F_1$ .

Измеряем отрезки  $bc$  и  $ca$ :  $bc = 2,8$  см,  $ca = 2,5$  см. Так как 1 см соответствует 10 кН, получаем  $F_2 = 28$  кН,  $F_3 = 25$  кН.



*a* – заданная схема действия сил; *б, в* – варианты построения силового треугольника; *г* – схема сил для аналитического решения

Расставляем стрелки на отрезках *bc* и *ca*. Из условия равновесия все стрелки должны быть направлены в одну сторону при обходе треугольника. Поскольку направление силы  $F_1$  задано (вниз), остальные силы должны быть направлены так, как показано на рис. *б, в*, при этом конец вектора силы  $F_3$  будет совпадать с началом вектора силы  $F_1$ .  
 Ответ:  $F_2 = 28$  кН,  $F_3 = 25$

кН; направления этих сил показаны на силовом треугольнике.

### Решение аналитическим способом.

Проводим оси координат  $Ox$  и  $Oy$ , традиционно направляя первую из них горизонтально, а вторую – вертикально. Силы направляем из начала координат по заданным линиям действия 3-3 и 2-2. Направление выбираем произвольно (допустим, влево – рис. *г*). Проставляем углы между направлениями всех сил и координатными осями.

Составляем уравнения:

$$-F_2 \cos 30^\circ - F_3 \cos 15^\circ = 0$$

$$-F_1 - F_2 \cos 60^\circ + F_3 \cos 75^\circ = 0$$

Из первого уравнения получаем выражение для  $F_2$ :

$$F_2 = -F_3 \cos 15^\circ / \cos 30^\circ$$

Подставляем выражение для  $F_2$  во второе уравнение:

$$-F_1 + F_3 \cos 15^\circ / \cos 30^\circ \times \cos 60^\circ + F_3 \cos 75^\circ = 0;$$

$$F_3 = F_1 / (\cos 15^\circ : \cos 30^\circ \times \cos 60^\circ + \cos 75^\circ) = 20 / (0,966 : 0,866 \times 0,5 + 0,259) = 24,48 \text{ кН}$$

Определив  $F_3$ , находим  $F_2$ :

$$F_2 = -F_3 \cos 15^\circ / \cos 30^\circ = 24,48 \times 0,966 : 0,866 = -27,31 \text{ кН}$$

Ответ:  $F_2 = 27, 31$  кН, эта сила направлена в сторону, противоположную показанной на рис, о чем говорит знак «минус» перед числовым значением;  $F_3 = 24,48$  кН, сила направлена так же, как показано на рис. г, поскольку числовое значение получилось со знаком «плюс», который опущен.

4. Перечертите рисунок с соблюдением масштаба.
5. Решите задачу
6. Сделайте вывод.

### Контрольные вопросы:

1. Как найти равнодействующую трех сил?
2. Что можно сказать о действии сил, когда их равнодействующая равна нулю?
3. Опишите общий порядок решения задач о равновесии трех сил графическим способом.
4. Каков общий порядок решения тех же задач аналитическим способом?
5. Какой из указанных способов более точен?
6. Приведите примеры частных случаев трех сил.

**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

## Практическая работа № 2

Определение усилий и подбор элементов плоской системы параллельных сил

**Цель:** знать определения момента пары сил и момента относительно точки, уметь определять знак момента.

### Задание:

1. Повторить тему «Момент силы относительно точки. Пара сил».
2. Выпишите данные для Вашего варианта (согласно нумерации в журнале).

№ варианта	$F_1$ кН	$F_2$ кН	$F_3$ кН	$F_4$ кН	$M$ кНм	$a_1$ м	$a_2$ м	$a_3$ м	$a_4$ м	$a_5$ м	$h_4$ м
1	20	10	30	40	15	1	2	3	4	5	0,5
2	15	20	10	30	40	5	1	2	3	4	0,8
3	40	15	20	10	30	4	5	1	2	3	0,7
4	30	40	15	20	10	3	4	5	1	2	0,6
5	20	30	40	15	20	2	3	4	5	1	0,3
6	10	20	30	40	15	1	2	3	4	5	0,4
7	50	10	20	30	40	5	1	2	3	4	0,5
8	40	50	10	20	30	4	5	1	2	3	0,6

9	30	40	50	10	20	3	4	5	1	2	0,3
10	25	30	40	50	10	2	3	4	5	1	0,4
11	10	25	30	40	50	1	2	3	4	5	0,5
12	20	10	25	30	40	2	1	2	3	4	0,6
13	35	20	10	25	30	3	2	1	2	3	0,7
14	40	35	20	10	25	4	3	2	1	2	0,8
15	30	40	35	20	10	5	4	3	2	1	0,3
16	50	30	40	35	20	1	5	4	3	2	0,4
17	15	50	30	40	35	2	1	5	4	3	0,5
18	20	15	50	30	40	3	2	1	5	4	0,6
19	30	20	15	50	30	4	3	2	1	5	0,7
20	40	30	20	15	50	5	4	3	2	1	0,8
21	45	40	30	20	15	1	5	4	3	2	0,3
22	50	45	40	30	20	2	1	5	4	3	0,4
23	10	50	45	40	30	3	2	1	5	4	0,5
24	20	10	50	45	40	4	3	2	1	5	0,6
25	30	20	10	50	45	5	4	3	2	1	0,7

1. Рассмотрите пример решения.

$$F_1 = 10 \text{ кН}$$

$$F_2 = 15 \text{ кН}$$

$$F_3 = 20 \text{ кН}$$

$$F_4 = 25 \text{ кН}$$

$$M = 15 \text{ кНм}$$

$$a_1 = 2 \text{ м}$$

$$a_2 = 3 \text{ м}$$

$$a_3 = 4 \text{ м}$$

$$a_4 = 5 \text{ м}$$

$$a_5 = 6 \text{ м}$$

$$h_4 = 0,2 \text{ м}$$

Находим плечи  $h_1$   $h_2$   $h_3$

$$h_1 = a_1 \sin 30^\circ = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ м}$$

$$h_2 = a_2 \sin 60^\circ = 3 \cdot 0,866 = 2,598 \text{ м}$$

$$h_3 = a_3 = 4 \text{ м}$$

Находим сумму моментов относительно точки O:

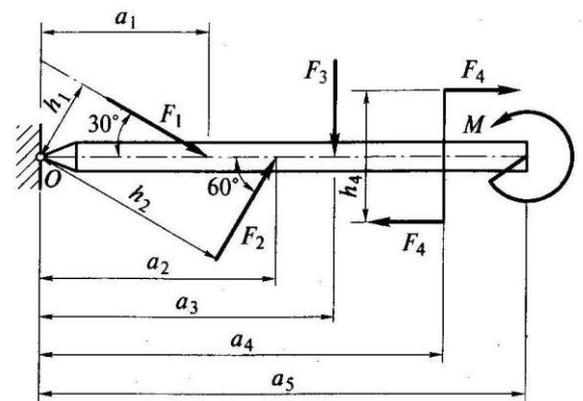
$$\sum M_o = -F_1 h_1 + F_2 h_2 - F_3 h_3 - F_4 h_4 + M = -10 \cdot 1 + 15 \cdot 2,598 - 20 \cdot 4 - 25 \cdot 0,2 + 15 = -41,03 \text{ кНм.}$$

4. Перечертите рисунок.

5. Определите сумму моментов всех сил относительно точки O.

6. Сделайте вывод.

**Контрольные вопросы:**



1. Напишите формулу для определения момента силы относительно какой-либо точки тела.
2. Как определяется знак момента силы относительно какой-либо точки?
3. В чем сходство и отличие вращательных воздействий, оказываемых на тело силой и парой сил?

**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

### Практическая работа № 3

Определение усилий в элементах пространственной системы сил

**Цель:** научиться определять усилия в стержнях, вызванных действием груза, составлять уравнения равновесия для пространственной системы сходящихся сил.

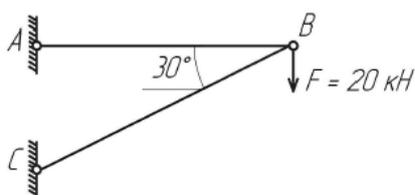
**Задание:**

**Указания к выполнению работы:**

1. Повторить по учебнику тему «Пространственная система сил».
2. Выпишите данные для вашего варианта (согласно нумерации в журнале).

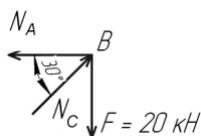
**Пример решения задачи:**

Определить усилия в стержнях.

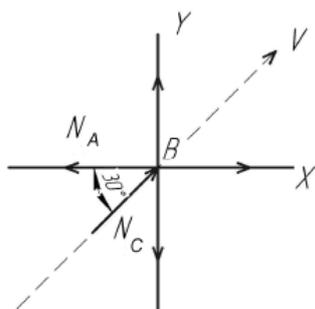


Порядок решения:

1. Выделяем узел (или точку) равновесие которого будем рассматривать. (В данном случае точку B).
2. Заменяем связи, действующие на точку, силами реакции.



3. Выбираем направление координатных осей. В принципе их можно провести как угодно. Но желательно, чтобы как можно больше число неизвестных сил было к этим осям перпендикулярно.



Ось V проводится для проверки,  
в конце решения задачи

4. Составляем для данной задачи уравнения равновесия и, решая их, находим неизвестные силы.

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^n X_k = 0 \\ \sum_{k=1}^n Y_k = 0 \end{cases} \left| \begin{array}{l} - N_A + N_C \times \cos 30^\circ = 0 \\ - F + N_C \times \sin 30^\circ = 0 \end{array} \right.$$

5. Выражаем  $N_C$  из второго уравнения

$$\begin{aligned} -F + N_C \times \sin 30^\circ &= 0 \\ N_C &= \frac{F}{\sin 30^\circ} = \frac{20}{0,5} = 40 \text{ кН} \end{aligned}$$

Т.к. стало известно, можно решить первое уравнение.

$$\begin{aligned} -N_A + N_C \times \cos 30^\circ &= 0 \\ N_A &= N_C \times \cos 30^\circ \\ N_A &= 40 \times \cos 30^\circ \\ N_A &= 40 \times 0,866 = 34,6 \text{ кН} \end{aligned}$$

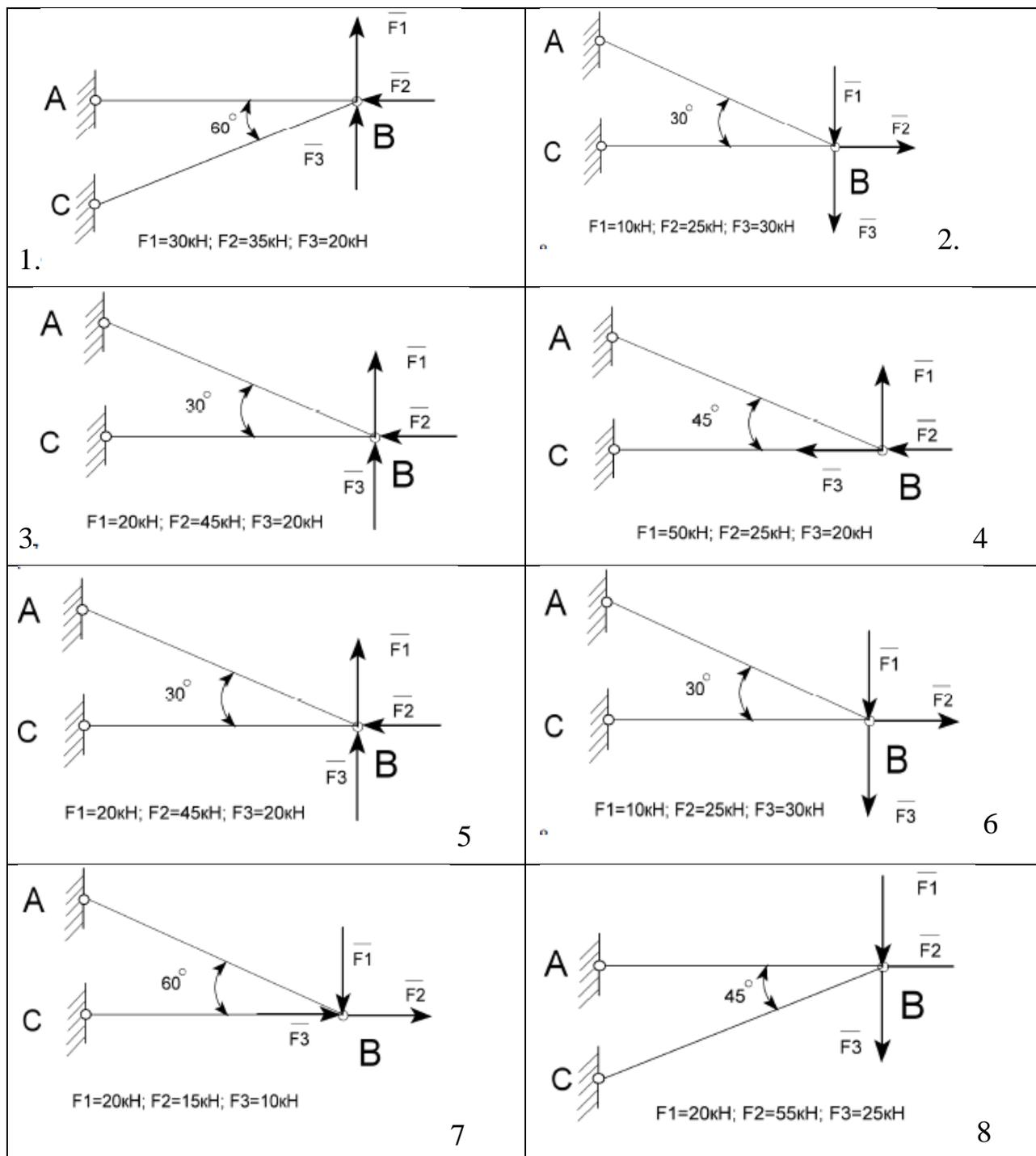
6. Для проверки правильности проведённого решения проводим произвольную ось V, не совпадающую с X и Y и составляем для нее уравнение равновесия.

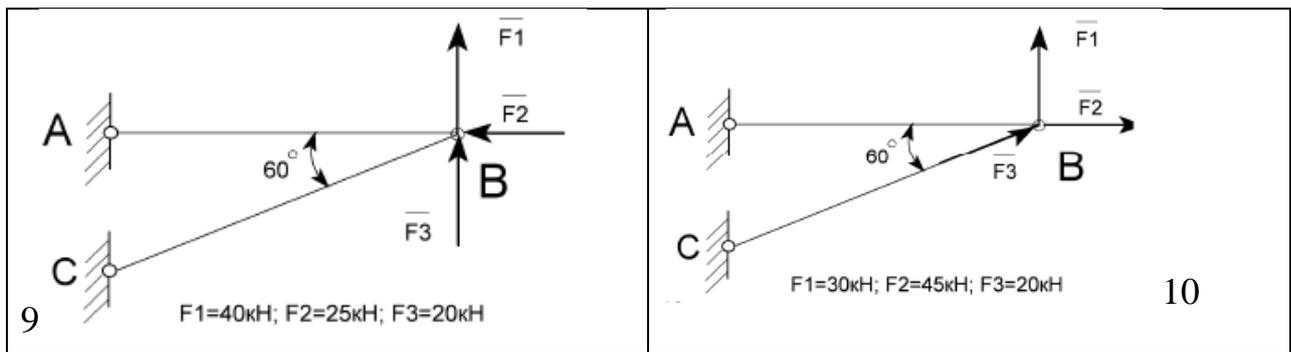
Если после подставленных найденных величин, уравнение равно нулю, то задача решена верно.

$$\sum_{k=1}^n V_k = 0 \left| \begin{array}{l} - N_A \times \cos 30^\circ - F \times \sin 30^\circ + N_C = 0 \\ - 34,6 \times 0,866 - 20 \times 0,5 + 40 = -30 - 10 + 40 = 0 \end{array} \right.$$

**Варианты заданий для контрольной работы.**

Определить усилия в стержнях, изображенных на рисунке. Номер схемы взять соответственно вашему варианту.





4. Решите свой вариант.

5. Ответьте на вопросы.

6. Сделайте вывод.

### Контрольные вопросы:

1. Что называют главным вектором системы?

2. Чему равен главный момент системы?

3. Чему равна равнодействующая произвольной плоской системы сил?

4. Какая система сил называется пространственной?

**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

## Практическая работа № 4

### Определение центра тяжести плоских фигур

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний для определения центра тяжести плоских фигур;

### Задание:

1. Повторить по учебнику тему «Центр тяжести».

2. Выпишите данные для вашего варианта (согласно нумерации в журнале).

№ варианта	$x_1$ , мм	$x_2$ , мм	$y$ , мм	$z_1$ , мм	$z_3$ , мм	№ варианта	$x_1$ , мм	$x_2$ , мм	$y$ , мм	$z_1$ , мм	$z_3$ , мм	№ варианта	$x_1$ , мм	$x_2$ , мм	$y$ , мм	$z_1$ , мм	$z_3$ , мм
1	20	30	70	40	10	11	60	70	110	80	50	21	40	50	90	60	30
2	40	50	90	60	30	12	50	60	100	70	40	22	60	70	110	80	50
3	60	70	110	80	50	13	20	30	70	40	10	23	50	60	100	70	40
4	50	60	100	70	40	14	40	50	90	60	30	24	20	30	70	40	10
5	20	30	70	40	10	15	60	70	110	80	50	25	40	50	90	60	30
6	40	50	90	60	30	16	50	60	100	70	40	26	60	70	110	80	50
7	60	70	110	80	50	17	20	30	70	40	10	27	50	60	100	70	40
8	50	60	100	70	40	18	40	50	90	60	30	28	20	30	70	40	10
9	20	30	70	40	10	19	60	70	110	80	50	29	40	50	90	60	30
10	40	50	90	60	30	20	50	60	100	70	40	30	60	70	110	80	50

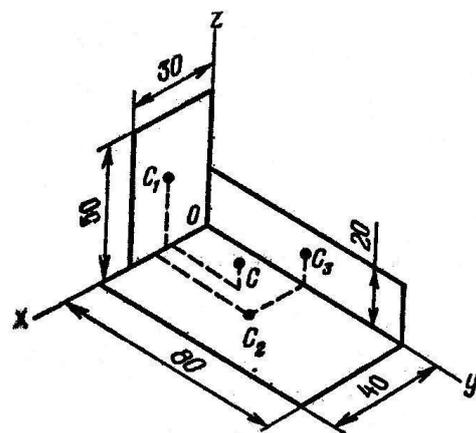
3. Рассмотрите пример решения.

### Пример.

Определить положение центра тяжести фигуры, составленной из трех тонких плоских пластинок прямоугольной формы, пересекающихся друг с другом под прямыми углами; размеры – в мм.

Решение.

1. Поместим начало координат в вершине трехгранного угла и расположим оси координат вдоль линий пересечения пластинок.



Фигура состоит из трех прямоугольников с центрами тяжести  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ , расположенными на пересечении прямых, соединяющих середины противоположных сторон.

2. Исходя из размеров фигуры, определим необходимые данные для подстановки в формулы (3):  $A_k$  – площади прямоугольников и координаты их центров тяжести:

$$A_1 = 3 \cdot 5 = 15 \text{ см}^2; C_1 (1, 5; 0; 2, 5);$$

$$A_2 = 4 \cdot 8 = 32 \text{ см}^2; C_2 (2; 4; 0);$$

$$A_3 = 8 \cdot 2 = 16 \text{ см}^2; C_3 (0; 4; 1).$$

3. Подставим эти данные в формулы (4) и вычислим искомые координаты центра тяжести фигуры:

$$x_c = (15 \cdot 1,5 + 32 \cdot 2 + 16 \cdot 0) / (15 + 32 + 16) = 1,37 \text{ см} = 13,7 \text{ мм}$$

$$y_c = (15 \cdot 0 + 32 \cdot 4 + 16 \cdot 4) / (15 + 32 + 16) = 3,04 \text{ см} = 30,4 \text{ мм}$$

$$z_c = (15 \cdot 2,5 + 32 \cdot 0 + 16 \cdot 1) / (15 + 32 + 16) = 0,85 \text{ см} = 8,5 \text{ мм}$$

Центр тяжести фигуры расположен в точке  $C (13,7; 30,4; 8,5)$ .

4. Решите свой вариант.

5. Ответьте на вопросы.

6. Сделайте вывод.

### Контрольные вопросы:

1. Дайте определение центра тяжести тела.

2. Чему равен статический момент площади относительно оси абсцисс?

3. В каких единицах измеряется статический момент плоской фигуры?

4. Чему равен статический момент плоской фигуры относительно центральной оси?

**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

### Практическая работа № 5

Определение скоростей и ускорений для поступательного движения.

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;

**Задание:**

1. Повторить по учебнику тему «Кинематика точки».
2. Выпишите данные для вашего варианта (согласно нумерации в журнале).

№ варианта	$S$ , км	$v_A$ , км/ч	$v_B$ , км./ч	№ варианта	$S$ , км	$v_A$ , км/ч	$v_B$ , км/ч	№ варианта	$S$ , км	$v_A$ , км/ч	$v_B$ , км/ч
1	110	30	20,4	11	130	34	24,8	21	110	30	20,4
2	120	32	22,6	12	140	36	26,2	22	120	32	22,6
3	130	34	24,8	13	110	30	20,4	23	130	34	24,8
4	140	36	26,2	14	120	32	22,6	24	140	36	26,2
5	110	30	20,4	15	130	34	24,8	25	110	30	20,4
6	120	32	22,6	16	140	36	26,2	26	120	32	22,6
7	130	34	24,8	17	110	30	20,4	27	130	34	24,8
8	140	36	26,2	18	120	32	22,6	28	140	36	26,2
9	110	30	20,4	19	130	34	24,8	29	110	30	20,4
10	120	32	22,6	20	140	36	26,2	30	120	32	22,6

3. Рассмотрите пример решения.

Из двух пунктов  $A$  и  $B$  прямолинейного шоссе, находящихся один от другого на расстоянии 100 км, одновременно выезжают навстречу друг другу два велосипедиста и движутся с постоянными скоростями. Велосипедист, выезжающий из  $A$ , имеет скорость  $v_A$ , а велосипедист, выезжающий из  $B$ , – скорость  $v_B = 26,6$  км /ч. Определить, за какое время каждый из них проедет расстояние 100 км. Через сколько часов и где они встретятся?

**Решение.**

1. Находим время, затраченное первым велосипедистом на проезд от точки  $A$  до  $B$ :

$$t_{AB} = S_{AB} / v_A = 100 / 40 = 2,5 \text{ ч}$$

2. Находим время, затраченное вторым велосипедистом на проезд от точки  $B$  до  $A$ :

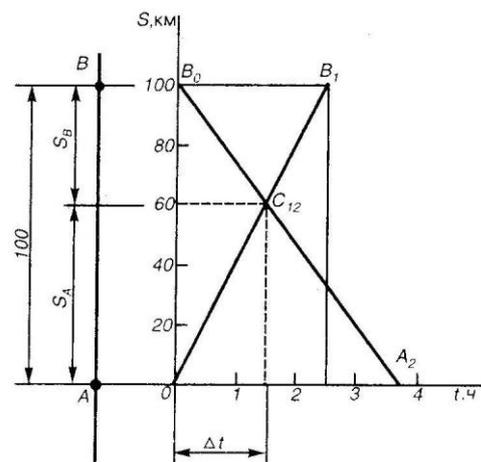
$$t_{BA} = S_{BA} / v_B = 100 / 26,6 = 3,75 \text{ ч.}$$

3. Время и место встречи велосипедистов наиболее просто определить графически. Расстояние между пунктами  $A$  и  $B$ , равное 100 км, изобразим на оси ординат отрезком в 50 мм (рис.202), т.е. в масштабе  $\mu_S = 2 \text{ км / мм}$  ( $100 \text{ км} = \mu_S \cdot 50 \text{ мм}$  и ...  $\mu_S = 100 \text{ км} / 50 \text{ км} = 2 \text{ км / мм}$ ).

По оси абсцисс отложим время в масштабе  $\mu_t = 0,1 \text{ ч / мм}$  (4 часа изображены отрезком 40 мм, поэтому  $4 \text{ ч} = \mu_t \cdot 40 \text{ мм}$  и  $\mu_t = 4 \text{ ч} / 40 \text{ мм} = 0,1 \text{ ч / мм}$ )

Первый велосипедист расстояние от  $A$  до  $B$  проезжает за 2,5 ч. Его перемещение изображается на графике прямой  $OB_1$ .

Второй велосипедист расстояние от  $B$  до  $A$  проезжает за 3,75 ч и его перемещение изображается на графике прямой  $B_0A_2$



Точка  $C_{12}$  пересечения обоих графиков указывает место и время встречи.

Встреча происходит на расстоянии  $S_A = 60 \text{ км}$  от пункта  $A$  (или на расстоянии.

$S_B = 40 \text{ км}$  от пункта  $B$ ) через  $\Delta t = 1,5 \text{ ч}$  после начала движения велосипедистов.

Если вместо графического решения применить аналитическое, то можно рассуждать таким образом.

Допустим, что место встречи происходит на расстоянии  $S$  от пункта  $A$ , а время до встречи  $\Delta t$ , считая от начала движения. Тогда уравнение движения первого велосипедиста примет вид

$S = v_A \cdot \Delta t$  и уравнение движения второго велосипедиста  $S = S_0 - v_B \cdot \Delta t$  где  $S_0 = 100 \text{ км}$  – расстояние от местонахождения второго велосипедиста до пункта  $A$  в момент начала отсчета (при  $t = 0$ ).

Так как левые части уравнения (1) и (2) равны, то  $v_A \cdot \Delta t = S_0 - v_B \cdot \Delta t$ .

Отсюда

$$\Delta t = S_0 / (v_A + v_B) = 100 / (40 + 26,6) = 1,5 \text{ ч.}$$

Из уравнения (1) определяем  $S$ :

$$S = v_A \cdot \Delta t = 40 \cdot 1,5 = 60 \text{ км.}$$

4. Решите свой вариант.

5. Ответьте на вопросы.

6. Сделайте вывод.

**Контрольные вопросы:**

1. Дайте определение кинематики.
2. Что называют траекторией?
3. В каких единицах измеряется скорость?
4. Чему равен модуль средней скорости?
5. В каких единицах измеряется ускорение?

**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

### Практическая работа № 6

Определение линейных и угловых скоростей, ускорений для вращательного движения

**Цель:** уметь решать задачи по определению линейных и угловых скоростей, ускорений для вращательного движения

**Задание:**

Поворот тела относительно неподвижной оси задается углом поворота, выраженным в радианах:  $\varphi(\text{рад})$ . Направление положительного поворота связано с направлением оси вращения правилом правого винта.

Угловая скорость равна первой производной угла поворота по времени :  
 $\omega = \varphi'_t (\text{рад/с})$

Угловое ускорение равно первой производной угловой скорости по времени или второй производной угла поворота по времени:  $\varepsilon = \omega'_t = \varphi''_t (\text{рад/с}^2)$

Связь линейной и угловой скоростей имеют вид:  $v = \omega \cdot R$

Нормальное ускорение частицы равно :  $a_n = v^2/R$

Тангенциальное ускорение частицы равно:  $a_t = \varepsilon \cdot R$

Полное ускорение равно:  $a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$

Основное уравнение динамики вращательного движения относительно неподвижной оси имеет вид:  $M = I \cdot \varepsilon$

где  $M$ - результирующий момент действующих сил,  $I$ - момент инерции тела относительно оси,  $\varepsilon$ - угловое ускорение.

1) Материальная точка массой  $m=0,2\text{кг}$  вращается по окружности радиусом  $R=1,2\text{м}$ . Зависимость угла поворота от времени имеет вид  $\varphi = (5 + 2t + 3t^2) \text{ рад}$ . Найти в момент времени  $t=5\text{с}$  угловую скорость  $\omega$ , угловое ускорение  $\varepsilon$ ,

линейную скорость  $v$ , нормальное  $a_n$ , тангенциальное  $a_t$  и полное ускорение точки  $a$ .

2) Однородный диск массой  $m=4$  кг и радиусом  $R=0,4$ м вращается относительно оси, проходящей через центр диска и перпендикулярной его плоскости с угловым ускорением  $\varepsilon=3\text{рад/с}^2$  под действием касательной силы  $F$ , приложенной к ободу диска. Найти момент силы  $M$  действующий на диск и силу  $F$ .

3) Однородный стержень массой  $m= 2,4$ кг о длиной  $l=1,2$ м вращается относительно оси перпендикулярной стержню и проходящей через его центр так что Зависимость угла поворота от времени имеет вид  $\varphi=(4t+2t^2)\text{рад}$ . Найти в момент времени  $t=5$ с угловую скорость  $\omega$ , угловое ускорение  $\varepsilon$ , момент действующей силы  $M$ .

4) Однородный диск массой  $m= 2$ кг и радиусом  $R=0,4$ м вращается относительно оси перпендикулярной диску и проходящей через его центр так что зависимость угла поворота от времени имеет вид  $\varphi=(5t+t^2)\text{рад}$ . Найти в момент времени  $t=6$ с угловую скорость  $\omega$ , угловое ускорение  $\varepsilon$ , момент действующей силы  $M$ .

5) Однородный стержень массой  $m= 1,8$ кг о длиной  $l=1,2$ м вращается относительно оси перпендикулярной стержню и проходящей через один из его концов так что зависимость угловой скорости от времени имеет вид  $\omega=(4t+0,2t^2)\text{рад/с}$ . Найти в момент времени  $t=4$ с угловое ускорение  $\varepsilon$  и момент действующей силы  $M$ .

### Контрольные вопросы:

1. Как определяется линейная скорость материальной точки?
2. Как определяется угловая скорость материального тела?
3. Как определяется ускорения для вращательного движения материального тела?

**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

### Практическая работа №7.

Применение принципа Даламбера к решению задач на прямолинейное движение точки

**Цель:** уметь составлять уравнения равновесия для решения задач на прямолинейное движение точки.

### Задание:

1. Повторить по учебнику тему «Движение несвободной материальной точки».
2. Выпишите данные для вашего варианта (согласно нумерации в журнале).

№ варианта	G, кН	F, кН	S, м	№ варианта	G, кН	F, кН	S, м	№ варианта	G, кН	F, кН	S, м
1	100	20	2	11	150	25	3	21	205	30	2
2	105	25	3	12	155	30	4	22	210	35	3
3	110	30	4	13	160	35	5	23	215	40	4
4	115	35	5	14	165	40	6	24	220	45	5
5	120	40	6	15	170	45	7	25	225	50	6
6	125	45	7	16	175	50	8	26	230	55	7
7	130	50	8	17	180	55	4	27	235	60	8
8	135	55	4	18	185	60	5	28	240	65	4
9	140	60	5	19	190	65	6	29	245	70	5
10	145	65	6	20	195	70	7	30	250	75	6

3. Рассмотрите пример решения.

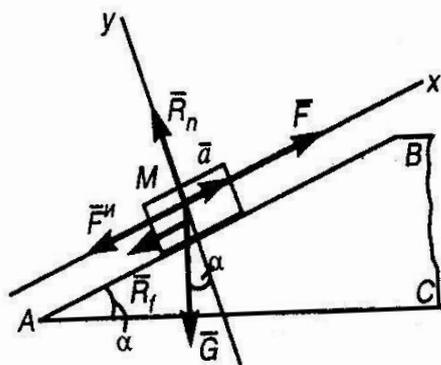
### Пример.

По наклонной плоскости АВ длиной 4 м и углом подъема  $\alpha = 15^\circ$  равноускоренно поднимают груз М весом  $G = 200$  кН, постоянной силой  $F = 65$  кН, направленной параллельно наклонной плоскости. Определить, сколько времени потребуется, чтобы переместить груз на расстояние АВ, если коэффициент трения при движении груза по наклонной плоскости  $f = 0,05$ .

### Решение.

1. Изобразим тело М на наклонной плоскости с приложенными к нему силами  $G$  и  $F$ , а также силой трения  $R_f$  и нормальной реакцией  $R_n$  наклонной плоскости.

Находясь под действием этих сил, тело движется по наклонной плоскости с постоянным ускорением  $a$ .



2. Груз перемещается равноускоренно, без начальной скорости. Время его движения можно определить из уравнения движения

$S = a t^2 / 2$ , откуда  $t = \sqrt{2S/a}$ , но предварительно необходимо определить ускорение  $a$ .

3. Так как груз движется с ускорением, то силы  $G$  и  $F$ ,  $R_f$  и  $R_n$ , приложенные к нему, не образуют уравновешенной

системы. Приложим к грузу  $M$  силу инерции  $F_{и} = ma = Ga / g$ , направив ее в сторону, противоположную ускорению  $a$ . Теперь система пяти сил  $G, F, R_f, R_n, F_{и}$  является уравновешенной.

4. Выберем систему координат, как показано на рис, и спроецируем все силы на оси  $x$  и  $y$ . Тогда получим два уравнения равновесия:

$$\sum F_{kx} = 0; F - G \sin \alpha - R_f - F_{и} = 0; (1)$$

$$\sum F_{ky} = 0; R_n - G \cos \alpha = 0. (2)$$

5. Из уравнения (1)

$$F_{и} = F - G \sin \alpha - R_f, \text{ но сила трения } R_f = f R_n.$$

Нормальную реакцию  $R_n$  найдем из уравнения (2)

$$R_n = G \cos \alpha.$$

Поэтому

$$F_{и} = F - G \sin \alpha - f G \cos \alpha = F - G(\sin \alpha + f \cos \alpha).$$

Подставим в это уравнение числовые значения

$$F_{и} = 65 - 200 (\sin 15^\circ + 0,05 \cos 15^\circ) = 65 - 61,4 = 3,6 \text{ кН}$$

6. Из выражения  $F_{и} = G/g \cdot a$  найдем ускорение  $a$ :

$$a = (F_{и} \cdot g) / G = (3,6 \cdot 9,81) / 200 = 0,18 \text{ м / с}^2$$

7. Подставив значение ускорения  $a$  в выражение  $t = \sqrt{2S/a}$ , найдем время перемещения груза  $M$  по всей длине наклонной плоскости:

$$t = \sqrt{2S/a} = \sqrt{2 \cdot 4 / 0,18} = 6,7 \text{ с.}$$

4. Решите свой вариант.

5. Ответьте на вопросы.

6. Сделайте вывод.

### Контрольные вопросы:

1. Что изучает динамика?
2. Какая система отсчета называется инерциальной?
3. В чем состоит принцип инерции?
4. В чем заключается основной закон динамики?
5. Чему равно значение силы тяжести тела?

**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

## Практическая работа № 8

Расчет прочности сжатых и растянутых элементов по предельному состоянию

**Цель (обучающая, развивающая, воспитательная):** научиться применять условие прочности при решении задач.

**Указания к выполнению работы:**

1. Повторить по учебнику тему «Растяжение и сжатие».
2. Выпишите данные для вашего варианта (согласно нумерации в журнале).

№ варианта	G, кН	F, кН	№ варианта	G, кН	F, кН	№ варианта	G, кН	F, кН
1	1,4	10	11	1,6	12	21	1,8	14
2	1,6	12	12	1,8	14	22	2,0	16
3	1,8	14	13	2,0	16	23	2,2	18
4	2,0	16	14	2,2	18	24	1,4	10
5	2,2	18	15	1,4	10	25	1,6	12
6	1,4	10	16	1,6	12	26	1,8	14
7	1,6	12	17	1,8	14	27	2,0	16
8	1,8	14	18	2,0	16	28	2,2	18
9	2,0	16	19	2,2	18	29	1,4	10
10	2,2	18	20	1,4	10	30	1,6	12

3. Рассмотрите пример решения.

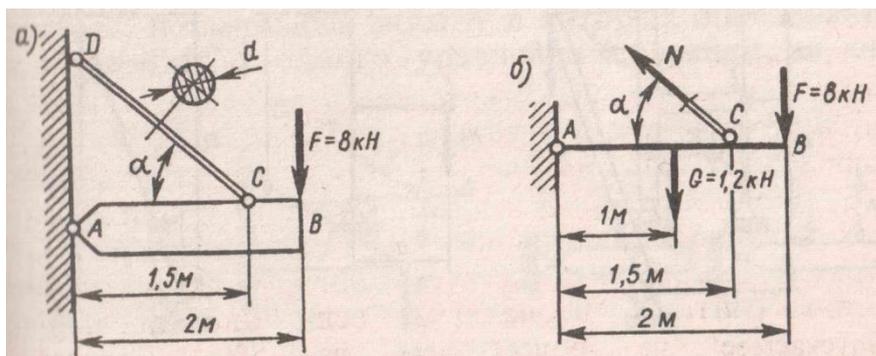
**Пример.**

Однородная жесткая плита  $AB$  силой тяжести  $G = 1,2$  кН нагружена силой  $F = 8$  кН. Определить из условия прочности диаметр стержня  $CD$ , удерживающего плиту в горизонтальном положении;  $\alpha = 45^\circ$ ,  $[\sigma] = 150$  Н/мм<sup>2</sup>.

**Решение.**

1. Применяя метод сечений, рассечем стержень  $CD$ . Отбросив верхнюю его часть вместе с шарниром  $D$ , заменим их действие на оставшуюся часть нормальной силой  $N$ . Сила тяжести плиты приложена посередине ее длины.
2. Для определения силы  $N$  составим уравнение моментов относительно точки  $A$  всех сил, действующих на плиту:

$$- G \cdot AB / 2 + N \cdot AC \sin \alpha - F \cdot AB = 0.$$



Отсюда

$$N = (G \cdot AB / 2 + F \cdot AB) / (AC \sin \alpha) = (1,2 \cdot 1 + 8 \cdot 2) / (1,5 \sin 45^\circ) = 16,2 \text{ кН}$$

3. Площадь поперечного сечения стержня, обеспечивающую его прочность, находим по расчетной формуле, имея в виду, что  $N = 16,2 \cdot 10^3 \text{ Н}$  и  $[\sigma] = 150 \text{ Н/мм}^2$ .

$$A \geq N / [\sigma] = 16,2 \cdot 10^3 / 150 = 108 \text{ мм}^2.$$

4. Из формулы площади круга находим диаметр стержня:

$$d = \sqrt{4A / \pi} = \sqrt{4 \cdot 108 / \pi} = 11,8 \text{ мм.}$$

Округляя до четного числа, принимаем значение диаметра  $d = 12 \text{ мм}$ .

4. Решите свой вариант.

5. Ответьте на вопросы.

6. Сделайте вывод.

### **Контрольные вопросы:**

1. Как нужно нагрузить прямой брус, чтобы он работал только на растяжение (сжатие)?
2. Сформулируйте закон Гука. Каков физический смысл модуля продольной упругости?
3. Что такое «предельное напряжение» и что такое «расчетное напряжение»?
4. Что такое допускаемое напряжение и как оно выбирается в зависимости от свойств материалов?
5. Как можно данную статически неопределимую систему превратить в статически неопределимую?

**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

## **Практическая работа № 9**

Построение эпюр продольных сил и напряжений

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;

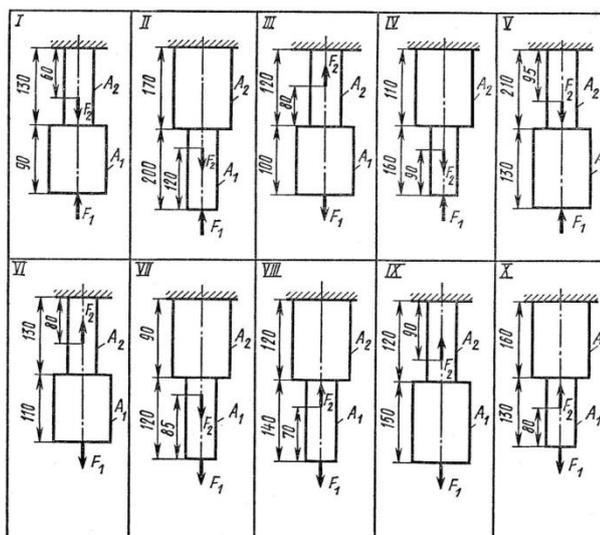
**Задание:**

Двухступенчатый стальной брус, длина ступеней которого указана на схеме, нагружены силами  $F_1$  и  $F_2$ . Построить эпюры продольных сил и нормальных

напряжений по длине бруса. Определить удлинение (укорочение) бруса, приняв  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа.

**Задача:** Числовые значения сил  $F_1$  и  $F_2$ , а так же площадей поперечных сечений ступеней  $A_1$  и  $A_2$  взять из таблицы.

Вариант	$F_1$ , кН	$F_2$ , кН	$A_1$ , см <sup>2</sup>	$A_2$ , см <sup>2</sup>
1	22,0	30,6	2,7	2,1
2	16,0	8,0	1,4	0,4
3	3,5	12,0	2,5	1,8
4	15,0	30,0	2,1	1,6
5	10,0	20,0	1,2	0,8
6	12,0	30,0	2,1	2,5
7	14,0	16,0	2,4	2,8
8	6,0	3,0	0,4	0,8
9	10,8	29,0	1,8	2,0
10	3,3	8,0	0,4	0,5



**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

### Практическая работа № 10.

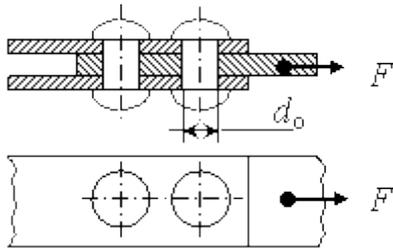
Расчет разъемных и не разъемных соединений на срез и смятие

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний; научиться решать практические задачи на тему срез и смятие.

**Задание:**

## Расчет неразъемных соединений.

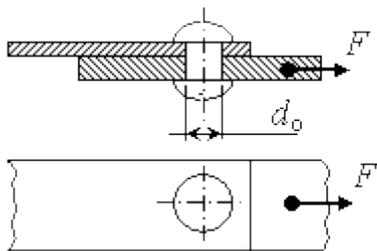
### Задание 1



Определить минимальный диаметр заклепки  $d_o$  из расчета на срез и наименьшую толщину соединяемых пластин  $\delta$  из расчета на смятие для соединения, показанного на рисунке, если на него действует сила  $F$ .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Величина $F, \text{кН}$ $F, \text{кН}$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

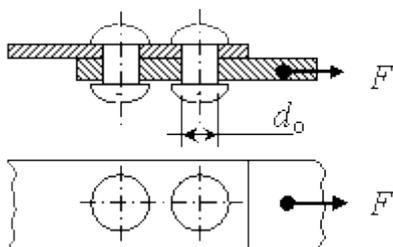
### Задание 2



Определить допускаемую силу  $F$  из расчета на срез и наименьшую толщину соединяемых пластин  $\delta$  из расчета на смятие для соединения, показанного на рисунке, если диаметр заклепки  $d_o$ .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Величина $d_o, \text{мм}$	12	10	8	6	5	4	3	2,5	2	1,5

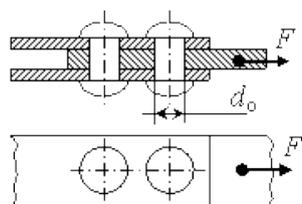
### Задание 3



Определить минимальный диаметр заклепки  $d_0$  из расчета на срез и наименьшую толщину соединяемых пластин  $\delta$  из расчета на смятие для соединения, показанного на рисунке, если на него действует сила  $F$ .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Величина $F, \text{кН}$	5,0	4,75	4,5	4,25	4,0	3,75	3,5	3,25	3,0	2,75

#### Задание 4



Определить допустимую силу  $F$  из расчета на срез и наименьшую толщину соединяемых пластин  $\delta$  из расчета на смятие для соединения, показанного на рисунке, если диаметр заклепки  $d_0$ .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Величина $d_0, \text{мм}$	4	3	2,5	2	1,5	12	10	8	6	5

Расчет разъемных соединений

**Пример 5.** Определить необходимое количество болтов, обеспечивающих прочность соединения на срез и смятие, если общая толщина соединяемых деталей  $h=10\text{мм}$ , приложенная нагрузка  $F=100\text{ кН}$ , допустимые напряжения  $[\sigma_{ср}] = 120\text{МПа}$ ;  $[\tau_{ср}] = 25\text{МПа}$ .

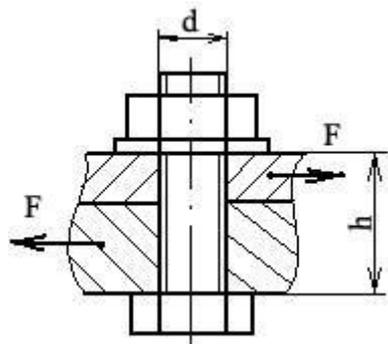


Рисунок 10.1

**Решение:**

1. Конструктивно, в соответствии с толщиной соединяемых деталей выбираем диаметр болта из справочной таблицы. Так как толщина соединяемых деталей по условию задачи 10 мм, из таблицы подберем стандартный болт М10.
2. Условие прочности на срез:

$$\tau = \frac{Q}{A_{ср}} \leq [\tau_{ср}]$$

Из условия прочности на срез определить  $A_{ср}$ :

$$A_{ср} = \frac{Q}{[\tau_{ср}]}$$

Так как  $Q=F=100\text{kH}$ , то

$$A_{ср} = \frac{100 \cdot 10^3}{25} = 4000 \text{ мм}^2$$

3. Определить площадь среза одного болта:

- для болта М10 по таблице определить внутренний диаметр резьбы  $d_{внут.}=8,876$  мм.

- определить площадь сечения болта по внутреннему диаметру

$$A_{ср}^1 = \frac{\pi d_{срез}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 8,876^2}{4} = 61,84 \text{ мм}^2$$

4. Определить необходимое количество болтов, обеспечивающих прочность соединения на срез:

$$\frac{A_{ср}}{A_{ср}^1} = \frac{4000}{61,84} = 64,68$$

, следовательно для обеспечения прочности на срез потребуется 65 болтов М10.

5. Из условия прочности на смятие:

$$\sigma_{см} = \frac{F}{A_{см}} \leq [\sigma_{см}]$$

определить  $A_{см}$ :

$$A_{см} = \frac{F}{[\sigma_{см}]} = \frac{100 \cdot 10^3}{120} = 833,33 \text{ мм}^2$$

6. Определить площадь смятия одного болта:

$$A_{см}^1 = d_{срез} \cdot k = 8,876 \cdot 10 = 88,76 \text{ мм}^2$$

7. Определить количество болтов, обеспечивающих прочность соединения на смятие:

$$\frac{A_{см}}{A_{см}^1} = \frac{833,33}{88,76} = 9,39$$

, следовательно для обеспечения прочности на смятие потребуется 10 болтов М10.

8. Для обеспечения прочности соединения на срез и смятие потребуется 65 болтов М10. (Следует выбрать наибольшее значение из двух вычисленных).

Варианты заданий:

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H, мм,	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
F, кН	50	100	60	200	70	30	150	90	110	120
$[\sigma_{см}]$ , МПа	240	250	200	210	260	280	290	300	310	320
$[\tau_{ср}]$ , МПа	100	150	120	130	140	150	155	145	120	135

**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

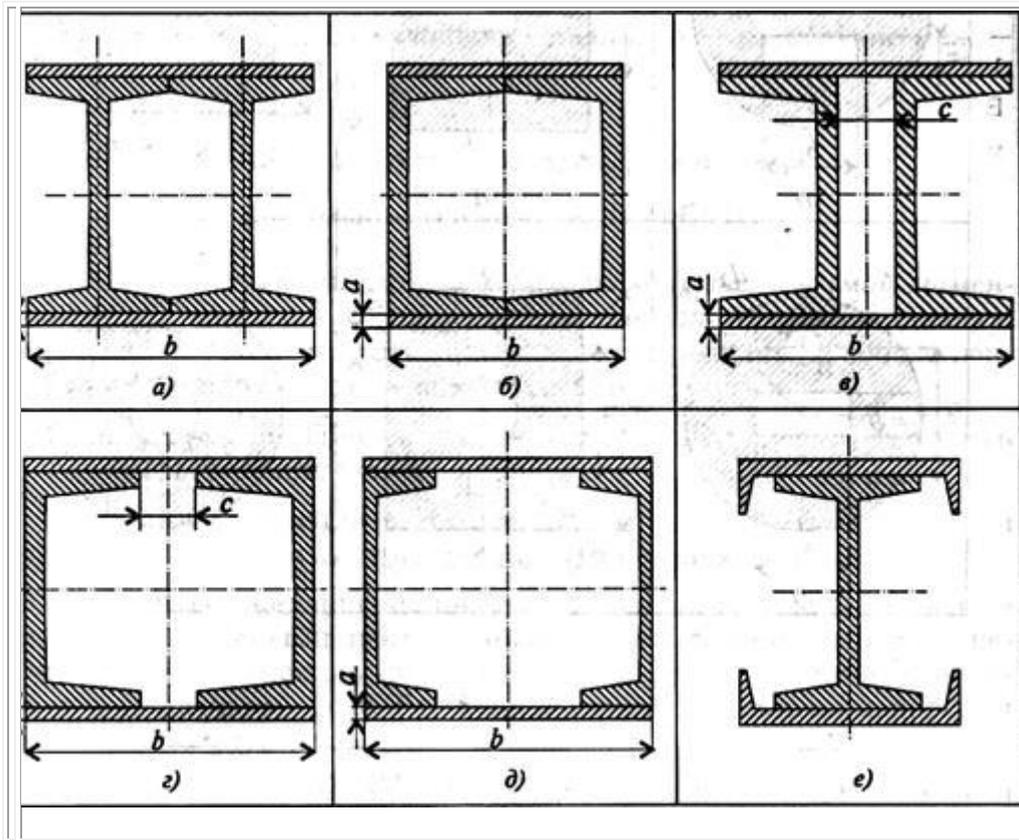
### Практическая работа № 11

Определение главных моментов составных конструкций.

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;

**Задание:**

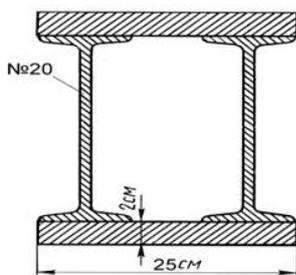
Вычислить главные центральные моменты инерции составных сечений. При расчете воспользоваться данными таблицы, выбрав необходимые величины. Геометрические характеристики стали горячекатаной выбрать по ГОСТ 8239-89 (Балки двутавровые) и ГОСТ 8240-89 (Швеллеры)



Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ швеллера	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
№ двутавра	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
$a$ , мм	8	10	12	14	16	8	10	12	14	16
$c$ , мм	10	15	20	25	30	10	15	20	25	30

### Пример выполнения

Вычислить главные центральные моменты инерции плоского сечения.



Решение

1. Чертим чертеж в масштабе 1:2

2. Проводим оси координат и отмечаем точку O

3. Разбиваем сложную фигуру на простые

I – прямоугольник

II - прямоугольник

III- двутавр

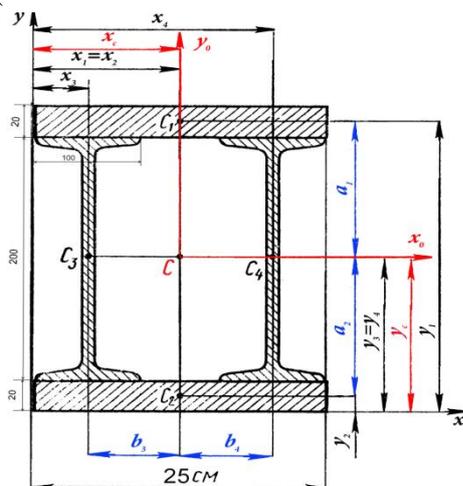
IV- двутавр

4. Вычислением и из таблиц (см. приложение) находим

- для прямоугольника  $A_1 = A_2 = 25 \cdot 2 = 50 \text{ см}^2$

- для двутавра площадь  $A_3 = A_4 = 26,8 \text{ см}^2$

(  $h = 200 \text{ мм}$ ,  $b = 100 \text{ мм}$ ,  $d = 5,2 \text{ мм}$ ,  $t = 8,4 \text{ мм}$ ,  $I_x = 1840 \text{ см}^4$ ,  $I_y = 115 \text{ см}^4$  )



Площадь всей фигуры

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 50 \cdot 2 + 26,8 \cdot 2 = 153,6 \text{ см}^2$$

5. Отмечаем положение центра тяжести и координаты каждой фигуры

$C_1$	$C_2$
$x_1 = 25/2 = 12,5 \text{ см}$	$x_2 = 25/2 = 12,5 \text{ см}$
$y_1 = 2 + 20 + 2/2 = 23 \text{ см}$	$y_2 = 2/2 = 1 \text{ см}$
$C_3$	$C_4$
$x_3 = \frac{10}{2} = 5 \text{ см}$	$x_4 = 25 - 5 = 20 \text{ см}$
$y_3 = 20/2 + 2 = 12 \text{ см}$	$y_4 = 20/2 + 2 = 12 \text{ см}$

6. Статический момент относительно оси

$$S_x = \sum Ay = A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 + A_3 \cdot y_3 + A_4 \cdot y_4$$

$$= 50 \cdot 23 + 50 \cdot 1 + 26,8 \cdot 12 + 26,8 \cdot 12 = 1843,2 \text{ см}^4$$

$$S_y = \sum Ax = A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 + A_3 \cdot x_3 + A_4 \cdot x_4$$

$$= 50 \cdot 12,5 + 50 \cdot 12,5 + 26,8 \cdot 5 + 26,8 \cdot 20 = 1920 \text{ см}^4$$

7. Координата точки С

$$x_c = \frac{S_y}{A} = \frac{1920}{153,6} = 12,5 \text{ см}$$

$$y_c = \frac{S_x}{A} = \frac{1843,2}{153,6} = 12 \text{ см}$$

8. На чертеже отмечаем положение точки С (12,5; 12) и через нее проводим центральные (главные) оси  $x_0$  и  $y_0$

9. Отмечаем на чертеже и вычисляем расстояния от центра тяжести каждой фигуры до центральной оси  $x_0$  и  $y_0$

$a_1 = y_1 - y_c = 23 - 12 = 11 \text{ см}$	$b_1 = 0$
$a_2 = y_c - y_2 = 12 - 1 = 11 \text{ см}$	$b_2 = 0$
$a_3 = 0$	$b_3 = x_c - x_3 = 12,5 - 5 = 7,5 \text{ см}$
$a_4 = 0$	$b_4 = x_4 - x_c = 20 - 12,5 = 7,5 \text{ см}$

10. Осевой момент инерции для каждой фигуры

$$I_{x1} = I_{x2} = \frac{bh^3}{12} = \frac{25 \cdot 2^3}{12} = 16,6 \text{ см}^4$$

$$I_{y1} = I_{y2} = \frac{hb^3}{12} = \frac{2 \cdot 25^3}{12} = 2604,16 \text{ см}^4$$

$$I_{x3} = I_{x4} = 1840 \text{ см}^4$$

$$I_{y3} = I_{y4} = 115 \text{ см}^4$$

11. Осевой момент инерции относительно главных осей

$$A) I_{x0} = I_{x01} + I_{x02} + I_{x03} + I_{x04}$$

$$I_{x01} = I_{x1} + a_1^2 \cdot A_1 = 16,6 + 11^2 \cdot 50 = 6066,6 \text{ см}^4$$

$$I_{x02} = I_{x2} + a_2^2 \cdot A_2 = 16,6 + 11^2 \cdot 50 = 6066,6 \text{ см}^4$$

$$I_{x03} = I_{x3} + a_3^2 \cdot A_3 = 1840 + 0^2 \cdot 26,8 = 1840 \text{ см}^4$$

$$I_{x04} = I_{x4} + a_4^2 \cdot A_4 = 1840 + 0^2 \cdot 26,8 = 1840 \text{ см}^4$$

$$I_{x0} = 6066,6 + 6066,6 + 1840 + 1840 = 15813,2 \text{ см}^4$$

$$B) I_{y0} = I_{y01} + I_{y02} + I_{y03} + I_{y04}$$

$$I_{y01} = I_{y1} + b_1^2 \cdot A_1 = 2604,16 + 0^2 \cdot 50 = 2604,16 \text{ см}^4$$

$$I_{y_{o2}} = I_{y_2} + b_2^2 \cdot A_2 = 2604,16 + 0^2 \cdot 50 = 2604,16 \text{ см}^4$$

$$I_{y_{o3}} = I_{y_3} + b_3^2 \cdot A_3 = 115 + 7,5^2 \cdot 26,8 = 1622,5 \text{ см}^4$$

$$I_{y_{o4}} = I_{y_4} + b_4^2 \cdot A_4 = 115 + 7,5^2 \cdot 26,8 = 1622,5 \text{ см}^4$$

$$I_{y_o} = 2604,16 + 2604,16 + 1622,5 + 1622,5 = 8453,32 \text{ см}^4$$

### **Контрольные вопросы.**

1. Что такое статический момент сечения?

Как определяется статический момент сечения относительно нейтральной оси?

2. Чему равен статический момент сечения относительно центральной оси?

3. Что такое осевой момент инерции сечения и в каких единицах он измеряется?

4. Какова зависимость между осевыми моментами инерции относительно параллельных осей?

5. Какие оси, проведенные в плоскости сечения, называются главными? главными центральными?

6. Как определяются осевые моменты инерции сложных составных сечений?

**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

### **Практическая работа № 12.**

Расчет валов и осей на кручение. Построение эпюр крутящих моментов

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;

**Задание:** Для стального вала (рис. 13) построить эпюру крутящих моментов; определить диаметр вала на каждом участке и полный угол закручивания. Данные для различных вариантов указаны на табл. 13.

Мощности на зубчатых колесах принять  $P_2 = 0,5P_1; P_3 = 0,3P_1; P_4 = 0,2P_1$ .

Указание. Полученное расчетное значение диаметра (в мм) округлить до ближайшего большего числа, оканчивающегося на 0, 2, 5, 8, или по СТС-В 208-75.

**Пример.** Для стального вала (рис. 13, а) построить эпюру крутящих моментов, определить из условия прочности требуемые диаметры каждого участка и углы закручивания этих участков.

Угловую скорость вала принять  $\omega = 100 \text{ рад/с}$ , допускаемое напряжение  $[\tau_{кр}] = 30 \text{ МПа}$ , модуль сдвига  $G = 0,8 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ .

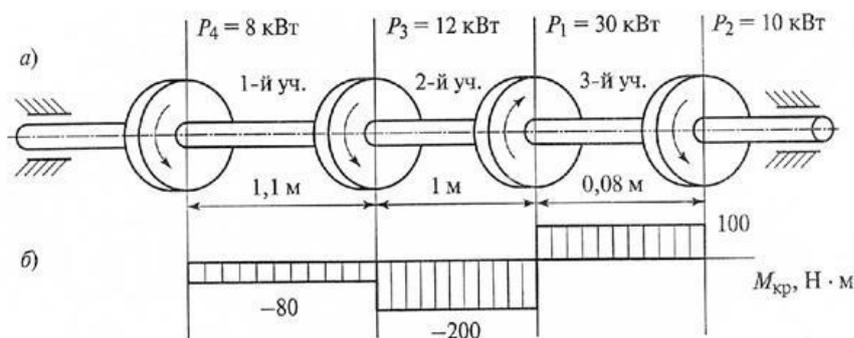


Рис. 3

Рисунок 13

**Решение.** Вал вращается с постоянной угловой скоростью, следовательно, система вращающих моментов уравновешена. Мощность, подводимая к валу без потерь на трение, равен сумме мощностей, снимаемых с вала:

$$P_1 = P_2 + P_3 + P_4 = 10 + 12 + 8 = 30 \text{ кВт}$$

2. Определяем вращающие моменты на шкивах:

$$M_1 = \frac{P_1}{\omega} = \frac{30 \cdot 10^3}{100} = 300 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega} = \frac{10 \cdot 10^3}{100} = 100 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = \frac{P_3}{\omega} = \frac{12 \cdot 10^3}{100} = 120 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_4 = \frac{P_4}{\omega} = \frac{8 \cdot 10^3}{100} = 80 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

3. Для построения эпюры крутящих моментов разбиваем брус на три участка, границами которых являются сечения, в которых приложены внешние моменты. В пределах каждого участка значения крутящих моментов таковы:

$$M_{кр1} = -M_4 = -80 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{кр2} = -M_4 - M_3 = -80 - 120 = -200 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{кр3} = -M_4 - M_3 + M_1 = -80 - 120 + 300 = 100 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

По найденным значениям строим эпюру крутящих моментов (рис.3,б).

4. Из условия прочности на кручение

$$\tau_{\varphi} = \frac{M_{\varphi}}{W_{\varphi}} \leq [\tau_{\varphi}], \text{ где } W_{\varphi} = 0,2d^3,$$

$$\tau_{\varphi} = \frac{M_{\varphi}}{0,2d^3} \leq [\tau_{\varphi}]$$

Определяем диаметр вала на каждом участке по формуле:

$$d \leq \sqrt[3]{\frac{M_{\varphi}}{0,2[\tau_{\varphi}]}};$$

$$d \leq \sqrt[3]{\frac{M_{\varphi}}{0,2[\tau_{\varphi}]}} = \sqrt[3]{\frac{80 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 30}} = 25 \text{ мм},$$

$$d \leq \sqrt[3]{\frac{M_{\varphi}}{0,2[\tau_{\varphi}]}} = \sqrt[3]{\frac{200 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 30}} = 35 \text{ мм},$$

$$d \leq \sqrt[3]{\frac{M_{\varphi}}{0,2[\tau_{\varphi}]}} = \sqrt[3]{\frac{100 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 30}} = 28 \text{ мм}.$$

5. Определяем угол закручивания вала на каждом участке по формуле

$$\varphi = \frac{M_{\varphi} l \cdot 180^\circ}{J_{\varphi} G \pi},$$

где  $J_{\varphi}$  - полярный момент инерции сечения.

Для круглого сечения  $J_{\varphi} = \frac{\pi d^4}{32} = 0,1d^4$ , тогда  $\varphi = \frac{M_{\varphi} l \cdot 180^\circ}{0,1d^4 G \pi}$ .

Угол закручивания

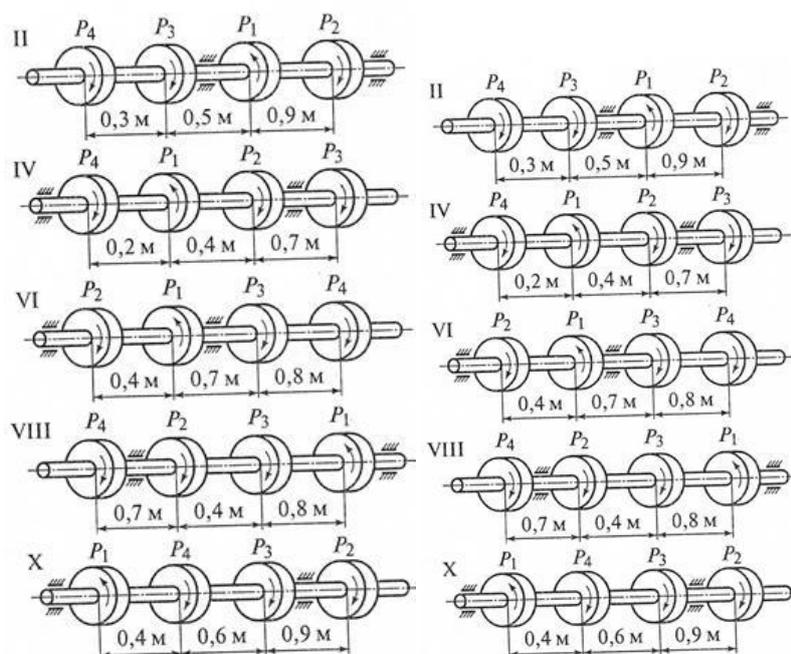
$$\varphi = \frac{M_{\varphi 1} l_1 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,1d_1^4 G} = \frac{-80 \cdot 10^3 \cdot 1,1 \cdot 10^3 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,1 \cdot 25^4 \cdot 8 \cdot 10^4} = -0,16^\circ;$$

$$\varphi = \frac{M_{\varphi 2} l_2 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,1d_2^4 G} = \frac{-200 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 10^3 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,1 \cdot 35^4 \cdot 8 \cdot 10^4} = -0,38^\circ;$$

$$\varphi = \frac{M_{\varphi 3} l_3 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,1d_3^4 G} = \frac{100 \cdot 10^3 \cdot 0,08 \cdot 10^3 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 0,1 \cdot 28^4 \cdot 8 \cdot 10^4} = 0,29^\circ.$$

**Ответ:**  $d_1 = 25 \text{ мм}; d_2 = 35 \text{ мм}; d_3 = 28 \text{ мм}; \varphi_1 = -0,16^\circ; \varphi_2 = -0,38^\circ; \varphi_3 = 0,29^\circ$ .

Варианты заданий



### Контрольные вопросы и задания

1. Какие деформации возникают при кручении?
2. Какие гипотезы выполняются при деформации кручения?
3. Изменяются ли длина и диаметр вала после скручивания?
4. Какие внутренние силовые факторы возникают при кручении?
5. Что такое рациональное расположение колес на валу?

**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

### Практическая работа № 13

Построение эпюр продольных и нормальных напряжений при растяжении и сжатии.

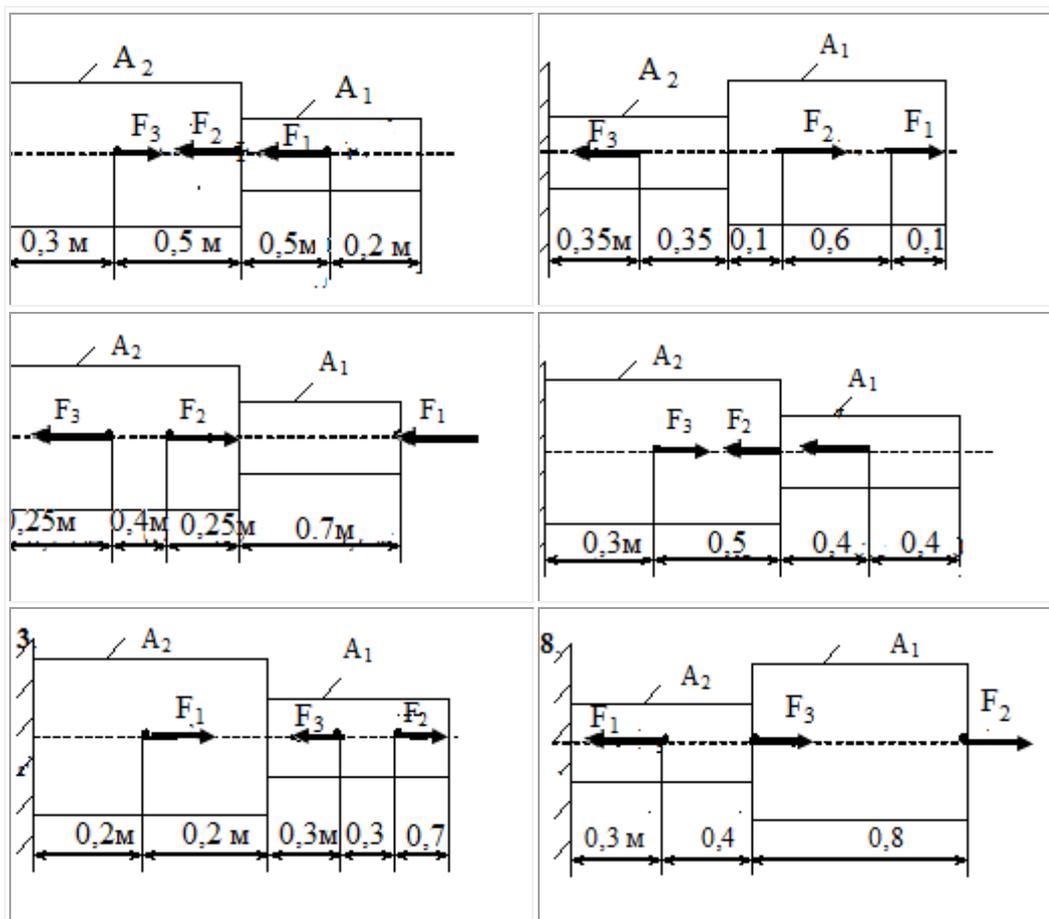
**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;

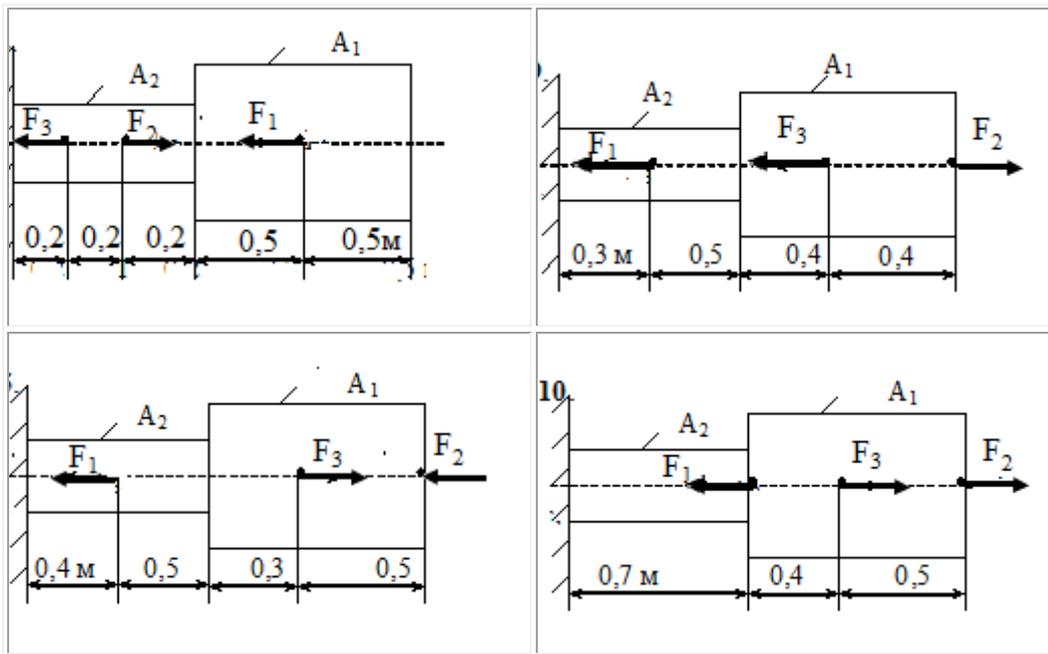
**Задание:** Для заданного ступенчатого бруса построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений, определить удлинение (укорочение) бруса, выполнить проверочный расчет по прочности.

Стальной двухступенчатый брус, длины ступеней которого указаны на рис.1 (схемы 1-10), нагружен силами  $F_1, F_2$  и  $F_3$ . Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений по длине бруса. Определить перемещение свободного конца бруса, приняв  $E=210^5 \text{ МПа}$ . Числовые значения сил  $F_1, F_2$  и

$F_3$ , площади поперечных сечений ступеней  $A_1$  и  $A_2$  для своего варианта взять из таблицы.

Вариант	$F_1$ , кН	$F_2$ , кН	$A_1$ , см <sup>2</sup>	$A_2$ , см <sup>2</sup>
1	22,0	30,6	2,7	2,1
2	16,0	8,0	1,4	0,4
3	3,5	12,0	2,5	1,8
4	15,0	30,0	2,1	1,6
5	10,0	20,0	1,2	0,8
6	12,0	30,0	2,1	2,5
7	14,0	16,0	2,4	2,8
8	6,0	3,0	0,4	0,8
9	10,8	29,0	1,8	2,0
10	3,3	8,0	0,4	0,5





**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

### Практическая работа № 14.

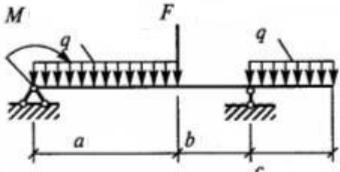
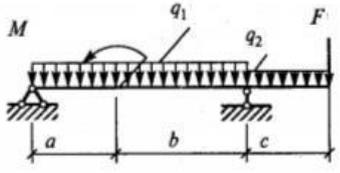
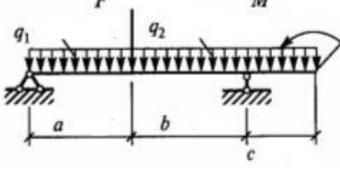
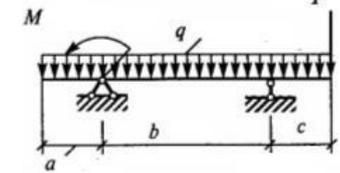
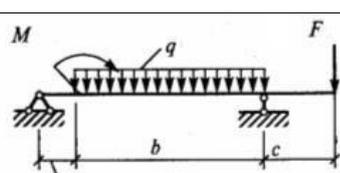
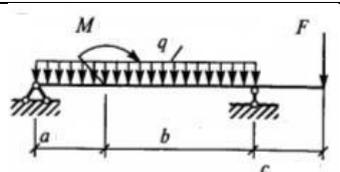
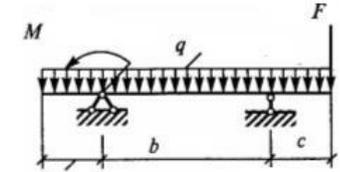
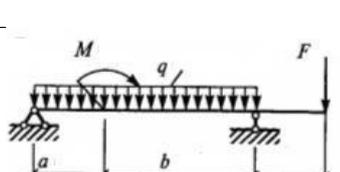
Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;

**Задание:** Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

вариант		M, кН·м	$\frac{\text{кН}}{\text{м}}$ Q,	F, кН	a, м	b, м	c, м
1		10	15	20	2	3	2
2		15	7	10	1	4	2

3		50	8	25	3	2	2
4		50	5	50	2	3	2
5		80	7	25	2	3	1
6		60	8	40	1	3	1
7		70	5	20	1	4	2
8		25	4	25	2	3	2
9		30	6	30	1	3	1
10		35	9	40	2	3	2

**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

## Практическая работа № 15-16.

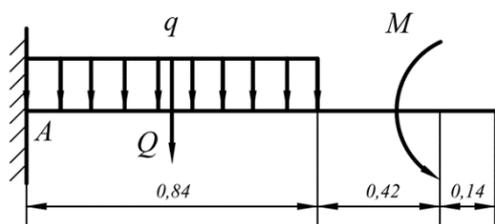
Расчет и подбор сечения балки на поперечный изгиб.

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;

**Задание:**

Пример. Для заданной схемы консольной балки требуется построить эпюры поперечной силы  $Q$  и изгибающего момента  $M$ , выполнить проектировочный расчет, подобрав круглое сечение.

Материал — дерево, расчетное сопротивление материала  $R=10\text{МПа}$ ,  $M=14\text{кН}\cdot\text{м}$ ,  $q=8\text{кН/м}$



Строить эпюры в консольной балке с жесткой заделкой можно двумя способами — обычным, предварительно определив опорные реакции, и без определения опорных реакций, если рассматривать участки, идя от свободного конца балки и отбрасывая левую часть с заделкой. Построим эпюры обычным способом.

1. Определим опорные реакции.

Равномерно распределенную нагрузку  $q$  заменим условной силой  $Q = q \cdot 0,84 = 6,72 \text{ кН}$

В жесткой заделке три опорные реакции — вертикальная, горизонтальная и момент, в нашем случае горизонтальная реакция равна 0.

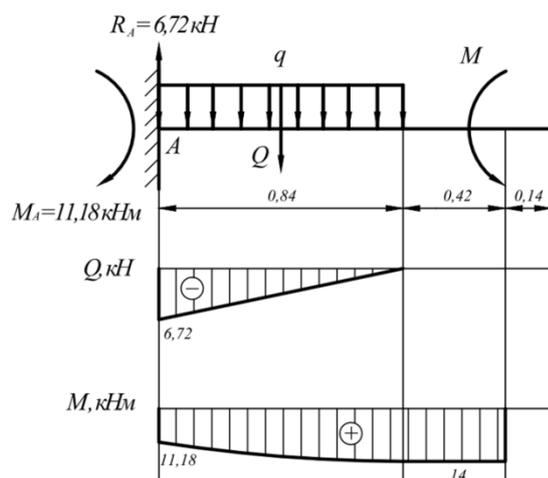
Найдем вертикальную реакцию опоры  $R_A$  и опорный момент  $M_A$  из уравнений

$$R_A - Q = 0 \Rightarrow R_A = Q = 6,72 \text{ кН};$$

$\sum M_A = 0 \quad -0,42Q + M - M_A = 0 \quad M_A = -0,42Q + M = 11,18 \text{ кН}\cdot\text{м}$   
равновесия.

2. Строим эпюру поперечных сил.

На первых двух участках справа поперечная сила отсутствует. В начале участка с равномерно распределенной нагрузкой (справа)  $Q=0$ , в заделке — величине



реакции  $R_A$ .

3. Для построения эпюры изгибающих моментов  $M$  составим выражения для их определения на участках. Эпюру моментов построим на растянутых волокнах,

Участок 1:

$$M_1 = M = 14 \text{ кНм}$$

Участок 2:

$$M_2 = M - \frac{qx^2}{2}$$

$$x = 0 \quad M_2 = 14 \text{ кНм}$$

$$x = 0,84 \quad M_2 = 11,18 \text{ кНм}$$

$$x = 0,42 \quad M_2 = 13,3 \text{ кНм}$$

т.е. вниз.

4. Проектировочный расчет, то есть подбор размеров поперечного сечения.

Максимальный изгибающий момент с эпюры  $M=14$  кН·м. Определим осевой момент сопротивления сечения

$$W_x \geq \frac{M_{\max}}{R} \quad W_x = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \Rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\max}}{\pi \cdot R}}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 14 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 10 \cdot 10^6}} = 0,242 \text{ м} = 25 \text{ см}$$

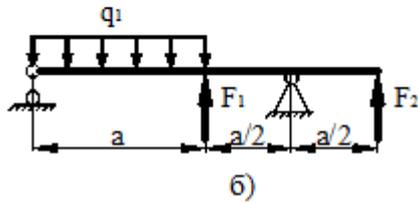
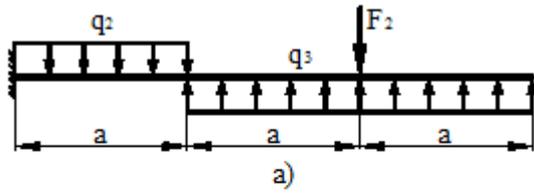
Таким образом, подбираем сечение с диаметром 25 см.

Таблица вариантов

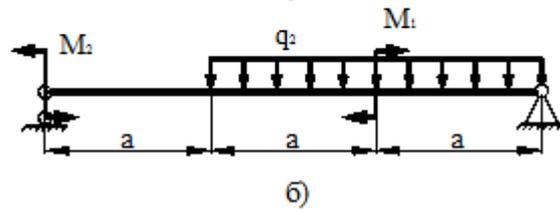
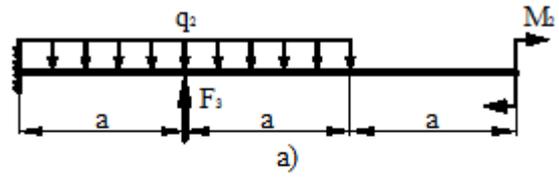
Номер строки	Схема по рис.2	a, м	$q_1=q_3$ , кН/м	$q_2$ , кН/м	$F_1$ , кН	$F_2$ , кН	$F_3$ , кН	$M_1$ , кНм	$M_2$ , кНм	$M_3$ , кНм
01	1	2	5	30	10	35	10	10	35	10
02	2	0,8	10	25	15	30	20	15	30	20
03	3	1	15	20	20	25	30	20	25	30
04	4	1,2	20	15	25	20	40	25	20	40
05	5	1,4	25	10	30	15	10	30	15	10
06	6	1,6	30	5	35	10	20	35	10	20
07	7	1,8	5	30	40	5	30	40	5	30
08	8	2	15	35	15	30	20	15	30	20
09	9	2	20	25	20	25	30	20	25	30

10	10	0,8	25	20	25	20	40	25	20	40
----	----	-----	----	----	----	----	----	----	----	----

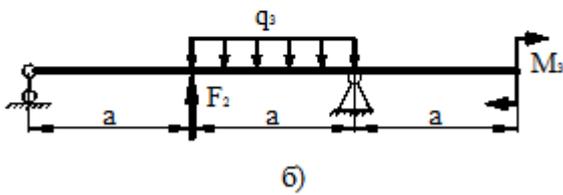
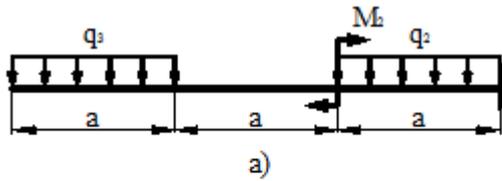
1 схема



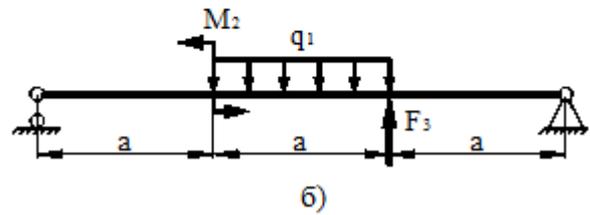
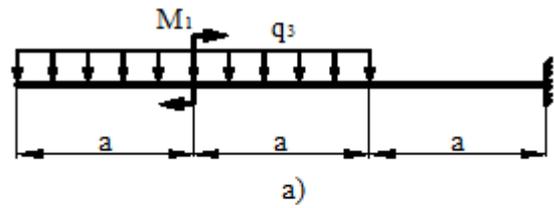
2 схема



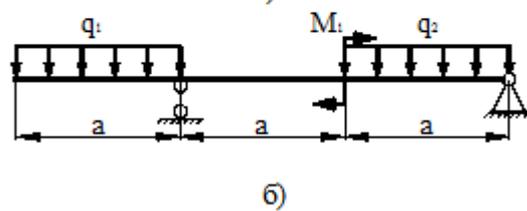
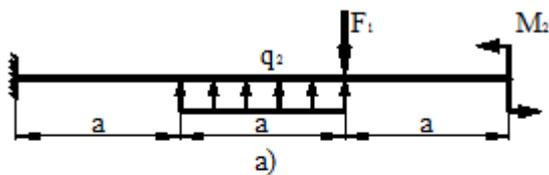
3 схема



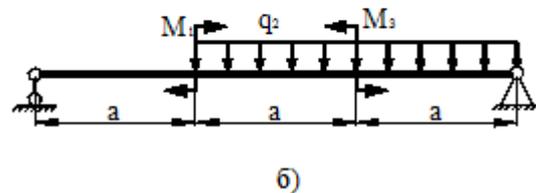
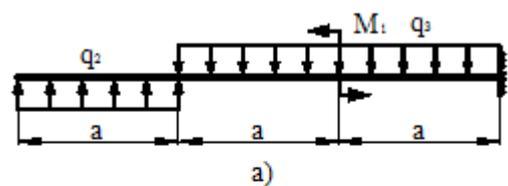
4 схема



5 схема

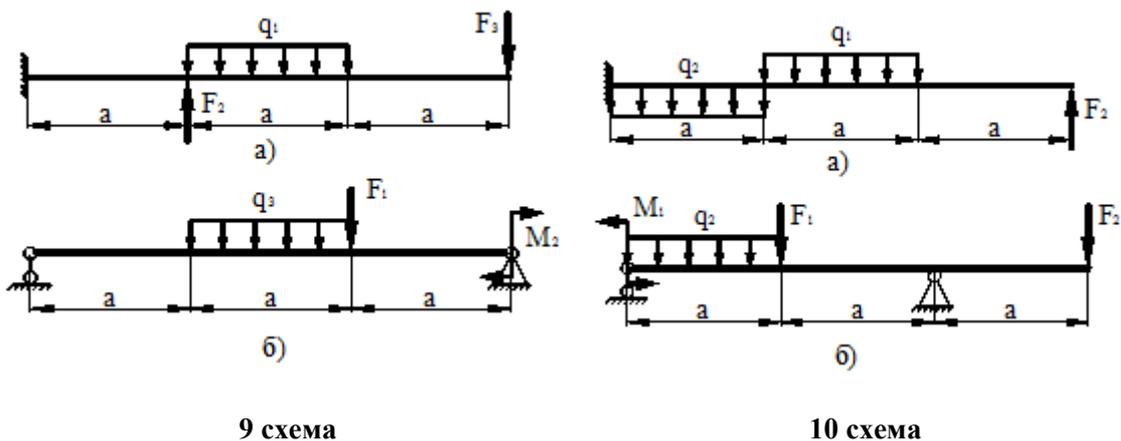


6 схема



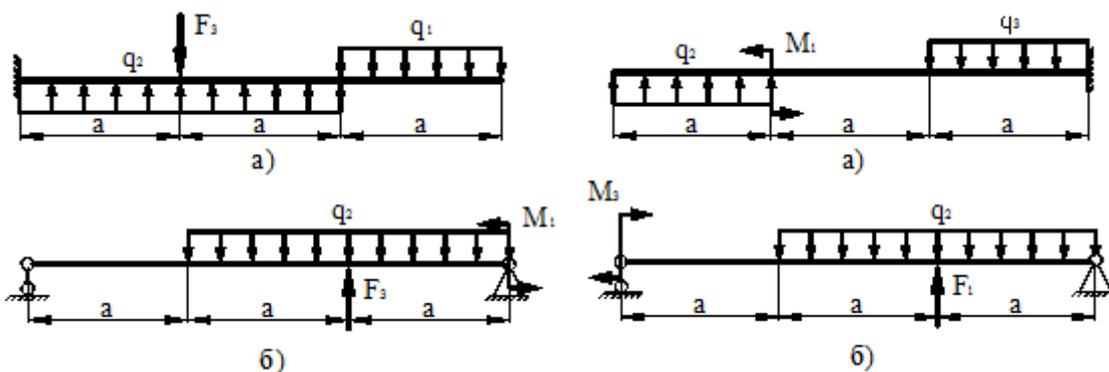
7 схема

8 схема



9 схема

10 схема



**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

### Практическая работа № 17.

Расчет на устойчивость сжатых стержней.

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;

**Задание:**

Расчет на устойчивость заключается в определении допустимой сжимающей силы и в сравнении с ней силы действующей:

$$F \leq [F]; \quad [F] = \frac{F_{кр}}{[s_y]}; \quad F \leq \frac{F_{кр}}{[s_y]},$$

где  $F$  — действующая сжимающая сила;

$[F]$  — допустимая сжимающая сила, обеспечивает некоторый запас устойчивости;

$F_{кр}$  — критическая сила;

$[s_y]$  — допускаемый коэффициент запаса устойчивости.

Обычно для сталей  $[s_y] = 1,8 - 3$ ; для чугуна  $[s_y] = 5$ ; для дерева  $[s_y] = 2,8$ .

Знать условие устойчивости сжатых стержней, формулы Эйлера для определения критической силы, эмпирические формулы для расчетов критического напряжения и критической силы.

Уметь выполнять проверочные расчеты на устойчивость сжатых стержней.

Порядок выполнения расчета на устойчивость

1. Почтение сведений о материале стержня для определения предельной гибкости стержня расчетным путем или по таблице:

$$\lambda_{\text{пред}} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{\text{пц}}}}$$

2. Получение сведений о геометрических размерах поперечного сечения, длине и способах закрепления концов для определения категории стержня в зависимости от гибкости:

$$i_{\text{min}} = \sqrt{\frac{J_{\text{min}}}{A}}$$

где  $A$  — площадь сечения;  $J_{\text{min}}$  — минимальный момент инерции (из осевых);

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\text{min}}}$$

$\mu$  — коэффициент приведенной длины.

3. Выбор расчетных формул для определения критической силы и критического напряжения.

При  $\lambda_0 < \lambda < \lambda_{\text{пред}}$  — расчет по эмпирическим формулам.

При  $\lambda > \lambda_{\text{пред}}$  — расчет по формуле Эйлера.

4. Проверка и обеспечение устойчивости.

При расчете по формуле Эйлера условие устойчивости:

$$F \leq \frac{F_{\text{кр}}}{[s_y]}; \quad F_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 E J_{\text{min}}}{(\mu l)^2}$$

$F$  — действующая сжимающая сила;  $[s_y]$  — допускаемый коэффициент запаса устойчивости.

При расчете по формуле Ясинского

где  $a$ ,  $b$  — расчетные коэффициенты, зависящие от материала (величины коэффициентов приводятся в справ.таблице)

$$F_{кр} = \sigma_{кр} A; \quad F \leq \frac{F_{кр}}{[s_y]}$$

В случае невыполнения условий устойчивости необходимо увеличить площадь поперечного сечения.

Иногда необходимо определить запас устойчивости при заданном нагружении:

$$s_y = \frac{F_{кр}}{F}$$

При проверке устойчивости сравнивают расчетный запас выносливости с допускаемым:

$$s_y \leq [s_y]$$

<b>СХЕМЫ</b>							- $\mu$
	2	1	0,7	0,5	2	1	
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	

#### Задача № 1 (пример решения)

<p>Рис. 37.4</p>	<p>Проверить устойчивость стержня. Стержень длиной 1 м заземлен одним концом, сечение — швеллер № 16, материал — Ст3, запас устойчивости трехкратный. Стержень нагружен сжимающей силой 82 кН (рис. 37.4).</p> <p><b>Решение:</b></p> <p>Изобразить расчетную схему с указанием размеров нагрузки.</p> <p>1. Определяем основные геометрические параметры сечения стержня по ГОСТ 8240-89. Швеллер № 16: площадь сечения 18,1 см<sup>2</sup>; минимальный осевой момент сечения <math>J_y = 63,3</math> см<sup>4</sup>; минимальный радиус инерции сечения <math>i_y = 1,87</math> см.</p>
------------------	--

2. Определяем категорию стержня в зависимости от гибкости.

Предельная гибкость для материала Ст3  $\lambda_{пред} = 100$ .

Расчетная гибкость стержня при длине  $l = 1 \text{ м} = 1000 \text{ мм}$

$$\lambda = \frac{2 \cdot 1000}{18,7} = 106,95.$$

Рассчитываемый стержень — стержень большой гибкости, расчет ведем по формуле Эйлера.

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 E J_{\min}}{(\mu l)^2}; F_{кр} = \frac{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^9 \cdot 63,3 \cdot 10^4}{(2 \cdot 1000)^2} = 312\,000 \text{ Н} = 312 \text{ кН}.$$

3. Допускаемая нагрузка на стержень

$$[F] = F_{кр} / [s_y].$$

$$[F_y] = \frac{312}{3} = 105,5 \text{ кН}.$$

4. Условие устойчивости

$$F \leq [F_y];$$

82 кН < 105,5 кН. Устойчивость стержня обеспечена.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$l$ , м	4	3	4	5	6	5	3	4	5	6
Схема №	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4
материал	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3	Ст3
$F$ , кН	75	80	81	70	86	90	75	73	82	80
сечение	Двута	Двугав	Двугав	Швелле	Двугав	Двугав	Двугав	Двугав	Двугав	Швелл
	вр	р	р	р	р	р	р	р	р	ер
	40	30	30а	№14	№ 33	36	55	№ 50	70	№ 16

**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

### Практическая работа № 18.

Расчет на контактную усталость и усталость при изгибе зубьев зубчатых колес

**Цель:** Освоить методику расчёта на контактную прочность и изгиб передач.

- Научиться определять геометрические параметры передачи.
- Научиться определять расчётные контактные напряжения и расчётные напряжения на выносливость при изгибе.

**Задание.** Выбрать материал, назначить термическую обработку и определить допускаемые напряжения на контактную и изгибную прочность для пяти вариантов термической обработки.

#### Теоретическое обоснование

В зависимости от вида изделия, условий его эксплуатации и требований к габаритным размерам выбирают необходимую твердость колес и материалы для их изготовления. Для силовых передач чаще всего применяют стали.

Передачи со стальными зубчатыми колесами имеют минимальную массу и габариты, причем чем меньше габариты, тем выше твердость рабочих поверхностей зубьев, которая, в свою очередь, зависит, как от марки стали, так и от вида термической обработки.

На практике в основном применяют следующие варианты термической обработки (т.о.):

1. Т.о. колеса- улучшение, твердость 235... 262 НВ;

т.о. шестерни- улучшение, твердость 269...302 НВ.

Марки сталей одинаковы для колеса и шестерни: 45, 40Х, 40ХН, 35ХМ и др. Для прямозубых колес твердость шестерни должна быть на 30-50 единиц Бринелля больше, чем твердость колеса. Для косозубых колес эта разность должна быть по возможности наибольшей. Зубья колес из улучшаемых сталей хорошо прирабатываются и не подвержены хрупкому разрушению, но имеют ограниченную нагрузочную способность. Применяют в слабонагруженных и средненагруженных передачах. Область применения улучшенных зубчатых колес сокращается.

2. Т.о. колеса- улучшение, твердость 269...302 НВ;

т.о. шестерни - улучшение и закалка ТВЧ, твердость поверхности в зависимости от марки стали 45...53 HRC. Твердость сердцевины зуба соответствует термообработке улучшение. Марки сталей одинаковы для колеса и шестерни: 40Х, 40ХН, 35ХМ и др.

3. Т.о. колеса и шестерни одинаковая - улучшение и закалка ТВЧ,

твердость поверхности в зависимости от марки стали: 45...53 HRC. Марки сталей одинаковы для колеса и шестерни: 40Х, 40ХН, 35ХМ и др. Закалённые колёса не прирабатываются, поэтому разность твёрдости шестерни и колеса не нужна.

4. Т.о. колеса - улучшение и закалка ТВЧ, твердость поверхности в зависимости от марки стали 45...53 HRC;

т.о. шестерни - улучшение, цементация и закалка, твердость поверхности 56...63 HRC. Материал шестерни - стали марок 20Х, 20ХН2М, 18ГТ, 12ХН3А и др.

5. Т.о. колеса и шестерни одинаковая - улучшение, цементация и закалка, твердость поверхности 56...63 HRC. Цементация (поверхностное насыщение углеродом) с последующей закалкой наряду с большой твердостью

поверхностных слоев обеспечивает и высокую прочность зубьев на изгиб. Марки сталей одинаковы для колеса и шестерни: 20Х, 20ХН2М, 18ХГТ, 12ХНЗА, 25ХГМ и др.

Кроме цементации применяют также нитроцементацию (твердость поверхности 56...63 HRC, стали марок 25ХГМ, 30ХГТ) и азотирование (твердость поверхности 58...67 HRC, стали марок 38Х2МЮА, 40ХНМА).

При поверхностной термической или химико-термической обработке зубьев механические характеристики сердцевины зуба определяет предшествующая термическая обработка (улучшение).

Несущая способность зубчатых передач по контактной прочности тем выше, чем выше поверхностная твердость зубьев. Поэтому целесообразно применение поверхностного термического или химико-термического упрочнения. Эти виды упрочнения позволяют в несколько раз повысить нагрузочную способность передачи по сравнению с улучшаемыми сталями. Например, допускаемые контактные напряжения  $[\sigma_H]$  зубчатых колес, подвергнутых цементации, два раза превышают значения  $[\sigma_H]$  колес, подвергнутых термическому улучшению, что позволяет уменьшить массу в четыре раза.

Однако при назначении твердости рабочих поверхностей зубьев следует иметь в виду, что большей твердости соответствует более сложная технология изготовления зубчатых колес и малые размеры передачи (что может привести к трудностям при конструктивной разработке узла).

Допускаемые контактные напряжения  $[\sigma_{H1}]$  для шестерни и  $[\sigma_{H2}]$  для колеса определяют по общей зависимости (но с подстановкой соответствующих параметров для шестерни и колеса). При выборе допускаемых контактных напряжений необходимо учитывать влияние на контактную прочность долговечности (ресурса работы), шероховатости сопрягаемых поверхностей зубьев и окружной скорости.

При проектном расчете:

$$[\sigma_H] = \sigma_{H\text{limb}} \times K_{HL} / [S_H],$$

где  $\sigma_{H\text{limb}}$  - предел контактной выносливости при базовом числе циклов нагружения (определяется по таблице 18.1 в зависимости от термической обработки);

Таблица 18.1 - Предел контактной выносливости

Способ обработки зубьев зубьев	Средняя твердость поверхности зубьев	Сталь	$\sigma_{H \text{ limb}}$ , МПа
Нормализация или улучшение	HB<350	Углеродистая или легированная	2HB+70
Объемная закалка	HRC38...50	18HRC+150	
Поверхностная закалка	HRC40...50	17 HRC+200	
Цементация и нитроцементация	HRC>56	легированная	23HRC
Азотирование	HV 550-750	легированная	

$N_{ho}$  - базовое число циклов нагружения;

$N_{he}$ - эквивалентное число циклов нагружения.

При HB<200  $N_{HO}=10^7$ .

При HB 200... 500  $N_{HO}$  ↑ по линейному закону от  $10^7$  до  $6 \times 10^7$ .

$K_{HL}$ - коэффициент долговечности.

Если число циклов нагружения каждого зуба колеса больше базового, то  $K_{HL}=1$  (обычно для курсовых проектов).

В других условиях, если  $N_{HE} < N_{HO}$ , то  $K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}}$ .

Если при расчете колес из нормализованной стали  $K_{HL} > 2,6$ , то принимают  $K_{HL} = 2,6$ .

Для колёс из закаленной стали  $K_{HL} \leq 1,8$ .

$[S_H]$ - коэффициент безопасности.

$[S_H]= 1,2... 1,3$  при поверхностном упрочнении;

$[S_H]= 1,1...1,2$  для колёс из нормализованной и улучшенной стали, при объёмной закалке.

Для прямозубой передачи

$$[\sigma_H] = [\sigma_{H \text{ min}}].$$

Для косозубых и шевронных колес

$$[\sigma_H] = 0,45 ([\sigma_{H1}] + [\sigma_{H2}]).$$

Затем проверяется выполнение условия

$$[\sigma_H] \leq 1,23 [\sigma_{H \text{ min}}].$$

Если это неравенство не выполняется, то принимают

$$[\sigma_H] = 1,23 [\sigma_{H \text{ min}}].$$

ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ИЗГИБА

Допускаемые напряжения изгиба определяются отдельно для шестерни и колеса по формуле

$$[\sigma_F] = \sigma_{Flimb} [S_F],$$

где  $\sigma_{Flimb}$  - значение предела выносливости при отнулевом цикле изгиба, зависит от термической обработки, определяется по табл. 18.2.

Таблица 18.2. -Предел выносливости при изгибе

ТО (ХТО)	$\sigma_{Flimb}$ , МПа	$[S_F]'$
Нормализация, улучшение	1,8НВ	1,75
Объемная закалка	500-550	1,8
Поверхностная закалка		1,75
Цементация		1,55
Азотирование		1,75

Коэффициент безопасности  $[S_F] = [S_F]' \times [S_F]''$

$[S_F]'$  - учитывает нестабильность свойств материала (таблица 18.2)

$[S_F]''$  - учитывает способ получения заготовок:

для поковок и штамповок  $[S_F]'' = 1$ ;

для проката  $[S_F]'' = 1,25$ ;

для литья  $[S_F]'' = 1,3$ .

Для реверсируемых передач  $[\sigma_F]$  снижают на 25%.

Твёрдость материала выбирается в зависимости от марки стали и термической обработки по табл. 18.3.

Таблица 18.3.-Твёрдость материала

Марка стали	Размер сечения s, мм, не более	Твердость поверхности	Термообработка
		192...228НВ	Улучшение
		170...217НВ 192...240НВ 241...285НВ	Нормализация Улучшение «
		179...228НВ 228...255НВ	Нормализация Улучшение
40Х		230...260НВ 260...280 НВ 50...59HRC	« « Азотирование аа Азотирование
45Х	100 ...300 300 ...500	230...280 НВ 163...269 НВ 163...269 НВ 230...300 НВ	Улучшение « « «
30ХГС		250...260 НВ	Улучшение
40ХН	130...300	230 - 300 НВ $\geq$ 241НВ 48...54HRC	« « Закалка Закалка

35ХМ		241 НВ 269 НВ 45...53HRC	Улучшение « Закалка
40ХНМА		≥ 302НВ ≥ 217НВ	Улучшение «
35ХГСА		235 НВ 270 НВ 310НВ 46...53HRC	« « « Закалка
20Х		56...63HRC	Цементация
12ХНЗА		56...63HRC	«
25ХГТ	-	58...63HRC	«
38ХМЮА	-	57...67HRC	Азотирование

Таблица 18.4 -Варианты заданий для практической работы

Номер варианта	улучшение	закалка	цементация	азотирование	число циклов нагружения	тип передачи
1	40ХН	40ХН		40Х	2x10 <sup>5</sup>	реверсируемая
2	35ХМ	35ХМ	20Х		3x10 <sup>5</sup>	реверсируемая
3	35ХГСА	35ХГСА	12ХНЗА		4x10 <sup>5</sup>	реверсируемая
4	40ХН	40ХН	25ХГТ		5x10 <sup>5</sup>	реверсируемая
5	35ХМ	35ХМ		38ХМЮА	6x10 <sup>5</sup>	не реверсируемая
6	35ХГСА	35ХГСА	20Х		7x10 <sup>5</sup>	не реверсируемая
7	40ХН	40ХН	20Х		8x10 <sup>5</sup>	не реверсируемая
8	35ХГСА	35ХГСА		40Х	9x10 <sup>5</sup>	не реверсируемая
9	40ХН	40ХН	12ХНЗА		2x10 <sup>5</sup>	реверсируемая
10	35ХМ	35ХМ	12ХНЗА		3x10 <sup>5</sup>	реверсируемая

**Примечание.** При расчетах практической работы № 1 необходимо учесть, что в вариантах 1...5 заготовка выполнена штамповкой, в вариантах 6...10 - прокаткой.

**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

### Практическая работа № 19.

Подбор элементов передач по видам

**Цель:** обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;

## Задание:

Расчет привода начинают с составления кинематической схемы (если она не задана), определения общего к. п. д. и общего передаточного числа привода, выбора электродвигателя и распределения общего передаточного числа по отдельным ступеням редуктора и передачам привода, а также определения крутящих моментов и частот вращения валов. Исходными данными для расчета на начальном этапе являются: угловая скорость  $\omega_1$ (рад/с) или частота вращения  $n_1$ (мин<sup>-1</sup>) входного вала привода и мощность  $P_1$ (кВт) на этом валу. Выбор электродвигателя и кинематический расчет привода выполняются в следующей последовательности.

Определяют общий к. п. д. привода по формуле  $\eta_{\text{общ}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \dots \eta_n$ , где  $\eta_1, \eta_2, \eta_3 \dots \eta_n$  – к. п. д. отдельных передач, подшипников, муфт, входящих в привод и перечисленных в порядке от входного к выходному валу привода (ориентировочные значения к. п. д. приведены в табл. 19.1). В предварительных расчетах для нерасцепляемых механических муфт, например, упругих и компенсирующих, где имеются подвижные или легкодеформируемые элементы, к. п. д. можно принимать в пределах 0,98-0,99, для нерасцепляемых жестких – равным 1, а для фрикционных – 0,85-0,95. При наличии более точных данных значения подлежат корректировке.

Таблица 19.1

Тип передачи или устройства	К. п. д. передачи		Рекомендуемое передаточное число $u_{\text{рек}}$	Удельная масса передачи, кг/кВт
	закрытой	открытой		
Зубчатая цилиндрическая	0,96-0,980	0,93-0,95	2,5-6,3	18-0,4
Зубчатая коническая	0,95-0,97	0,91-0,93	2-4	25-0,6
Червячная передача при червяке:				
однозаходном	0,70-0,80	-	10-50	4,5
двухзаходном	0,75-0,85	-	10-50	4,5
четырёхзаходном	0,80-0,90	-	10-50	4,5
Цепная передача	0,95-0,97	0,92-0,95	1,5-4	10,0-6,0
Ременная передача	-	0,94-0,97	2-4	5,0-1,0
Фрикционная передача	0,90-0,96	0,70-0,80	1-6	30,0-8,0
Одна пара подшипников качения	0,99	-0,995	-	-
Одна пара подшипников скольжения	0,98	0,99	-	-

*Примечание. Большие значения удельной массы для передач до 10кВт, меньшие – свыше 10кВт.*

Если привод содержит передачи, передающие мощность параллельными потоками, например, раздвоенную зубчатую передачу или несколько клиновых ремней, то к. п. д. каждой такой передачи принимают по табл. и учитывают один раз. Выбор к. п. д. червячной передачи привода на начальной стадии расчета затруднен, т.к. неизвестно число заходов червяка  $z_1$ . Ориентиром служат обычно средние значения к. п. д. для червячных передач. Можно, например, принять к. п. д. для двухзаходного червяка, а при последующих расчетах принятое значение уточнить и, если необходимо, сделать перерасчет.

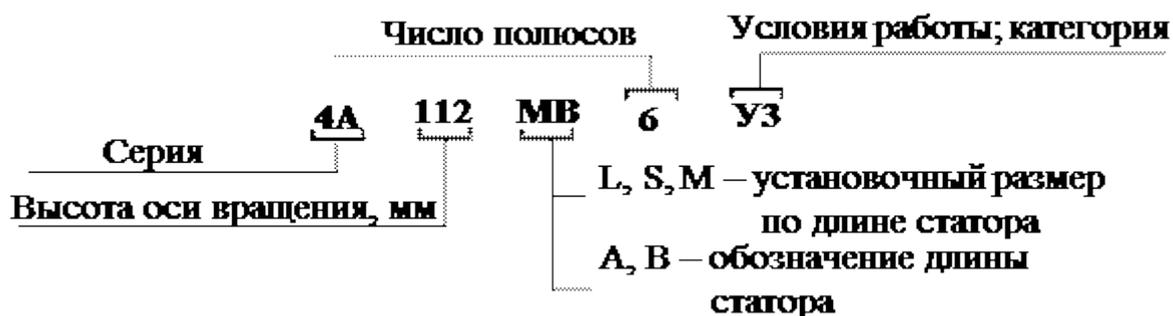
Производят подбор электродвигателя по потребной мощности  $P'_{дв}$ , которая может быть определена по мощности  $P_i$  на выходном валу привода:

$$P'_{дв} = P_i / \eta_{общ}$$

В приводах рекомендуется применять (при отсутствии каких-либо особых требований) экономичные асинхронные электродвигатели единых серий АИР, 4А или другие более эффективные. Некоторые основные параметры двигателей серий 4А, в том числе геометрические, можно найти в литературе. Если синхронная (номинальная) частота вращения электродвигателя установлена заданием, то его тип и мощность находят по потребной мощности  $P'_{дв}$  так, чтобы номинальная мощность превышала расчетную  $P_{дв} \geq P'_{дв}$ . Затем определяют фактическую (асинхронную) частоту вращения вала электродвигателя. Если задание не содержит сведений об электродвигателе, то для анализа следует отобрать несколько электродвигателей с различной частотой вращения, например, 3000, 1500, 1000, 750 мин<sup>-1</sup>. Для предварительного анализа отбирают лишь самые необходимые параметры. При выборе двигателей, кроме соблюдения основного условия  $P_{дв} \geq P'_{дв}$ , необходимо учитывать также характер нагрузки и кратность перегрузки механизмов привода в процессе пуска или работы. Эта информация обычно содержится в техническом задании на проектирование, например, в циклограмме нагружения или типовом режиме нагружения.

Электродвигатели должны иметь величины отношений  $T_{пуск} / T_{ном}$  и  $T_{мах} / T_{ном}$ , соответствующие характеру нагружения привода. При значительных пусковых нагрузках целесообразно применять двигатели с повышенным пусковым моментом, а при ударных нагрузках и частых реверсах – с повышенным скольжением. При необходимости в приводах могут быть применены двухскоростные двигатели, например, двигатели, с номинальными

частотами вращения 3000/1500, 750/1500, 1000/1500, 750/1000, 500/3000, 500/1000 об/мин. Двигатели серии 4А должны соответствовать требованиям ГОСТ 19523-74. Структура условного обозначения двигателей.



**Итог работы:** Студент сдает практическую работу преподавателю в установленный срок, отвечая на теоретические вопросы, поясняя ход выполнения практической работы.

## **4 ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

### **Основные:**

О-1. Кузьмина, Н. А. Техническая механика: учебное пособие / Н. А. Кузьмина. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2020. — 205 с.

О-2. Молотников, В. Я. Техническая механика: учебное пособие / В. Я. Молотников. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 476 с.

### **Дополнительные источники:**

Д-1. Аркуша, А.И. Руководство к решению задач по теоретической механике: учебное пособие /А.И. Аркуша. - М.: Высш.шк., 2000.—336с.

Д-2. Брадис, В.М. Четырехзначные математические таблицы : таблицы / В.М. Брадис. - М.: Просвещение, 2000.- 56с.

Д-3. Олофинская, В.П. Техническая механика.: учебное пособие / В.П. Олофинская. -М.: ИД "ФОРУМ"-ИНФРА-М, 2012.-352с.

Д-4. Сетков , В.И. Сборник задач по технической механике: учебное пособие / В.И. Сетков. -М.: Академия, 2010.-224 с.

Д-5. Эрдеди, А.А. Техническая механика: учебник / А.А. Эрдеди, Н.А.Эрдеди - М.: Академия, 2014.- 528 с.

### **Интернет-ресурсы:**

1. Кузьмина, Н. А. Техническая механика: учебное пособие / Н. А. Кузьмина. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2020. — 205 с. – ЭБС ЛАНЬ.

2. Молотников, В. Я. Техническая механика: учебное пособие / В. Я. Молотников. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 476 с. – ЭБС ЛАНЬ.

**5 ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ И ДОПОЛНЕНИЙ , ВНЕСЕННЫХ В  
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

<b>№ изменения, дата внесения, № страницы с изменением</b>	
<b>Было</b>	<b>Стало</b>
<b>Основание:</b>	
<b>Подпись лица, внесшего изменения</b>	