

Министерство образования и науки Челябинской области  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
**«Южно-Уральский государственный технический колледж»**

Методические рекомендации по выполнению  
практических работ  
по учебной дисциплине

**«Техническая механика»**

для специальности

15.02.14 Оснащение средствами автоматизации технологических процессов и  
производств (по отраслям)  
ФП «Профессионалитет»

Челябинск 2023 г.

## Акт согласования

методических рекомендаций по выполнению практических работ  
по дисциплине «Техническая механика»  
для студентов специальности 15.02.14 Оснащение средствами автоматизации  
технологических процессов и производств (по отраслям) ФП  
«Профессионалитет», разработанных преподавателем ЮУрГТК Шичкиной  
Г.Н., актуализированных преподавателем ЮУрГТК Птициной Т.С.

Представленные методические рекомендации составлены в соответствии с программой учебной дисциплины, разработанной на основании требований к результатам освоения основной образовательной программы и требований к умениям и знаниям по дисциплине «Техническая механика» по специальности 15.02.14 Оснащение средствами автоматизации технологических процессов и производств (по отраслям) ФП «Профессионалитет», определенными ФГОС СПО.

Рассматриваемые методические рекомендации предусматривают выполнение 15-ти практических работ (34 часа). Тематика практических работ охватывает следующие разделы дисциплины : «Теоретическая механика», «Сопротивление материалов», обеспечивает формирование умений, знаний по дисциплине (элементов компетенций выпускника), определяемые ФГОС по данной специальности. Содержание практических работ обеспечивает выполнение заданий второго уровня усвоения.

Методические рекомендации соответствуют уровню подготовки выпускника среднего профессионального образования, определяемые ФГОС и могут быть рекомендованы для использования в образовательном процессе по специальности 15.02.14 Оснащение средствами автоматизации технологических процессов и производств (по отраслям) ФП «Профессионалитет».

Директор ООО «Автоматика»



Осипов А. В.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические рекомендации по выполнению практических работ предназначены для студентов специальности 15.02.14 Оснащение средствами автоматизации технологических процессов и производств (по отраслям) ФП «Профессионалитет».

Практические работы являются важным элементом изучения учебной дисциплины. В результате выполнения практических работ студенты систематизируют и закрепляют теоретический материал, формируют элементы общих и профессиональных компетенций.

Рабочей программой учебной дисциплины предусмотрено выполнение практических работ в объеме 34 часов, направленных на формирование **элементов следующих компетенций:**

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

ОК 02. Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности;

ОК 03. Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие.

ПК 2.2. Осуществлять монтаж и наладку модели элементов систем автоматизации на основе разработанной технической документации

ЛР 4.Проявляющий и демонстрирующий уважение к людям,осознающий ценность собственного труда, стремящийся к формированию в сетевой среде личностного и профессионального конструктивного «цифрового следа».

ЛР 7. Осознающий приоритетную ценность личности человека, уважающий собственную и чужую уникальность в различных ситуациях во всех формах и видах деятельности.

**умений:**

-производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

- определять напряжения в конструкционных элементах.

**знаний:**

-основы технической механики;

- основы расчетов механических передач и простейших сборочных единиц общего назначения;

- методику расчета элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при различных видах деформации.

Все практические работы содержат наименование, цель, перечень элементов формируемых умений, знаний, краткий теоретический материал, ход выполнения работы, структуру отчета, контрольные вопросы (с целью выявления и устранения недочетов в освоении материала).

В практических работах приведены варианты индивидуальных заданий. Некоторые практические работы носят комплексный характер, т.е. результаты предыдущих практических работ являются исходными данными для выполнения последующих. В данных методических рекомендациях приведены работы, содержание которых предусматривает выполнение заданий второго уровня усвоения.

Отчеты студентов по практическим работам выполняются на листах формата А4 в соответствии со структурой отчетов, приведенными в методических рекомендациях.

### **Перечень практических работ**

№ работы	Тема практических работ	Кол-во часов
1	Определение реакций связей	2
2	Определение реакций опор балочных систем	4
3	Определение центра тяжести составного сечения	2
4	Определение параметров движения точки	2
5	Построение эпюр продольных сил и нормальных	2

	напряжений*	
6	Расчеты элементов конструкций на прочность и жесткость при растяжении (сжатии)	2
7	Выполнение расчетов шпоночных соединений на срез и смятие	2
8	Определение главных центральных моментов инерции составных сечений	2
9	Построение эпюры крутящего момента	2
10	Выполнение расчетов на прочность и жесткость при кручении	2
11	Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов.	4
12	Расчет на прочность при изгибе	2
13	Кинематический и динамический расчет многоступенчатого привода	2
14	Расчет ременной передачи	2
15	Расчет цилиндрической зубчатой передачи на контактную прочность	2
	<b>всего</b>	<b>34</b>

## Практическая работа №1

**Название практической работы:** Определение реакций связей.

**Цель:** освоение методики определения реакций связей стержневой системы.

**Умения (элементы):** – определять напряжения в конструкционных элементах (определять проекции сил на ось)

**Знания (актуализация):** - основных технической механики, производить расчеты простейших сборочных единиц (определение нагрузок в подшипниках).

### Теоретический материал

Система сил, линии действия которых лежат в одной плоскости и пересекаются в одной точке, называется плоской системой сходящихся сил.

Условие равновесия для данной системы сил в аналитической форме можно сформулировать следующим образом: *Плоская система сходящихся сил находится в равновесии, если равнодействующая сила системы равна нулю.*

Система уравнений равновесия плоской сходящейся системы сил:

$$\begin{cases} \sum_{k=0}^n F_{kx} = 0; \\ \sum_{k=0}^n F_{ky} = 0. \end{cases}$$

*Величина проекции силы на ось* равна произведению модуля силы на косинус острого угла между вектором силы и осью (рисунок 1;а). Проекция силы на ось имеет знак: *положительный при одинаковом направлении* вектора силы и оси и *отрицательный* при направлении вектора силы противоположно положительному направлению оси (рисунок 1;а)  $F_{1x} = F_1 \cos \alpha_1; F_{2x} = - F_2 \cos \beta_2$

Частные случаи определения проекции силы на ось:

1. если сила *параллельна* оси, то ее проекция на эту ось *равна величине вектора силы* (рисунок 1, в);  $F_{4x} = F_4$
2. если сила *перпендикулярна* оси, то ее проекция на эту ось *равна нулю* (рисунок 1, б);  $F_{3x} = 0$

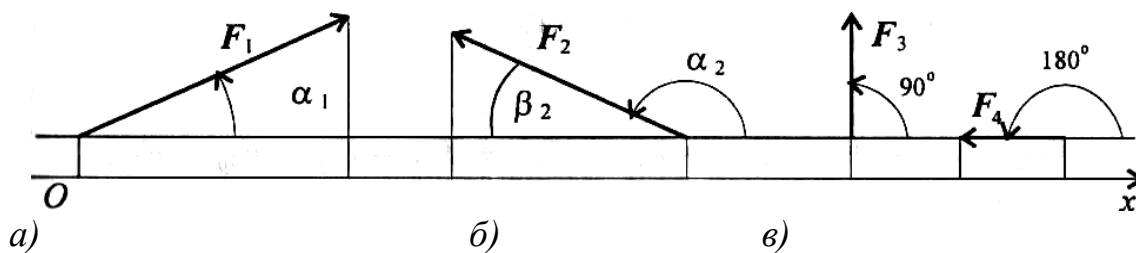


Рисунок 1 - Проекция силы на ось.

В данной практической работе, используя уравнения равновесия плоской системы сходящихся сил, требуется определить реакции двух шарнирно соединенных между собой стержней, удерживающих грузы.

**Пример.** Определить реакции стержней, удерживающих грузы

$F_1 = 70$  кН и  $F_2 = 100$  кН (рис. 2, а).

Решение.

I. Рассматриваем равновесие шарнира В (рис.1,а)

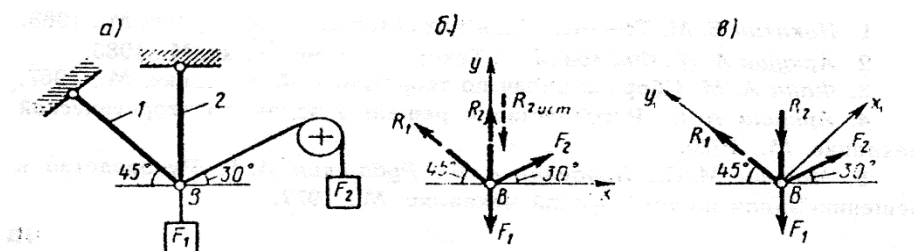


Рисунок 2 - Схема расчета к примеру

2. Освобождаем шарнир В от связей и изображаем действующие на него активные силы  $F_1$ ,  $F_2$ .

3. Заменяем связи их реакциями  $R_1$ ,  $R_2$

4. Выбираем систему координат, совместив ось у по направлению  $R_2$  (рис.2,б) и составляем уравнения равновесия для системы сил, действующих на шарнир В:

$$\sum F_{ix} = F_2 \cdot \cos 30^\circ - R_1 \cdot \cos 45^\circ = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_{iy} = -F_1 + F_2 \cdot \cos 60^\circ + R_2 + R_1 \cdot \cos 45^\circ = 0 \quad (2)$$

5. Определяем реакции стержней  $R_1$  и  $R_2$ , кН:

Из уравнения (1)

$$R_1 = \frac{F_2 \cdot \cos 30^\circ}{\cos 45^\circ} = \frac{100 \cdot 0,866}{0,707} = 122 \text{ кН}$$

Подставляя найденное значение  $R_1$  в уравнение (2), получаем

$$R_2 = F_1 - F_2 \cdot \sin 30^\circ - R_1 \cdot \sin 45^\circ = 70 - 100 \cdot 0,5 - 122 \cdot 0,707 = -66,6 \text{ кН}$$

Знак минус перед значением  $R_2$  указывает на то, что первоначально выбранное направление реакции неверно, следует направить реакцию  $R_2$  в противоположную сторону, т.е. к шарниру В (на рис. 2,б) (истинное направление реакции  $R_2$  показано штриховым вектором).

6. Проверяем правильность полученных результатов, выбрав новое расположение осей координат  $X_1, Y_1$  (рис. 2, в). Относительно этих осей составляем уравнения равновесия:  $\Sigma F_{ix1} = -R_2 \cdot \cos 45^\circ + F_2 \cdot \cos 15^\circ - F_1 \cdot \cos 45^\circ = 0$ , (3)

$$\Sigma F_{iy1} = R_1 - F_1 \cdot \cos 45^\circ - R_2 \cdot \cos 45^\circ - F_2 \cdot \cos 75^\circ = 0. \quad (4)$$

Из уравнения (3) находим

$$R_2 = \frac{F_2 \cdot \cos 15^\circ - F_1 \cdot \cos 45^\circ}{\cos 45^\circ} = \frac{100 \cdot 0,965 - 70 \cdot 0,707}{0,707} = 66,6 \text{ кН}$$

Подставляя найденное значение  $R_2$  в уравнение (4), получаем

$$R_1 = 70 \cdot 0,707 + 66,6 \cdot 0,707 + 100 \cdot 0,258 = 122 \text{ кН}$$

Значения реакций  $R_1$  и  $R_2$ , полученные при решении уравнений (1) и (2), совпадают по величине и направлению со значениями, найденными из уравнений (3) и (4), следовательно, задача решена правильно.

**Задание:** Определить реакции стержней (рисунок 3).

Ход выполнения работы

1. Определить исходные данные для работы, в соответствие со своим вариантом (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные к практической работе.



№ варианта	№ схемы	F <sub>1</sub> кН	F <sub>2</sub> кН	№ варианта	№ схемы	F <sub>1</sub> кН	F <sub>2</sub> кН
1	2	3	4	14	2	3	4
2	1	2	3	15	4	20	22
3	2	4	5	16	5	2	4
4	3	6	7	17	6	5	6
5	4	8	9	18	7	8	4
6	5	10	11	19	8	12	15
7	6	20	30	20	4	2	3
8	7	22	24	21	7	4	5
9	8	8	10	22	1	7	8
10	4	5	6	23	2	12	10
11	6	4	7	24	3	6	8
12	1	10	12	25	4	2	5
13	2	8	10	26	5	3	5

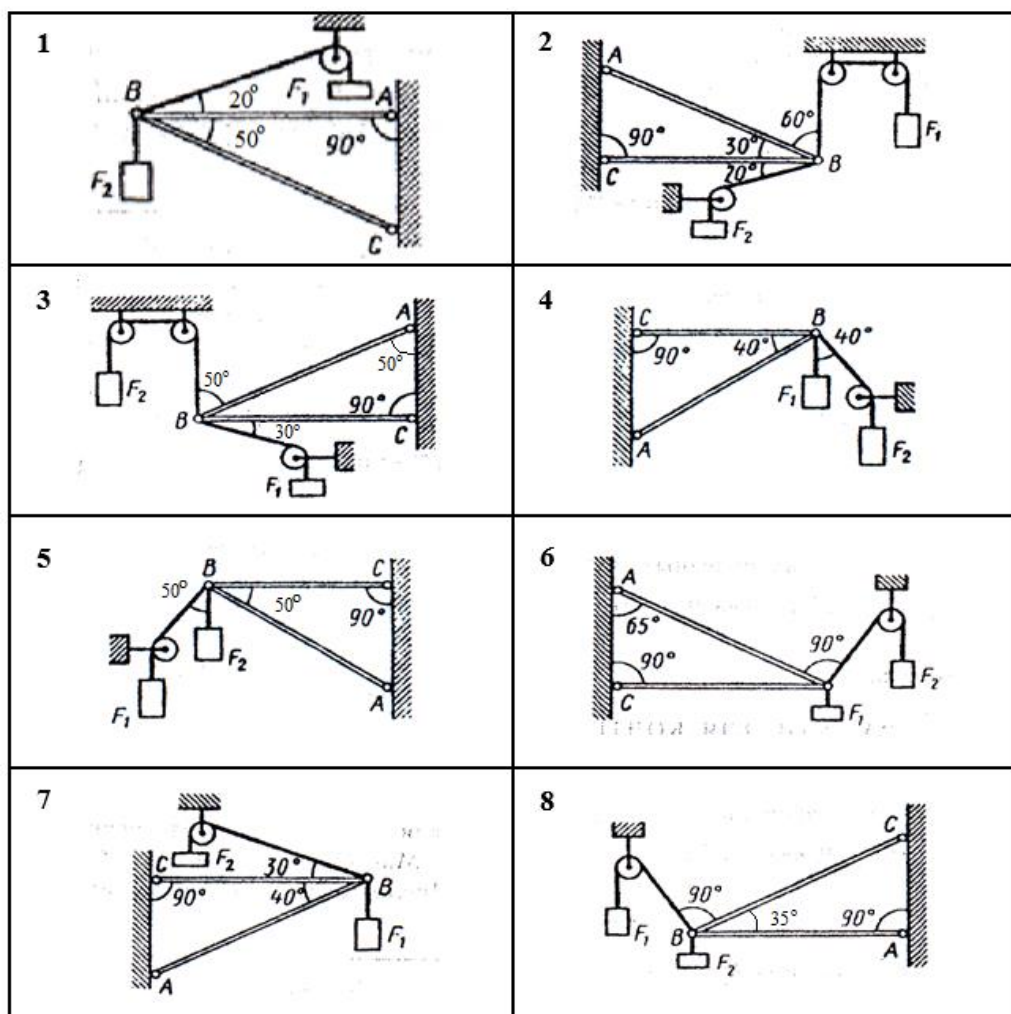


Рисунок 3 - Схемы нагружения стержней к практической работе №1

2. Выбрать тело (точку), равновесие которого следует рассматривать.
3. Освободить тело от связей и изобразить действующие на него активные силы и реакции отброшенных связей.
4. Выбрать оси координат и составить уравнения равновесия, используя уравнения равновесия системы сходящихся сил.
5. Определить реакции стержней из решения указанной системы уравнений.
6. Проверить правильность полученных результатов
7. Сделать вывод по работе.
8. Ответить на контрольные вопросы:
  - 1). Запишите формулы для определения проекции силы на ось.
  - 2). При каких условиях проекция силы на ось будет равна нулю? величине силы?
  - 3). Сформулируйте условное правило знаков проекции силы на ось.
  - 4). Запишите условие и уравнения равновесия плоской сходящейся системы сил.

### **Структура отчета по практической работе**

1. Номер и название практической работы
2. Цель:
3. Задание:
4. Схема нагружения.
5. Расчетная схема.
6. Уравнения равновесия.
7. Проверка правильности решения.
8. Ответ.
9. Вывод по работе.
10. Ответы на контрольные вопросы.

### **Практическая работа №2.**

**Название практической работы:** Определение реакций опор балочных систем.

**Цель:** Формирование умений выполнять расчет реакций связей 2-х опорной и консольной балок.

**Умения:** определять напряжения в конструктивных элементах (определение нагрузок в опорах балочных систем);

- производить расчеты простейших сборочных единиц (определение нагрузок в подшипниках).

**Знания (актуализация):** - основы технической механики (уравнения равновесия статики для плоской произвольной системы сил, формулы для определения проекции силы на ось и момента силы относительно точки).

### Теоретический материал

Балка- деталь, выполненная в виде прямолинейного бруса с одной опорой (жесткая заделка, рис.1в ) или двумя шарнирными опорами: шарнирно подвижной (рис.1б), и шарнирно неподвижной(рис1а).

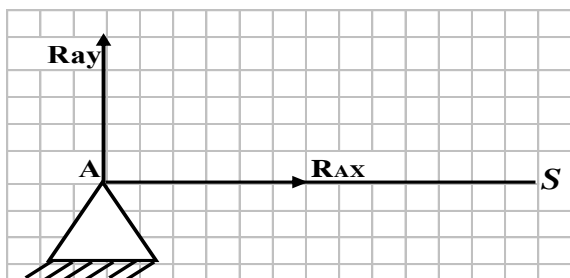


Рисунок 1а - Шарнирно-неподвижная опора

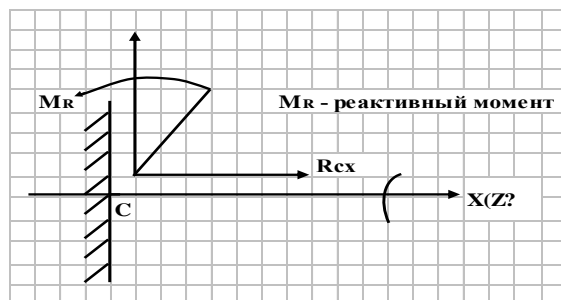


Рисунок 1в - Жесткая заделка

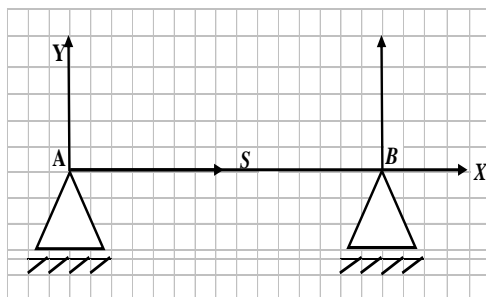


Рисунок1б - Шарнирно-подвижная опора

Внешние силы (нагрузки), действующие на балку (рис.3):

а) F- сосредоточенная сила, приложенная в (·) D (рис. 3);

б) m- сосредоточенный момент пары сил в (·) C (рис.3) ;

в) равномерно распределенная нагрузка, интенсивностью q на участке СВ;  
при решении задач эту нагрузку заменяют равнодействующей  $F_q$ , имеющей направление нагрузки, приложенной посередине длины действия нагрузки  $F_q = q \cdot \ell$  (рис2);

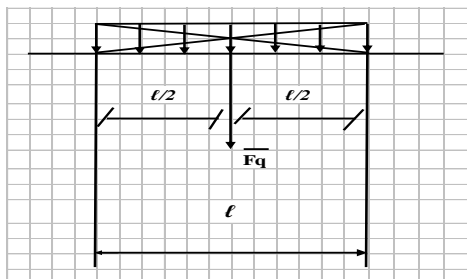


Рисунок 2 - Равномерно распределенная

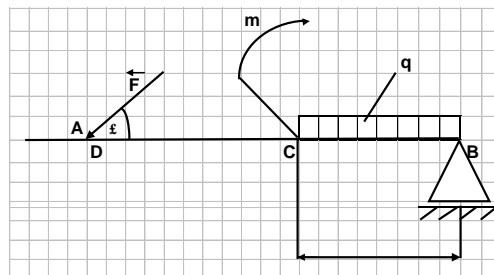


Рисунок 3 - Нагрузка, действующая на балку

Силу F, приложенную под углом к оси балки, при решении задач необходимо разложить на 2 взаимно перпендикулярные составляющие:

$$F_x = F \cdot \cos\alpha; \quad F_y = F \cdot \cos\beta \text{ (рис.4)}$$

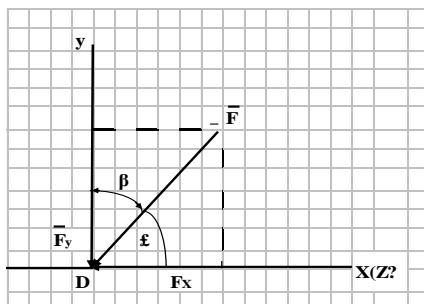


Рисунок 4 - Разложение силы на составляющие

В задачах, предложенных в данной практической работе, на балку действует плоская произвольно расположенная система сил (активных и реактивных). Для определения реакций опор необходимо составить уравнения равновесия.

Возможны для плоской произвольной системы сил три формы уравнений равновесия:

	$\sum F_{kx} = 0$		$\sum M_a(\overline{F_k}) = 0$		$\sum M_a(\overline{F_k}) = 0$
1 форма:	$\sum F_{ky} = 0$	2 форма:	$\sum M_b(\overline{F_k}) = 0$	3 форма:	$\sum M_b(\overline{F_k}) = 0$
	$\sum M_a(\overline{F_k}) = 0$		$\sum F_{kx} = 0$		$\sum M_c(\overline{F_k}) = 0$

Для решения задач в практической работе рекомендуется 2 –ая форма уравнений равновесия. Для составления уравнений равновесия необходимо уметь определять проекцию силы на оси координат.

Проекция силы на ось равна произведению величины силы (модуля) на косинус *острого* угла между направлением силы и направлением оси.

Частные случаи определения проекции силы на ось:

- a) если  $F \parallel X$ , то  $F_x = F$ ;
- b) если  $F \perp X$  то  $F_x = 0$ .

Условное правило знаков проекции силы на ось:

-проекция (+), если направление силы совпадает с положительным направлением оси; проекция (-), если направление силы и оси противоположны.

Момент силы относительно точки равен произведению величины силы на плечо:

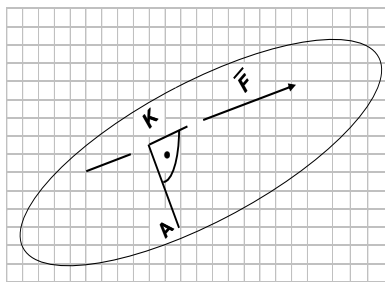
$$M_A(F) = F \cdot /AK/ \quad (\text{рисунок 5}),$$

где  $AK$  – *плечо силы* – кратчайшее расстояние от (·)  $A$  до линии действия силы.

Правило знаков момента силы относительно точки:

момент силы (+), если  $F$  стремится повернуть тело по часовой стрелке.

момент силы ( - ) , если против часовой стрелки вокруг точки  $A$ .



Частный случай:  $M_K(F) = 0$ , если линия действия силы проходит через точку  $K$ .

Рисунок 5 - Вращательное действие силы  $F$  вокруг точки  $A$ .

3. Рассмотрим несколько примеров.

### 3.1 Пример №1.

Определить опорные реакции двух опорной балки (рисунок 7)

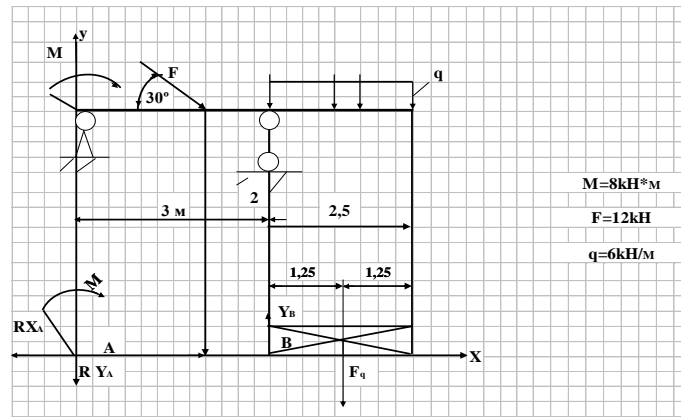


Рисунок 6 - Расчетная схема к примеру 1.

3.1.1. Замена равномерно-распределенной нагрузки сосредоточенной силой  $F_q$ .

$$F_q = q \cdot l = 6 \cdot 2.5 = 15 (\text{кН})$$

3.1.2. Разложение наклонной силы  $F$  на две составляющие:

$$F_x = F \cdot \cos 30^\circ = 12 \cdot 0.86 = 10.32 (\text{кН})$$

$$F_y = F \cdot \sin 30^\circ = 12 \cdot 0.5 = 6 (\text{кН})$$

3.1.3. Выбор положения прямоугольной системы координат.

3.1.4. Обозначение характерных точек.

3.1.5. Замена связи их реакциями.

3.1.6. Составление уравнений равновесия.

$$\sum F_{kx} = -R_{xa} + F_x = 0$$

$$\sum M_A = M + F_y \cdot AC - R_{yb} \cdot AB + F_q \cdot AD = 0$$

$$\sum M_B = M + R_{ya} \cdot AB - F_y \cdot CB + F_q \cdot BD = 0$$

3.1.7. Вычисление опорных реакций.

$$R_{xa} = F_x = 10.32 \text{ кН}$$

$R_{yb} =$	$M + F_y \cdot AC + F_q \cdot AD =$	$8 + 6 \cdot 3 + 15 \cdot 6.25 =$	$23.95 \text{ кН}$
	$AB$	$5$	

$R_{ya} =$	$F_y \cdot CB - M - F_q \cdot BD =$	$6 \cdot 2 - 8 - 15 \cdot 1.25 =$	$-2.95 \text{ кН}$
	$AB$	$5$	

Если полученная реакция имеет знак ( - ), то следует сменить направление опорной реакции на противоположное.

3.1.8. Проверка: доказать, что  $\sum F_{ky} = 0$

$$\sum F_{kx} = R_{ya} - F_y + R_{yB} - F_q = -2,95 - 6 + 23,95 - 15 = 23,95 - 23,95 = 0$$

Вывод: решение верно.

3.1.9. Ответ:  $R_{xA} = 10,32 \text{ кН}$ ;  $R_{yA} = 2,95 \text{ кН}$ ;  $R_{yB} = 23,95 \text{ кН}$

### 3.2. Пример №2.

Определить опорные реакции жестко защемленной балки. Требуется

определить:  $R_{yA}$ ,  $R_{xA}$ ,  $M_R$  (рисунок 8)

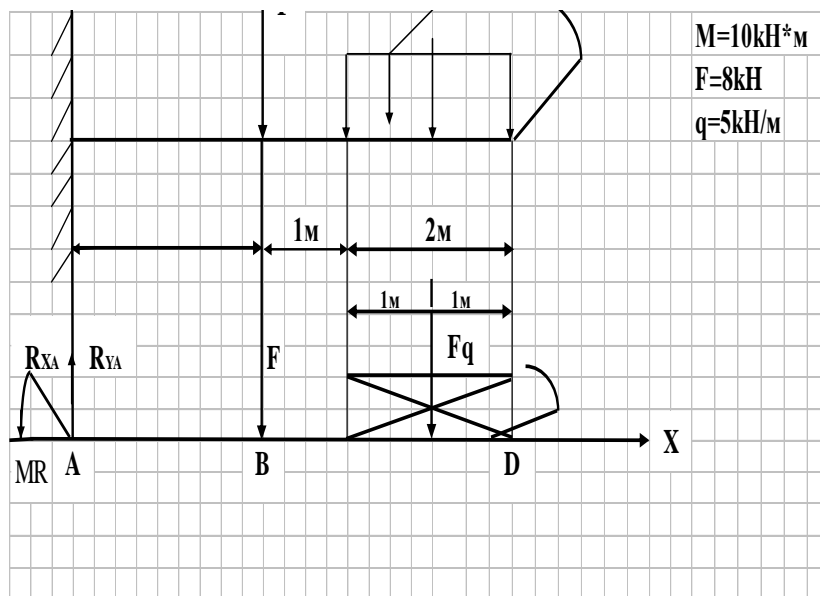


Рисунок 7- Расчетная схема к примеру 2.

3.2.1. Замена равномерно – распределенной нагрузки силой  $F_q$

$$F_q = q \cdot \ell = 5 \cdot 2 = 10 \text{ кН}$$

3.2.2. Выбор положения прямоугольной системы координат.

3.2.3. Замена связи реакциями связей  $R_{yA}$ ,  $R_{xA}$ ,  $M_R$

3.2.4. Составление уравнений равновесия.

$$\sum F_{kx} = R_{xA} = 0$$

$$\sum F_{ky} = R_{yA} - F - F_q = 0$$

$$\sum M_A = M_R + F \cdot AB + F_q \cdot AC - M = 0$$

3.2.5. Вычисление опорных реакций.

$$R_{xA} = 0$$

$$R_{yA} = F + F_q = 8 + 10 = 18 \text{ кН}$$

$$M_R = F \cdot AB + F_q \cdot AC - M = 8 \cdot 2 + 10 \cdot 4 - 10 = 46 \text{ кН}$$

3.2.6. Проверка: доказать, что  $\sum M_B = 0$

$$\Sigma M_B = -M_R + R_{YA} \cdot AB + Fq \cdot BC - M = -46 + 18 \cdot 2 + 10 \cdot 2 - 10 = 56 - 56 = 0 \text{ Вывод:}$$

решение верно

$$3.2.7. \text{Ответ: } R_{XA} = 0; \quad R_{YA} = 18 \text{ кН}; \quad M_R = 46 \text{ кНм}$$

**Задание к практической работе:** Определить реакции связей балок, нагруженных плоской системой произвольно расположенных сил, приведенных на рисунке 8.

### Ход выполнения работы

1. Определить исходные данные для работы, в соответствие со своим вариантом (таблица 1).

Таблица 1 - Исходные данные к задачам № 1,2

№ варианта	№ схемы	F <sub>1</sub> , кН	F <sub>2</sub> , кН	F <sub>3</sub> , кН	M <sub>1</sub> , кНм	M <sub>2</sub> , кНм
1	1	4	15	10	3	15
2	2	6	10	8	6	18
3	3	8	6	11	7	20
4	4	10	9	17	8	2
5	5	12	14	24	9	6
6	6	15	17	28	10	15
7	7	16	20	3	11	12
8	8	19	4	15	12	7
9	9	20	30	25	13	9
10	10	25	32	13	14	10
11	1	6	25	6	2	15
12	2	32	10	7	4	6
13	3	35	12	8	6	12
14	4	20	18	9	18	5
15	5	14	10	12	8	7
16	6	15	9	7	10	11
17	7	7	6	19	12	10
18	8	3	11	20	15	5
19	9	5	9	2	9	6
20	10	16	20	24	10	9
21	1	3	5	6	4	25
22	2	7	13	8	10	4
23	3	12	10	32	5	7
24	4	9	14	28	13	6
25	5	25	18	23	11	9
26	6	20	16	24	10	5



1		
2		
3		
4		
5		

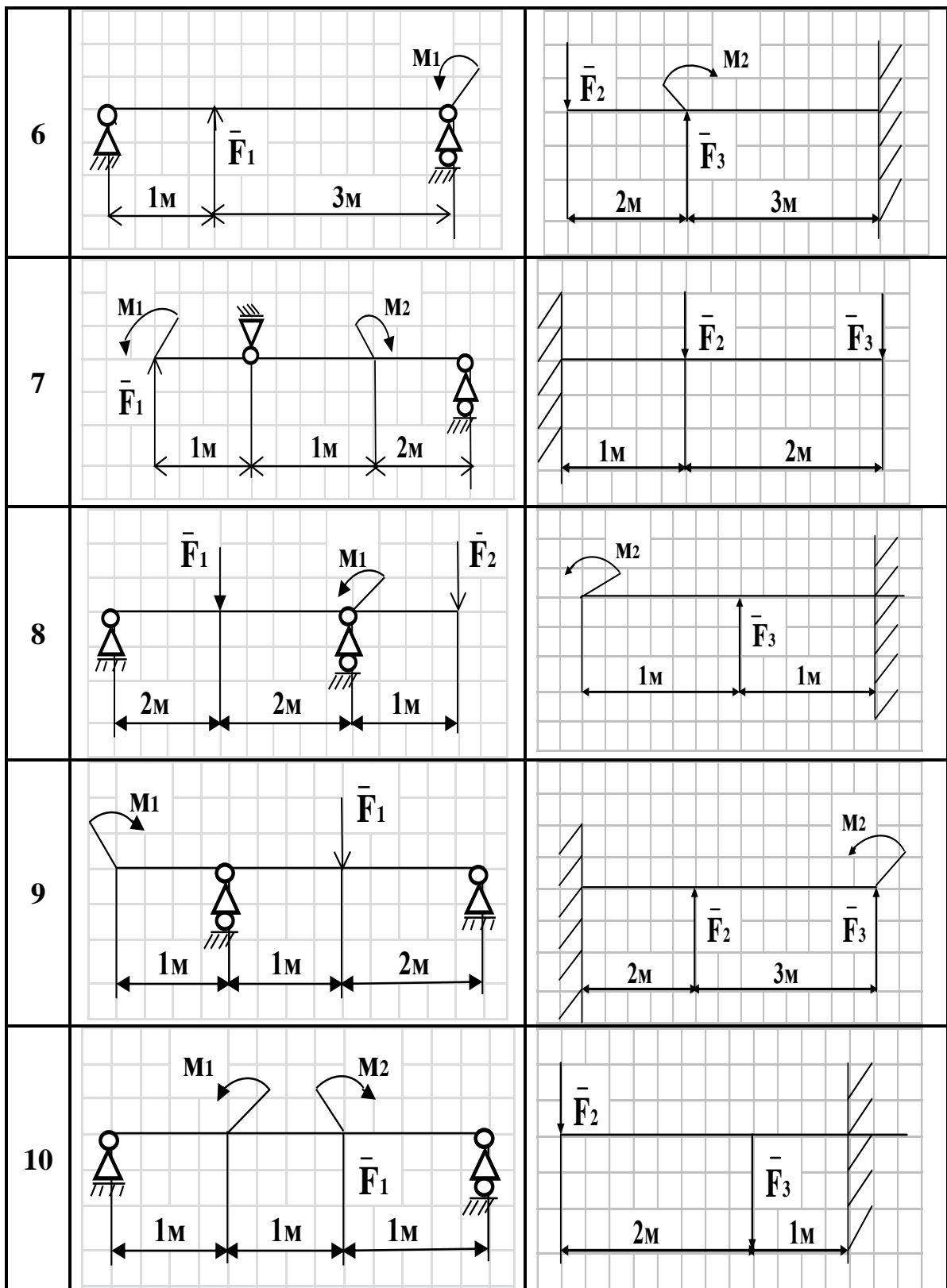


Рисунок 8 - Схемы нагружения к задачам № 1.2

2.Изобразить балку с заданными нагрузками с указанием их модулей в соответствии с вариантом.

3.Составить расчетную схему:

- 3.1. Выбрать оси координат  $x$  и  $y$ , совместив ось  $x$  с балкой, а ось  $y$  перпендикулярно оси  $x$ .
- 3.2. Равномерно распределенную нагрузку заменить ее равнодействующей  $F_q$ .
- 3.3. Освободить балку от опор и заменить их реакциями связей.
4. Составить уравнения равновесия статики для произвольной системы сил так, чтобы в каждом из уравнений была одна неизвестная реакция связи.
5. Проверить правильность определения реакций опор уравнениями равновесия, которые не использовались для решения задачи.
6. Сформулировать вывод по работе.
7. Ответить на контрольные вопросы:
  - 1). Запишите уравнения равновесия для плоской произвольной системы сил.
  - 2). Запишите формулу для определения момента силы относительно точки.
  - 3). При каком условии момент силы относительно точки будет равен нулю?
  - 4). Сформулируйте условное правило знаков момента силы относительно точки.

### **Структура отчета по практической работе:.**

1. Номер и название практической работы
2. Цель:
3. Задание к практической работе.
4. Задача №1
  - 4.1. Схема нагружения с указанием модулей приложенных нагрузок.
  - 4.2. Расчетная схема
  - 4.3. Уравнения равновесия
  - 4.4 Проверка правильности решения
  - 4.5. Ответ
5. Задача №2
  - 5.1. Схема нагружения с указанием модулей приложенных нагрузок.
  - 5.2. Расчетная схема
  - 5.3. Уравнения равновесия

5.4 Проверка правильности решения

5.5. Ответ

6. Вывод по работе

7. Ответы на контрольные вопросы.

### Практическая работа №3.

**Название практической работы:** Определение центра тяжести составного сечения.

**Цель:** Освоение методики аналитического определения положения центра тяжести составных плоских фигур.

**Умения (элементы):** - определять напряжения в конструкционных элементах;

**Знания(актуализация):** - основы технической механики.

#### Теоретический материал.

Центр тяжести - это материальная точка тела, к которой приложены силы тяжести тела. Он может лежать в точке, где нет материальных частиц, принадлежащих данному телу.

При определении положения центра тяжести аналитическим методом исходят из того, что любую составную плоскую фигуру можно разбить на простейшие геометрические фигуры положение центра тяжести которых можно определить следующим образом:

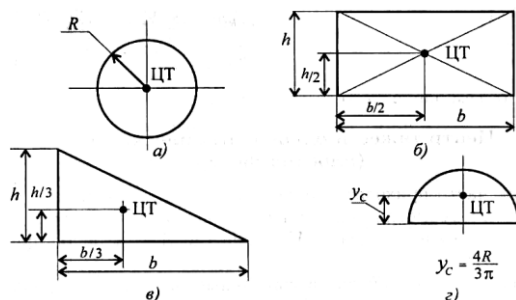


Рисунок 1 - Положение центра тяжести геометрических фигур

При решении задач используются следующие положения:

- центр тяжести симметричных фигур находится на оси симметрии;
- сложные сечения разделяются на простейшие геометрические фигуры, положение центра тяжести которых известны;
- пустотные фигуры рассматриваются как часть сечения с отрицательной площадью.

**Задание к практической работе:** Определить координаты центра тяжести плоской фигуры (рисунок 2).

### Ход выполнения работы.

1.Определить исходные данные для работы, в соответствие со своим вариантом (таблица 1).

Таблица1 - Исходные данные к практической работе №5

вариант	схема	параметры				
		B,мм	b,мм	H,мм	h,мм	R, мм
1	а	70	40	80	-	20
2	б	80	50	90	-	25
3	в	90	60	100	-	30
4	г	100	70	110	-	35
5	д	110	90	120	50	40
6	е	120	90	130	100	45
7	а	130	100	140	-	50
8	б	140	110	150	-	60
9	в	150	100	160	-	50
10	г	160	110	170	-	40
11	д	170	110	180	120	35
12	е	180	120	190	130	30
13	а	190	100	200	-	25
14	б	200	140	190	-	20
15	в	210	150	180	-	25
16	г	220	160	170	-	30
17	д	230	170	160	110	35
18	е	240	180	150	90	40
19	а	250	190	140	-	35
20	б	260	200	130	-	30
21	в	100	70	120	-	25
22	г	120	90	110	-	20
23	д	130	70	100	60	30
24	е	140	80	90	60	35
25	а	230	170	80	-	40
26	б	250	190	70	-	50

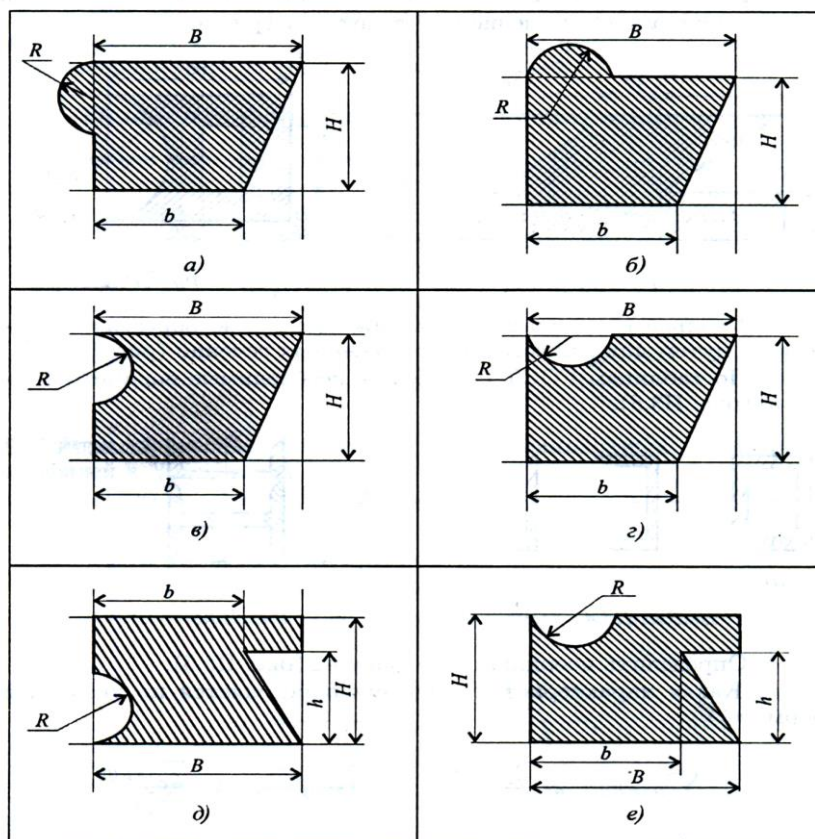


Рисунок 2 - Эскизы плоских фигур

2. Вычертить эскиз фигуры в соответствии с заданием.

3. Разбить фигуру на простейшие геометрические; показать положение центра тяжести каждой фигуры.

4. Определить площади простейших фигур.

5. Определить координаты центров тяжести полученных фигур относительно выбранной системы координат  $XOY$ .

6. Определить координату  $x_c$  центра тяжести всей фигуры:

$$x_c = \sum A_i x_i / \sum A_i$$

7. Определить координату  $y_c$  центра тяжести всей фигуры:

$$y_c = \sum A_i y_i / \sum A_i$$

8. Указать положение центра тяжести всей фигуры на эскизе.

9. Сформулировать вывод по работе.

10. Ответить на контрольные вопросы:

1) Сформулировать понятие «центр тяжести плоской фигуры».

- 2). Указать положение центра тяжести простейших геометрических фигур:  
-прямоугольника;  
-круга;  
-полукруга;  
-прямоугольного треугольника.
- 3). Как изменятся координаты центра тяжести плоской фигуры  $x_c$ ,  $y_c$  если увеличить высоту фигуры при заданном положении системы координат?

### **Структура отчёта по практической работе**

1. Номер и название практической работы.
2. Цель.
3. Задание к практической работе.
4. Эскиз фигуры с указанием размеров в соответствии с вариантом.
5. Разбивка составной фигуры на простейшие:
6. Определение площадей простейших фигур:
7. Определение координат центра тяжести простейших фигур относительно выбранной системы координат:
8. Определение координаты  $X_c$  центра тяжести всей фигуры
9. Определение координаты  $Y_c$  центра тяжести всей фигуры
- 10.. Вывод по работе.
11. Ответы на контрольные вопросы.

### **Практическая работа №4.**

**Название практической работы:** Определение параметров движения точки.

**Цель:** формирование умений определения кинематических параметров точек вращающегося и поступательно движущегося твердого тела.

**Умения:** (элементы) – производить расчеты механических передач.

**Знания:** (актуализация)-основы технической механики.

### **Теоретический материал.**

К простейшим движениям твердого тела относятся поступательное и вращательное движение вокруг неподвижной оси. При поступательном движении твердого тела все его точки имеют равные кинематические параметры. *Поступательное* движение может описываться законом  $S = f(t)$ . Мгновенная скорость поступательного движения  $V = S'(t)$ ; ускорение  $a = V'(t)$ .

При *вращательном* движении вокруг неподвижной оси все точки твердого тела движутся по окружностям с радиусом, равным расстоянию от точки до оси вращения, в плоскостях, перпендикулярных оси вращения. Вращательное движение описывается законом  $\varphi = f(t)$  и характеризуется следующими параметрами:

-  $\varphi$  - *угловое перемещение* - угол, на который поворачивается твердое тело вокруг неподвижной оси;  $\varphi$ , радиан, градус, оборот;

-  $\omega$  - *угловая скорость* характеризует быстроту и направления вращательного движения твердого тела;  $\omega$ ,  $\text{с}^{-1}$ ; в случае задания движения функцией  $\varphi = f(t)$ , угловая скорость определяется первой производной от угла поворота по времени, т.е.  $\omega = \varphi'(t)$ ;

-  $n$  - *частота вращения* - скоростная характеристика;  $n$ ,  $\text{мин}^{-1}$ ,

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

-  $\varepsilon$  - *угловое ускорение* характеризует быстроту изменения угловой скорости в единицу времени;  $\varepsilon$ ,  $\text{с}^{-2}$ ; в случае задания движения функцией  $\varphi = f(t)$ , то угловое ускорение определяется как вторая производная от углового перемещения по времени или как первая производная от угловой скорости по времени, т.е.:  $\varepsilon = \varphi''(t)$  или  $\varepsilon = \omega'(t)$ ; угловое ускорение имеет направление угловой скорости в случае ускоренного движения и противоположно угловой скорости в случае замедленного вращения.

Все точки вращающегося твердого тела характеризуются следующими кинематическими параметрами:

- *линейной скоростью*  $V$ , направленной по касательной к окружности:

$$V = \omega \cdot R, \text{ м/с}$$



-касательным ускорением  $a_\tau$ , характеризующим изменение величины вектора скорости в единицу времени и направленным по касательной к траектории:

$$a_\tau = \varepsilon \cdot R, \text{ м/с}^2$$

- нормальным ускорением  $a_n$ , характеризующим изменение направления вектора скорости в единицу времени и направленным по радиусу к центру кривизны траектории:

$$a_n = \frac{V^2}{R}, \text{ м/с}^2;$$

-полным ускорением  $a$ , определяемым векторной суммой касательного и нормального ускорений:

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = R \cdot \sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}$$

**Задание к практической работе:** При запуске двигателя его шкив, диаметром  $d$ , в течение первых нескольких секунд вращается согласно уравнению  $\varphi = f(t)$ . Определить скорости и ускорения точек, расположенных на ободе шкива, в момент времени  $t$ . Изобразить на схеме кинематические параметры вращательного движения шкива и точек, расположенных на его ободе.

### Ход выполнения работы.

1.Определить исходные данные для задания 1, в соответствие со своим вариантом (таблица 1).

Таблица 1 - Исходные данные к заданию №1.

№ варианта	d,мм	$\varphi = f(t)$	t,с	№ варианта	d,мм	$\varphi = f(t)$	t,с
<b>1</b>	200	$0.2t^3$	3	<b>13</b>	120	$0.4t^3$	5
<b>2</b>	140	$0.6t^3$	4	<b>14</b>	130	$0.8t^3$	6
<b>3</b>	150	$0.9t^3$	5	<b>15</b>	140	$0.5t^3$	4
<b>4</b>	160	$0.2t^3+3$	6	<b>16</b>	150	$0.2t^3+8$	3
<b>5</b>	170	$0.4t^3$	7	<b>17</b>	160	$1.2t^3$	7
<b>6</b>	180	$0.2t^3+4t$	8	<b>18</b>	170	$0.3t^3+2t$	8
<b>7</b>	190	$2.2t^3$	9	<b>19</b>	180	$3.2t^3$	9
<b>8</b>	200	$0.5t^3+3t$	2	<b>20</b>	190	$4.2t^3-6$	10
<b>9</b>	230	$0.2t^3-2$	10	<b>21</b>	200	$0.2t^3+2t$	4
<b>10</b>	220	$4.2t^3$	5	<b>22</b>	150	$0.6t^3-5$	6
<b>11</b>	210	$2t^3+4$	7	<b>23</b>	160	$2t^3$	3
<b>12</b>	160	$0.7t^3$	6	<b>24</b>	140	$5.2t^3$	7

2. Определить угловую скорость.
3. Определить угловое ускорение.
4. Определить линейную скорость точек, расположенных на ободе шкива.
5. Определить величину касательного ускорения.
6. Определить величину нормального ускорения.
7. Определить величину полного ускорения.
8. Вычертить схему изображения кинематических параметров движения

твёрдого тела и его точек.

9. Сформулировать вывод по работе

10. Ответить на контрольные вопросы.:

- 1). Назовите кинематический параметр, характеризующий быстроту и направление поступательного движения?
- 2). Какой параметр характеризует изменение величины вектора скорости точки в единицу времени?
- 3). Назовите кинематический параметр, характеризующий быстроту изменения угловой скорости в единицу времени.
- 4). При каком движении угловое ускорение противоположно угловой скорости?
- 5). Какими кинематическими параметрами характеризуется поступательное движение?

### **Структура отчета по практической работе.**

1. Номер и название практической работы
2. Цель:
3. Задание:
  - 3.1. Исходные данные.
  - 3.2. Определение угловой скорости.
  - 3.3. Определение углового ускорения.
  - 3.4. Определение касательного ускорения.
  - 3.5. Определение нормального ускорения
  - 3.6. Определение полного ускорения.

3.7.Схема кинематических параметров.

3.8.Ответ.

4.Вывод по работе.

5.Ответы на контрольные вопросы.

## **Практическая работа №6.**

### **Построение эпюр продольных сил и нормальных напряжений.**

#### **Определение абсолютного удлинения бруса.**

**Цель :** освоение методики построения эпюр продольных сил и нормальных напряжений и определения абсолютного удлинения бруса.

**Умения (элементы):** определять напряжения в конструктивных элементах

**Знания:** (элементы) методика расчета элементов конструкций на прочность и жесткость (продольная сила, формулы для определения продольных сил, нормальных напряжений и абсолютных удлинений, правила построения эпюр)

#### **Теоретический материал.**

Внешние силы, вызывающие растяжение (сжатие), приложены вдоль продольной оси  $Z$ . При работе бруса на растяжение (сжатие) в его поперечном сечении возникает продольная сила  $N$ . *Продольная сила в любом поперечном сечении численно равна алгебраической сумме проекций на его продольную ось всех приложенных к оставшейся части внешних сил.* 
$$N = \sum F_{iZ \text{ ост.ч.}}$$

*Правило знаков для  $N$ :* при растяжении продольная сила положительная, при сжатии – отрицательная.

*Эпюра продольных сил* – график распределения продольных сил вдоль длины бруса.

*Правила построения эпюры продольных сил Э $N$ :*

1.Проводится базовая (нулевая) линия эпюры параллельно продольной оси бруса.

2.Базовая линия эпюры разбивается на участки. Границами участков являются точки приложения внешних нагрузок. Участки нумеруются *от свободного конца*.

3.Определяется величина продольной силы на каждом участке с использованием метода сечений.

4.Перпендикулярно базовой линии откладываются полученные значения продольных сил в произвольном масштабе. Через концы ординат проводятся прямые линии, проставляются знаки и выполняется штриховка перпендикулярно базовой линии.

Интенсивность распределения продольной силы по поперечному сечению характеризуют *нормальные напряжения*:  $\sigma = \frac{N}{A}$  (A – площадь поперечного сечения).

*Эпюра нормальных напряжений*- график распределения нормальных напряжений по длине бруса.

*Правила построения эпюры нормальных напряжений Эσ:*

1.Проводится базовая (нулевая) линия эпюры параллельно продольной оси бруса.

2.Границы участков эпюры определяются точками приложения внешних сил и точками изменения поперечного сечения.

3.Определяются значения напряжений на каждом из полученных участков. Знак Эσ соответствует знаку Э N.

4.Перпендикулярно базовой линии откладываются полученные значения продольных сил в произвольном масштабе. Через концы ординат проводятся прямые линии, проставляются знаки и выполняется штриховка перпендикулярно базовой линии.

Изменение длины бруса на отдельных участках определяется по формуле:

$$\Delta \ell_1 = \frac{\sigma_1 \cdot \ell_1}{E},$$

где E –модуль продольной упругости, характеризующий жесткость материала при растяжении.

Удлинение всего бруса определяется алгебраической суммой удлинений отдельных участков:  $\Delta l = \sum \Delta l_i$

**Пример:** Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений, Определить удлинение свободного конца, если  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ н/мм}^2$ .

1. Определение величины продольных сил на каждом участке:

$$N_1 = 0; \quad N_2 = 30 \text{ кН};$$

$$N_3 = 30 - 38 = -8 \text{ (кН)};$$

$$N_4 = 30 - 38 - 42 = -50 \text{ (кН)}$$

2. Построение ЭН по найденным значениям продольных сил.

3. Определить величины  $F_i = 30 \text{ кН}$  напряжений на каждом участке и построение Эσ.



Рисунок 1. Схема к примеру.

5. Определение абсолютных удлинений отдельных участков

$$\Delta l_1 = \frac{0 \cdot 0,3 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = 0; \quad \Delta l_2 = \frac{150 \cdot 0,5 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = 0,375 \text{ мм}; \quad \Delta l_3 = \frac{100 \cdot 0,1 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = 0,05 \text{ мм}$$

$$\Delta l_4 = \frac{-26,7 \cdot 0,4 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = -0,053 \text{ мм}; \quad \Delta l_5 = \frac{-167 \cdot 0,2 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = -0,167 \text{ мм}$$

6. Удлинение бруса:  $\Delta l = 0,375 + 0,05 - 0,053 - 0,167 = 0,16 \text{ (мм)}$

**Задание к практической работе:** Для заданной схемы нагружения (рис.1) построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений, определить абсолютное удлинение бруса. Исходные данные принять по таблице в соответствии с вариантом.

**Таблица.** Исходные данные к практической работе.

№ вар	Схе-ма	$F_1$ , кН	$F_2$ , кН	$F_3$ , кН	$A_1$ , см <sup>2</sup>	$A_2$ , см <sup>2</sup>	$a$ , м	№ вар	Схе-ма	$F_1$ , кН	$F_2$ , кН	$F_3$ , кН	$A_1$ , см <sup>2</sup>	$A_2$ , см <sup>2</sup>	$a$ , м
1	а	10	24	2	1	2	0,6	14	б	8	13	15		2	0,6
2	б	14	13	3	1,4	1,9	0,8	15	в	7	4	16	1,4	1,9	0,8
3	в	39	23	4	1,9	2,5	1	16	г	6	8	26	1,9	2,5	1
4	г	23	15	5	2,5	2,8	0,5	17	д	23	45	13	2,5	2,8	0,5
5	д	15	24	6	1	2	0,6	18	е	14	32	27	1	2	0,6
6	е	32	4	7	1,4	1,9	0,8	19	а	24	24	28	1,4	1,9	0,8
7	а	8	16	8	2,5	2,8	0,8	20	б	31	14	24	2,5	2,8	0,5
8	б	5	25	9	1,9	2,5	1	21	в	34	16	23	1,9	2,5	1
9	в	9	30	10	1	2	0,6	22	г	5	24	15	1	2	0,6
10	г	12	14	11	1,4	1,9	0,8	23	д	16	18	40	1,4	1,9	0,8
11	д	45	15	12	1,6	2,2	1	24	е	17	21	24	1,6	2,2	1
12	е	24	6	13	2,5	2,8	0,8	25	а	24	26	34	2,5	2,8	0,8
13	а	23	8	14	1	2	0,6	26	б	20	34	32	1	2	0,6

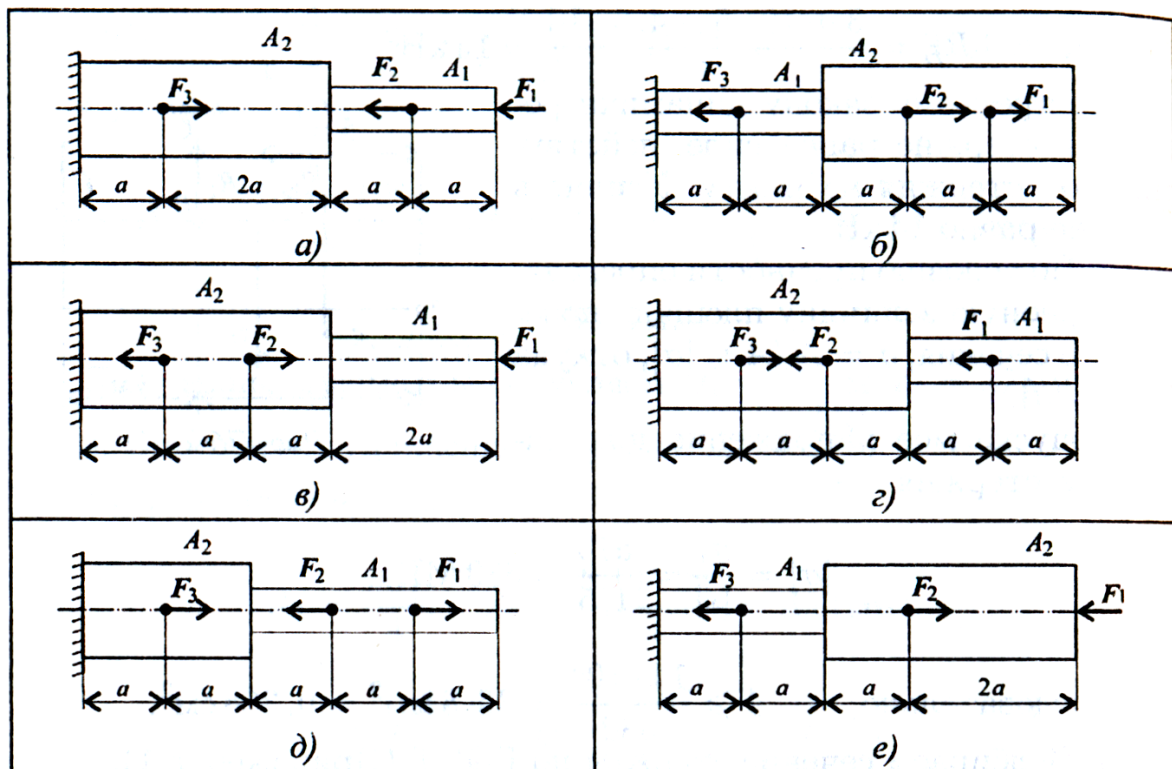


Рисунок 1. Схемы нагружения бруса

### **Контрольные вопросы.**

1. Назовите внутренние силовые факторы (В.С.Ф.), возникающие в поперечном сечении бруса при растяжении.
2. Как определяется величина продольной силы в поперечном сечении?
3. Как определяется величина нормальных напряжений в любом поперечном сечении?
4. Как проверить правильность построения эпюры продольных сил?
5. Как определить величину абсолютного удлинения отдельного участка?

### **Ход выполнения работы.**

1. Построить эпюру продольных сил:
  - 1.1. разбить базовую линию эпюры на участки с последующей их нумерацией от свободного конца;
  - 1.2. определить величину продольной силы на каждом участке;
  - 1.3. отложить полученные значения ординат и соединить их прямыми линиями, параллельно базовой линии;
2. Построить эпюру нормальных напряжений:
  - 2.1. разбить базовую линию эпюры на участки с последующей их нумерацией от свободного конца;
  - 2.2. определить величину нормальных напряжений на каждом участке;
  - 2.3. отложить полученные значения ординат и соединить их прямыми линиями, параллельно базовой линии.
3. Определить значения абсолютного удлинения на каждом участке.
4. Определить величину абсолютного удлинения всего бруса.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Сформулировать вывод по работе.

### **Отчет по работе**

#### **Практическая работа №5**

Построение эпюр продольных сил и нормальных напряжений. Определение абсолютного удлинения бруса.

Цель:

Задание: Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений, определить абсолютное удлинение бруса.

1.Схема нагружения:

2.Определение продольных сил на каждом участке и построение эпюры продольных сил.

3.Определение нормальных напряжений на каждом участке и построение эпюры нормальных напряжений.

4.Определение удлинений отдельных участков бруса.

5.Определение удлинения всего бруса.

6. Ответы на контрольные вопросы.

7.Вывод.

## **Практическая работа №6**

**Название практической работы:** Расчеты элементов конструкций на прочность и жесткость при растяжении, сжатии.

**Цель:** Освоение методики расчета элементов конструкции на прочность и жесткость при растяжении, сжатии.

**Умения:-** определять характер нагружения и напряженное состояние в точке элемента конструкции;

-проводить несложные расчеты элементов конструкции на прочность и жесткость;

- использовать справочную и нормативную документацию;

**Знания:(актуализация)** - методики выполнения основных расчетов по сопротивлению материалов;

*-методика выполнения расчетов на прочность и жесткость при растяжении, сжатии .*

## **Теоретический материал**

Сущность *проверочных* расчетов на прочность элементов конструкций заключается в определении величины максимальных напряжений в наиболее



опасном сечении и в сравнении их с величиной допускаемых напряжений в соответствии с условием прочности.

**Условие прочности при растяжении (сжатии):**  $\sigma_{\max} = \frac{N}{A} \leq [\sigma],$

где  $\sigma_{\max}$  – максимальные расчетные напряжения, МПа;

$N$  – продольная сила, зависящая от внешних нагрузок, Н;

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

$[\sigma]$  – допускаемое нормальное напряжение, МПа  $[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{пред.}}}{[S]},$

где  $\sigma_{\text{пред}}$  – предельное напряжение;

для пластичных материалов  $\sigma_{\text{пред}} = \sigma_{\text{т}};$

для хрупких материалов  $\sigma_{\text{пред}} = \sigma_{\text{пч}};$

$[S]$  – требуемый коэффициент запаса прочности

Для определения положения наиболее опасного сечения в случае, когда к элементу конструкции приложены нескольких сил или имеет место разные по размеру поперечные сечения, строятся эпюры продольных сил ( $\Sigma N$ ) и эпюры нормальных напряжений ( $\Sigma \sigma$ ).

*Эпюра продольных сил ( $\Sigma N$ )* – график распределения продольных сил вдоль длины бруса.

*Правила построения эпюры продольных сил  $\Sigma N$ :*

1. Проводится базовая (нулевая) линия эпюры параллельно продольной оси бруса.

2. Базовая линия эпюры разбивается на участки. Границами участков являются точки приложения внешних нагрузок. Участки нумеруются от свободного конца.

3. Определяется величина продольной силы на каждом участке с использованием метода сечений по формуле  $N = \sum F_{\text{изост.ч.}}$ . *Правило знаков для  $N$ :* при растяжении продольная сила положительная, при сжатии – отрицательная.

4. Перпендикулярно базовой линии откладываются полученные значения продольных сил в произвольном масштабе. Через концы ординат проводятся прямые линии, проставляются знаки и выполняется штриховка перпендикулярно базовой линии.

Интенсивность распределения продольной силы по поперечному сечению характеризуют *нормальные напряжения*:  $\sigma = \frac{N}{A}$  ( $A$  – площадь поперечного сечения).

*Эпюра нормальных напряжений* - график распределения нормальных напряжений по длине бруса.

*Правила построения эпюры нормальных напряжений  $\sigma$ :*

1. Проводится базовая (нулевая) линия эпюры параллельно продольной оси бруса.

2. Границы участков эпюры определяются точками приложения внешних сил и точками изменения поперечного сечения.

3. Определяются значения напряжений на каждом из полученных участков по формуле  $\sigma = \frac{N}{A}$  ( $A$  – площадь поперечного сечения). Знак  $\sigma$  соответствует знаку  $N$ .

4. Перпендикулярно базовой линии откладываются полученные значения продольных сил в произвольном масштабе. Через концы ординат проводятся прямые линии, проставляются знаки и выполняется штриховка перпендикулярно базовой линии.

*Наиболее опасным является участок с максимальным по абсолютной величине нормальным напряжением.*

На основании условия прочности могут быть выполнены проектный и проверочный виды расчетов. Сущность *проектного* расчета заключается в определении размеров поперечного сечения:  $A \geq \frac{N}{[\sigma]}$

Сущность *проверочного расчета элементов конструкций на жесткость* заключается в сравнении максимальных деформаций с допускаемыми деформа-

циями. При растяжении, сжатии условие жесткости выглядит следующим образом: абсолютное удлинение бруса  $\Delta \ell_{\max} \leq [\Delta \ell]$ .

Абсолютное удлинение определяется на каждом участке по формуле ;

$\Delta \ell_i = \frac{\sigma_i \cdot \ell_i}{E}$ , где  $E$ - модуль продольной упругости, характеризующий жесткость материала при растяжении, сжатии, для стали  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ н/мм}^2$ . Расчет необходимо начинать от жесткой заделки, последовательно прибавляя алгебраически к результатам удлинения предыдущего участка результаты рассматриваемого участка.

**Пример.** Проверить прочность и жесткость элемента конструкции (рисунок.1), если  $\sigma_T = 180 \text{ мПа}$ ,  $[S] = 3$ ,  $[\Delta \ell] = 0,14 \text{ мм}$ ;  $b = 10 \text{ мм}$ ,  $h = 20 \text{ мм}$ .

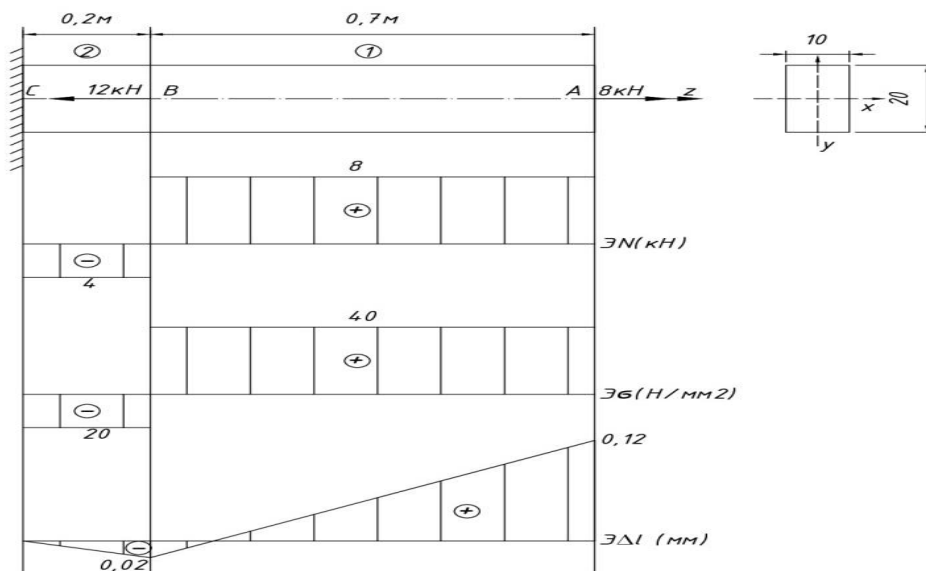


Рисунок 1 – Схема нагружения к примеру1.

Решение:

1.1.Определение положения наиболее опасного участка

1.1.1. Построение эпюры продольных сил:

$$N = \sum F_{i \text{ ост. ч.}} \quad N_1 = 8 \text{ кН}; \quad N_2 = -4 \text{ кН}$$

1.1.2. Построение эпюры нормальных напряжений.

$$\sigma = \frac{N}{A}, \text{ мПа}$$

$$\sigma_1 = \frac{8 \cdot 10^3}{10 \cdot 20} = 40; \quad \sigma_2 = -\frac{4 \cdot 10^3}{10 \cdot 20} = -20$$

### 1.1.3. Наиболее опасный участок 1

### 1.2.Определение величины допускаемого напряжения

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{пред}}{[S]} = \frac{180}{3} = 60 \text{ МПа}$$

### 1.3.Оценка прочности элемента конструкции: прочность обеспечена, т.к.

$$\sigma_{\max} = 40 \text{ МПа} < [\sigma] = 60 \text{ МПа}$$

### 1.4.Проверка жесткости

#### 1.4.1. Определение абсолютного удлинения отдельных участков и построение эпюры абсолютных удлинений: $\Delta l$

$$\Delta l_C = 0;$$

$$\Delta l_B = \frac{\sigma_2 \cdot \ell_2}{E} = \frac{-20 \cdot 0,2 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = -0,02 \text{ мм}; \Delta l_A = \Delta l_B + \frac{40 \cdot 0,7 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = -0,02 + 0,14 = 0,12 \text{ мм}$$

#### 1.4.2. максимальное абсолютное удлинение бруса $\Delta l_{\max} = 0,12 \text{ мм}$

#### 1.4.3. Оценка жесткости $\Delta l_{\max} = 0,12 \text{ мм} < [\Delta l] = 0,14 \text{ мм}$ , жесткость обеспечена.

### 1.5.Ответ: прочность и жесткость элемента конструкции обеспечены.

**Задание к практической работе.** Для заданной схемы нагружения проверить прочность и жесткость элемента конструкции (рисунок 3, таблица 1) .В случае невыполнения условия прочности и жесткости предложить возможные варианты обеспечения проч-ности и жесткости.

### Ход выполнения работы

#### 1.Задание

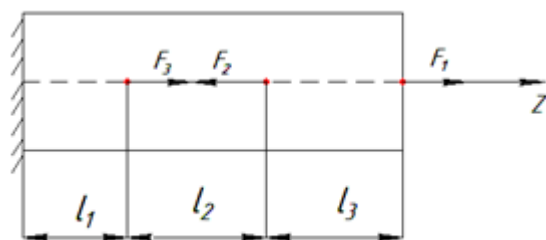
##### 1.1.Записать условие задачи и исходные данные в соответствии с вариантом (таблица 1)

Таблица 1 -.Исходные данные к заданию

№п\п	F <sub>1</sub> , кН	F <sub>2</sub> , кН	F <sub>3</sub> , кН	ℓ <sub>1</sub> , мм	ℓ <sub>2</sub> , мм	ℓ <sub>3</sub> , мм	[Δℓ] мм	σ <sub>т</sub> , МПа	[S]	Поперечное сечение	Размеры поперечного сечения, мм
1	30	10	5	0,2	0,3	0,4	0,14	240	4	круговое	d=56 d <sub>0</sub> =48

2	16	15	10	0,3	0,4	0,2				кольцо	d=58 d <sub>0</sub> =52
3	8	13	17	0,5	0,4	0,5					d=70 d <sub>0</sub> =62
4	14	16	11	0,3	0,6	0,2					d=48 d <sub>0</sub> =40
5	27	14	8	0,6	0,5	0,3					d=50 d <sub>0</sub> =44
6	24	11	6	0,5	0,6	0,2	0,15	220	2	круг	40
7	18	12	5	0,6	0,4	0,2					45
8	7	13	26	0,6	0,3	0,5					50
9	12	20	36	0,5	0,3	0,7					54
10	9	33	16	0,6	0,4	0,3					55
11	16	25	28	0,5	0,5	0,5	0,2	190	3	квадрат	a= 40
12	8	13	14	0,4	0,4	0,4					a= 45
13	15	24	29	0,5	0,3	0,2					a= 48
14	14	16	9	0,8	0,3	0,3					a= 50
15	18	27	31	0,2	0,3	0,4					a= 54
16	20	29	33	0,3	0,5	0,3	0,35	200	2	прямоуголь ник	b=20 h=40
17	20	29	31	0,4	0,4	0,4					b=30 h=40
18	10	15	18	0,5	0,5	0,5					b=40 h=60
19	12	16	19	0,5	0,3	0,2					b=20 h=60
20	17	26	30	0,2	0,5	0,5					b=35 h=80
21	16	20	11	0,3	0,6	0,3	0,45	240	3	круг	45
22	14	16	10	0,4	0,6	0,2					35
23	17	19	13	0,5	0,5	0,6					45
24	20	18	12	0,6	0,4	0,3					50
25	13	17	9	0,5	1,0	0,8					55
26	18	20	14	0,6	1,0	0,5		300	5	круговое кольцо	d=68 d <sub>0</sub> =58
27	22	19	13	1,0	1,2	1,0					d=60 d <sub>0</sub> =52

1.2. Выполнить схему нагружения (рисунок 3).



### Рисунок 3 - Схема нагружения к заданию №1

1.3. Определить величину продольной силы на каждом участке и построить эпюру продольных сил.

1.4. Определить величину нормальных напряжений на каждом участке и построить эпюру нормальных напряжений.

1.5. Определить положение наиболее опасного участка.

1.6. Записать условие прочности при растяжении, сжатии и проверить его выполнение.

1.7. Выполнить анализ полученного результата.

1.8. Определить абсолютное удлинение отдельных участков и построение эпюры абсолютных удлинений.

1.9. Оценка жесткости бруса.

2. Сформулировать вывод по работе.

3. Ответить на контрольные вопросы:

1). Запишите формулы для определения продольной силы и нормальных напряжений при растяжении, сжатии.

2). Запишите условия прочности и жесткости при растяжении, сжатии.

3). Сформулируйте сущность проверочного и проектного расчетов на прочность и жесткость при растяжении, сжатии.

4). Укажите цель построения эпюр продольных сил и нормальных напряжений.

5). Сформулируйте основные правила построения и контроля эпюры продольных сил.

### Структура отчета по практической работе

1. Номер и название работы

2. Цель:

3. Задание

3.1. Условие задачи и исходные данные.

3.2. Схема нагружения.

- 3.3. Определение величины продольной силы на каждом участке и построение эпюры продольных сил.
- 3.4. Определение величины нормальных напряжений на каждом участке и построение эпюры нормальных напряжений.
- 3.5. Определение положения наиболее опасного участка.
- 3.6. Запись условия прочности при растяжении, сжатии и проверка его выполнения.
- 3.7. Проведение анализа полученного результата.
- 3.8. Определение абсолютного удлинения отдельных участков .
- 3.9. Определение абсолютного удлинения бруса.
- 3.10 Оценка жесткости бруса
- 4. Вывод по работе.
- 5. Ответы на контрольные вопросы.

### **Практическая работа № 7.**

**Название практической работы:** Выполнение расчетов шпоночных соединений на срез и смятие.

**Цель:** Освоение методики расчета на прочность элементов конструкции, работающих на срез и смятие.

**Умения:-** определять напряжения в конструктивных элементах

**Знания:-** методики расчетов на прочность при срезе и смятии.

### **Теоретический материал.**

Шпоночные соединения служат для окружной фиксации деталей на валах и осях и передачи вращающего момента. В основном применяют ненапряженные соединения призматическими шпонками. Шпонки выполняют со скругленными и плоскими концами. Шпонки закладывают в паз вала. Разрушение соединительных деталей (болтов, заклепок, штифтов, шпонок), сварных, клеевых соединений, нагруженных силами, перпендикулярными их собственным осям, называется *срезом*. Давление, возникающее между соединительными деталями и стенками отверстия, называется напряжением *смятия*  $\sigma_{см}$ .

Критерием работоспособности соединения призматическими шпонками являются прочность шпонки на *срез* и *прочность соединения на смятие*.

Размеры поперечного сечения шпонки  $b$ ,  $h$  и глубина паза на валу  $t_1$  подбирают по каталогу (таблица 1) по диаметру вала, необходимая длина шпонки  $l$  определяется по длине ступицы  $l = l_{cm} - (5 \dots 10)$  мм и уточняется по каталогу (таблица 1), длина ступицы  $L_{ст} = 1,5d$ . Выбранная шпонка проверяется на прочность на срез и соединение на смятие.

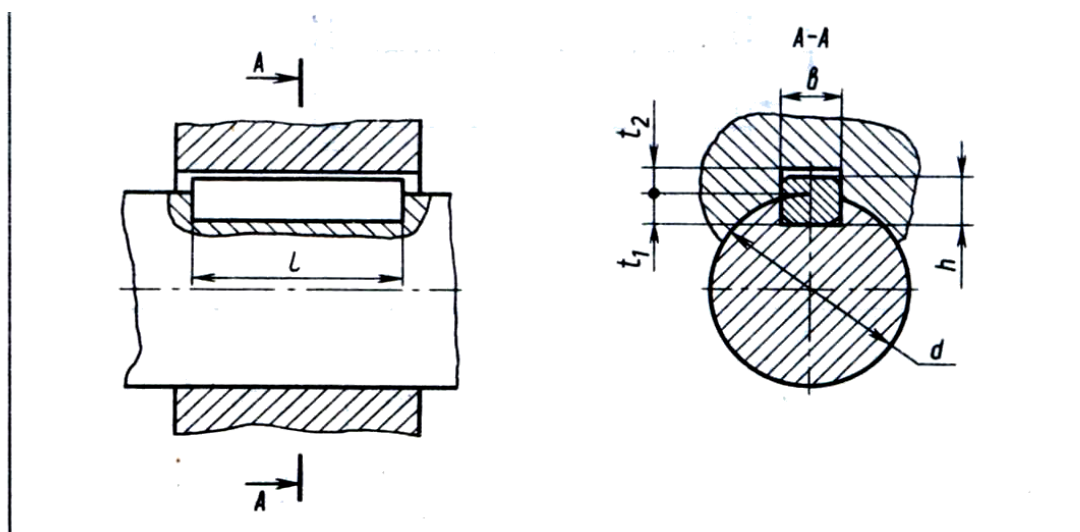
Условие прочности шпоночного соединения на смятие

$$\sigma_{см} = \frac{2M}{d(h - t_1)l_p} \leq [\sigma_{см}]$$

Где  $M$  — вращающий момент;  $h$  — высота шпонки;  $l_p$  — расчетная длина; для шпонок с плоскими концами  $l_p = l$ ; для шпонок с закругленными концами  $l_p = l - b$ ;  $b$  — ширина шпонки;  $t_1$  — глубина паза на валу. Допускаемое напряжение смятия при стальной ступице  $[\sigma_{см}] = 130 \dots 200$  МПа, при чугунной ступице  $[\sigma_{см}] = 80 - 110$  МПа.



Таблица 1 - Шпоночные соединения с призматической шпонкой  
ГОСТ23360-78



Диаметр вала <i>d</i>	Сечение шпонки		Фаска	Глубина паза		Длина <i>l</i>	
	<i>b</i>	<i>h</i>		вала <i>t</i> <sub>1</sub>	ступи- цы <i>t</i> <sub>2</sub>		
Свыше 12 до 17 » 17 » 22	5 6	5 6	0,25...0,4	3 3,5	2,3 2,8	10...56 14...70	
» 22 » 30	8	7		0,4...0,6	4	3,3	18...90
» 30 » 38 » 38 » 44	10 12	8	5		3,3	22...110 28...140	
» 44 » 50 » 50 » 58 » 58 » 65	14 16 18	9 10 11	5,5 6 7		3,8 4,3 4,4	36...160 45...180 50...200	
» 65 » 75	20	12	0,6...0,8		7,5	4,9	56...220
» 75 » 85 » 85 » 95	22 25	14			9	5,4	63...250 70...280

Примечания: 1. Длины призматических шпонок / выбирают из следующего ряда: 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250.  
2. Пример условного обозначения шпонки исполнения I, размеры *b*=16 мм, *h*=10 мм, *l*=50 мм: Шпонка 16×10×50 ГОСТ 23360—78.

Условие прочности шпонки при срезе:  $\tau_{cp} = \frac{2M}{d \cdot l \cdot h} \leq [\tau_{cp}]$

где  $[\tau_{cp}]$  –допускаемое напряжение среза,  $[\tau_{cp}] = 60 \dots 100$  МПа.

В случае невыполнения условий прочности принимаются размеры шпонки из следующего ряда, либо устанавливают две диаметрально противоположных шпонки.

**Задание к практической работе:** Подобрать размеры шпоночного соединения призматической шпонкой для вала диаметром  $d$ , передающего вращающий мо-

мент М; проверить прочность шпонки на срез и прочность соединения на смятие.

### Ход выполнения работы.

1. Записать условие задачи и исходные данные в соответствии с вариантом (таблица 2)

2. Выбрать размеры поперечного сечения шпонки по таблице 2.

Таблица 2 - Исходные данные к практической работе

№ вар.	d, мм	М, Нм	Матери- ал ступицы	№ вар.	d, мм	М, Нм	Матери- ал ступицы	№ вар.	d, мм	М, Нм	Мате- риал ступицы
1	25	70	Сталь 45	10	60	190	чугн	19	30	80	Сталь 35
2	30	75		11	55	180		20	35	90	
3	35	80		12	50	170		21	38	112	
4	38	90		13	48	160		22	40	180	
5	40	120	чугун	14	45	150	Сталь 45	23	42	200	Сталь 35
6	42	130		15	38	140		24	45	205	
7	45	180		16	35	120		25	48	170	
8	48	170		17	38	145		26	50	155	
9	50	190		18	30	115		27	54	215	

3. Определить длину ступицы.

4. Определить длину шпонки, согласовав ее со стандартным рядом длин (таблица 1).

5. Проверить прочность шпонки на срез.

6. Проверить прочность соединения на смятие.

7. Проанализировать полученные результаты.

8. Сформулировать вывод по работе.

9. Ответить на контрольные вопросы:

- 1). Назначение и устройство шпоночного соединения?
- 2). Каким образом задаются размеры шпонки?
- 3). Сформулировать критерии работоспособности шпоночного соединения.
- 4). Сущность проверочных расчетов соединения на срез и смятие?

## Структура отчета по практической работе

- 1.Номер и название практической работы
- 2.Цель:
- 3.Задание к практической работе.
4. Исходные данные:
- 5.Определение размеров поперечного сечения шпонки.
- 6.Определение длины шпонки.
- 7.Проверка прочности шпонки на срез.
- 8.Проверка соединения на смятие.
9. Оценка результатов расчетов.
- 10.Вывод по работе
- 11 Ответы на контрольные вопросы.

### Практическая работа №8.

**Название практической работы:** Определение главных центральных моментов инерции составных сечений.

**Цель:** освоение методики расчета осевых моментов составных сечений.

**Умения:**(элементы) определять напряжения в конструктивных элементах при изгибе.

**Знания:** (актуализация) методика расчета элементов конструкций на прочность при изгибе.

### Теоретический материал.

При изгибе поперечное сечение сопротивляется деформации не одинаково, при расчетах напряжений геометрическими характеристиками поперечного сечения, влияющие на сопротивление сечения деформированию, являются осевые моменты инерции:

- 1).осевой момент инерции относительно оси  $X$  -  $J_x$
- 2).осевой момент инерции относительно оси  $Y$  -  $J_y$

Осевые моменты инерции характеризуют сопротивление сечения повороту относительно соответствующей оси.

*Главные оси* — это оси, относительно которых осевые моменты инерции принимают экстремальные значения: минимальный и максимальный.

Оси симметрии сечения являются главными центральными осями

*Главные центральные моменты инерции* — это моменты инерции относительно главных осей, проходящих через центр тяжести.

Оси симметрии сечения являются главными центральными осями.

### ***Моменты инерции простейших сечений:***

1) для прямоугольника и квадрата  $J_x = \frac{bh^3}{12}$ ;  $J_y = \frac{hb^3}{12}$

2) для круга  $J_x = J_y = 0,05d^4$ , где  $d$  — диаметр круга

3) для кольца  $J_x = J_y = 0,05d^4 (1 - c^4)$ , где  $d$  — наружный диаметр кольца,  
 $c$  — коэффициент кольца  $c = d_{BH}/d$ ;  $d_{BH}$  — внутренний диаметр кольца;

### ***Моменты инерции относительно параллельных осей***

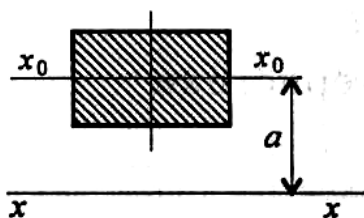


Рисунок 1 - Схема для расчета осевых моментов инерции относительно параллельных осей.

$$J_x = J_{x_0} + a^2 \cdot A$$

где  $J_x$  — момент инерции относительно оси  $xx$ ,

$J_{x_0}$  — момент инерции относительно оси  $x_0x_0$ ;

$A$  — площадь сечения;  $a$  — расстояние между осями.

### **Рекомендации по выполнению работы:**

1. Момент инерции сложной фигуры является суммой моментов инерции частей, на которые ее разбивают. Разбить заданную фигуру на простейшие

части, для каждой определить главные центральные моменты инерции по известным формулам.

2. Моменты инерции вырезов и отверстий можно представить отрицательными величинами.

3. Заданные сечения симметричны, главные центральные оси совпадают с осями симметрии составного сечения.

4. Моменты инерции частей, чьи главные центральные оси не совпадают с главными центральными осями сечения в целом, пересчитывают с помощью формулы для моментов инерции относительно параллельных осей. Расстояние между параллельными осями определить по чертежу.

**Пример:** Для заданного сечения (рис. 2) вычислить главные центральные моменты инерции.

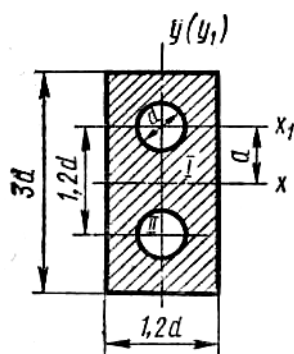


Рисунок 2 - Плоская фигура к примеру.

Решение:

Сечение имеет две оси симметрии, которые являются его главными центральными осями. Разбиваем сечение на две простейшие фигуры: прямоугольник (I) и два круга (II).

Момент инерции прямоугольника относительно оси  $x$

$$J_x^I = \frac{bh^3}{12} = \frac{1,2d \cdot (3d)^3}{12} = \frac{32,4d^4}{12} = 2,7d^4$$

Ось  $x$  (центральная ось сечения) не является центральной осью круга.

Следовательно, момент инерции круга следует вычислять по формуле

$$J_x^{II} = J_{x1}^{II} + a^2 \cdot A = 0,05d^4 + (0,6d)^2 \cdot [\pi \cdot (0,5d)]^2 = 0,05d^4 + 0,25 \cdot \pi \cdot d^4 = 0,05d^4 + 0,2826d^4 = 0,3326d^4$$

$$\text{где } J_{x1}'' = 0,05d^4; A = \pi R^2 = \pi \cdot (0,5d)^2$$

$$\text{Тогда } J_x = J_x' - 2 \cdot J_x'' = 2,7d^4 - 2 \cdot 0,3326d^4 = 2,0348 d^4.$$

Ось у является центральной для прямоугольника и кругов. Следовательно,

$$J_y = J_y' - 2J_y'' = \frac{hb^3}{12} - 2 \cdot 0,05d^4 = \frac{3d \cdot (1,2d)^3}{12} - 0,1d^4 = 0,332d^4$$

### Задание к практической работе:

Вычислить главные центральные моменты инерции сечений относительно оси Х.

### Ход выполнения работы.

1. Записать условие задания и исходные данные в соответствии с вариантом (таблица1).

Таблица 1- Исходные данные к практической работе №10

№ вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>d1 мм</b>	80	-	-	90	-	100	82	-	-	96	-	98	84
<b>d2 мм</b>	-	12	14	16	14	20		18	10	12	14	18	-
<b>h</b>	-	80	84	-	86	-		90	92	-	94	-	-
<b>b</b>	-	38	36	-	40	-		42	44	-	50	-	-
<b>a</b>	48	52	56	60	58	48	48	56	60	64	48	52	56
<b>h1</b>	8	-	-	12	-	-	12	-	-	10	-	-	12
<b>b1</b>	10	-	-	30		-	20	-	-	22	-	-	18
<b>h2</b>	-	20	-	-	8	30	-	22	-	-	10	32	-

Таблица 1- (продолжение) Исходные данные к практической работе №10.

№ вар	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
<b>схе- ма</b>	б	в	г	д	е	а	б	в	г	д	е	а	б
<b>d1 мм</b>	-	-	90	-	100	86	-	-	104	-	88	90	-
<b>d2 мм</b>	14	16	18	20	32	-	10	8	20	20	22	-	8
<b>h</b>	96	98	-	110	-	-	102	104	-	110	-	-	80
<b>b</b>	40	50	-	60	-	-	62	70	-	60	-	-	50
<b>a</b>	60	58	48	48	50	52	54	56	50	52	48	46	48
<b>h1</b>	-	-	20	-	-	18	-	-	16	-	-	20	-
<b>b1</b>	-	25	38	-	-	25	-	40	32	-	-	30	-

$h_2$	18	12	-	10	18	-	28	20	-	12	16	-	30
-------	----	----	---	----	----	---	----	----	---	----	----	---	----

2. Выполнить эскиз плоской фигуры с указанием заданных размеров в соответствии с таблицей 1 и рисунком 3.

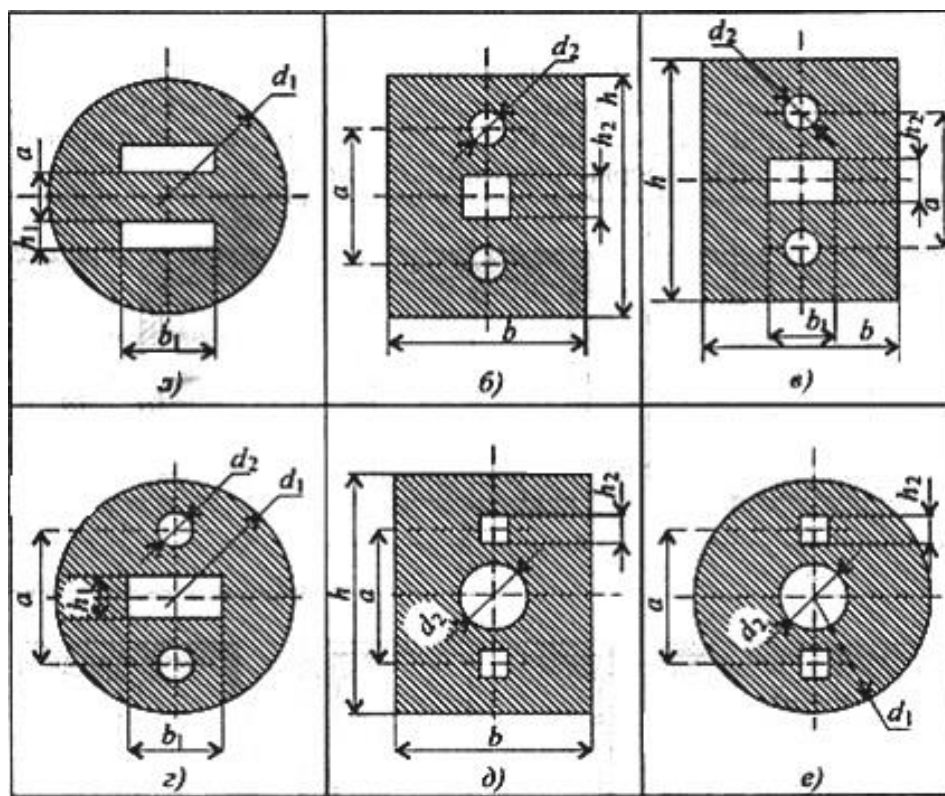


Рисунок 3 - Эскизы плоских фигур к практической работе №10

3. Разбить фигуру на простейшие геометрические.

4. Указать положение главной центральной оси X.

3. Указать положение осей X в каждой полученной фигуре, указать расстояния от данных осей до соответствующей центральной оси X.

4. Определить осевые моменты инерции каждой фигуры относительно центральной оси X по соответствующим формулам.

5. Определить осевой момент инерции составной фигуры относительно центральной оси X.

8. Сформулировать вывод по работе

9. Ответить на контрольные вопросы.

1). Что характеризуют осевые моменты инерции поперечных сечений?

2). Как изменится осевой момент инерции круглого поперечного сечения при увеличении диаметра вдвое?

3). Запишите формулы для определения осевого момента инерции относительно оси X для круга, прямоугольника и кольца.

### **Структура отчета по практической работе.**

1. Номер и название практической работы
2. Цель:
3. Задание к практической работе:
4. Эскиз фигуры.
5. Разбивка фигуры на простейшие геометрические.
6. Определение осевых моментов инерции каждой фигуры относительно центральной оси X.
7. Определение осевых моментов инерции составной фигуры относительно центральной оси X.
10. Вывод по работе.
11. Ответы на контрольные вопросы.

### **Практическая работа №9.**

#### **Построение эпюр крутящих моментов.**

**Цель:** формирование навыков построения эпюр крутящих моментов.

**Умения:** (элементы) определять напряжения в конструктивных элементах.

**Знания:** (элементы) методика расчета элементов конструкций на прочность и жесткость.

#### **Теоретический материал.**

Величина крутящего момента в любом поперечном сечении определяется алгебраической суммой скручивающих моментов, приложенных к оставшейся части.  $M_z = \sum m_i$  ост. ч. (1). При определении крутящего момента в любом поперечном сечении используется метод сечений.

Скручивающий момент считается положительным, если он стремится повернуть оставшуюся часть по часовой стрелке при взгляде со стороны рассматриваемого сечения.



Эпюра крутящих моментов ( $\mathcal{M}_Z$ ) – график распределения крутящих моментов по длине бруса.

**Правила построения  $\mathcal{M}_Z$ :**

- проводится базовая линия эпюры параллельно оси Z;
- базовая линия эпюры разбивается на участки перпендикулярами, опущенными из точек приложения скручивающих моментов на базовую линию;
- участки нумеруются;
- определяется на каждом участке величина крутящего момента (по ф. 1), используя метод сечений;
- строится  $\mathcal{M}_Z$  в виде прямых линий, параллельных оси с ординатами в соответствии с определенными ранее значениями крутящих моментов.

**Пример:** построить эпюру крутящих моментов  $\mathcal{M}_Z$  для схемы нагружения приведённой на рисунке 1.

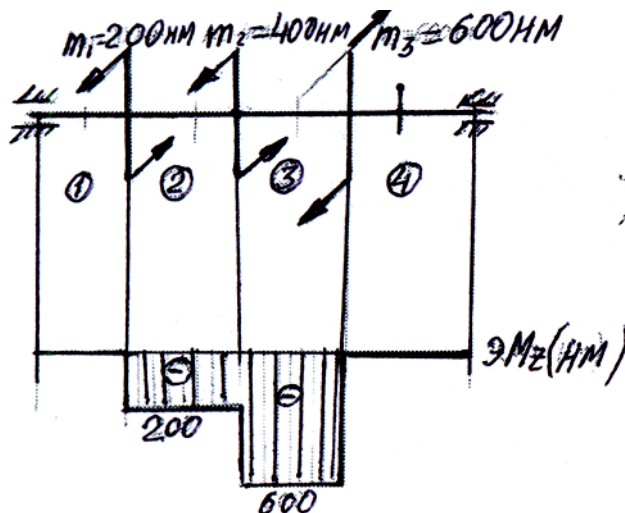


Рис.1. Схема нагружения и эпюра крутящих моментов

Построение эпюры крутящих моментов ведется по формуле:

$$M_Z = \sum m_i z \text{ ост. ч}$$

На первом участке скручивающих нагрузок нет, поэтому  $M_{Z1} = 0$ ;

На втором участке появляется скручивающая нагрузка  $m_1$ , поэтому на втором участке крутящий момент равен

$M_{Z2} = - 200 \text{ Нм}$  (знак «-» потому что  $m_1$  скручивает против часовой стрелки);

На третий участок действуют два скручивающих момента  $m_1$  (скручивает против часовой стрелки, см. схему нагружения, рис. 1) и  $m_2$  (скручивает против часовой стрелки, см. схему нагружения, рис. 1), поэтому крутящий момент на третьем участке будет равен сумме этих моментов:

$$M_{Z3} = - 200 - 400 = - 600 \text{ нм};$$

На четвертый участок действуют все три скручивающих момента  $m_1$ ,  $m_2$  и  $m_3$  (скручивает по часовой стрелки, см. схему нагружения, рис. 1), поэтому крутящий момент на четвертом участке будет равен сумме этих моментов:

$$M_{Z4} = - 200 - 400 + 600 = 0$$

**Контроль правильности построения эпюры крутящих моментов:**

1.  $M_z$  – прямая, параллельная базовой линии.
2.  $M_z$  скачкообразно изменяет свое значение в точках приложения скручивающих (внешних) моментов, величина скачка определяется величиной скручивающего момента.

**Задание для практической работы:** Построить эпюру крутящих моментов для предложенной в соответствии с вариантом схемы нагружения (рис.2).

Таблица Исходные данные к практической работе.

№ вар.	схема	$M_1$ Нм	$M_2$ Нм	$M_3$ Нм	$M_0$ Нм	№ вар.	схема	$M_1$ Нм	$M_2$ Нм	$M_3$ Нм	$M_0$ Нм
1	1	2000	1600	800	4400	15	7	580	240	760	1580
2	2	900	1500	600	3000	16	8	2410	670	920	4000
3	3	1000	700	500	2300	17	1	700	900	800	2400
4	4	80	900	750	2500	18	2	890	900	210	2000
5	5	570	920	1510	3000	19	3	1360	870	540	2770
6	6	780	950	450	2180	20	4	1390	460	900	2750
7	7	1000	200	700	1900	21	5	1620	140	780	2540
8	8	600	2700	2200	5500	22	6	1300	680	920	2900
9	1	680	1520	1200	3400	23	7	1000	690	520	2210
10	2	790	1300	810	2900	24	8	780	750	870	2400
11	3	3530	690	580	4800	25	1	2500	920	880	4300
12	4	560	740	920	2420	26	2	1090	560	840	2490

13	5	730	1680	990	3400	27	3	800	920	780	2500
14	6	1570	1560	870	4000	28	4	580	630	800	2010

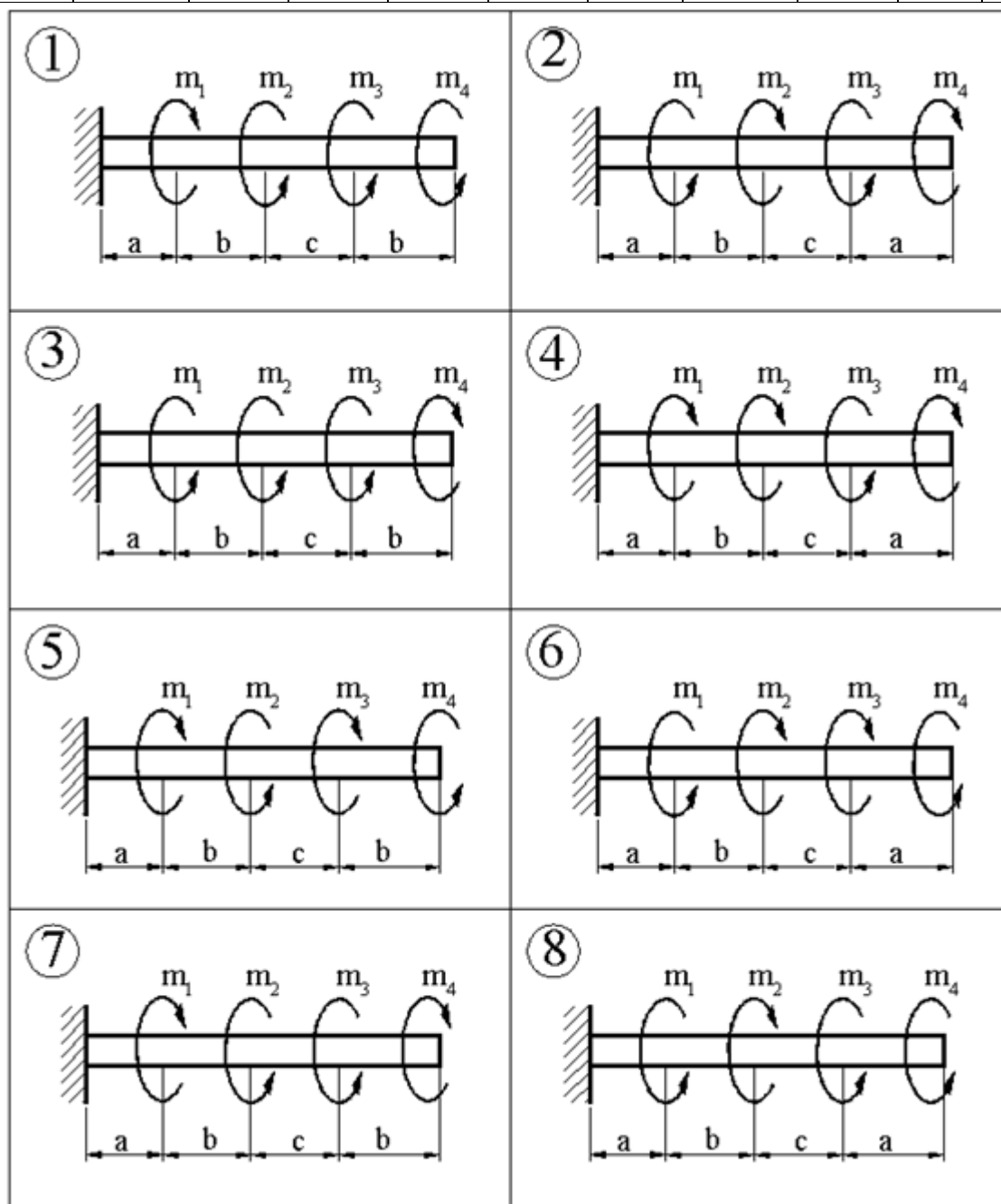


Рисунок 2. Схемы нагружения к практической работе.

### Контрольные вопросы.

1. Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечном сечении при кручении?
2. Запишите формулу для определения крутящего момента в любом поперечном сечении?
3. Чем обусловлены скачки на эпюре крутящих моментов?

4.Какой линией изображается эпюра крутящих моментов?

### **Ход выполнения работы.**

- 1.Провести базовую линию эпюры параллельно оси  $Z$ ;
- 2.Базовую линию эпюры разбить на участки перпендикулярами, опущенными из точек приложения скручивающих моментов на базовую линию;
- 3.Участки пронумеровать;
- 4.Определить на каждом участке величину крутящего момента (по ф. 1), используя метод сечений;
- 5.Построить  $\mathcal{M}_z$  в виде прямых линий, параллельных оси с ординатами в соответствии с определенными ранее значениями крутящих моментов
- 6.Проконтролировать правильность построения эпюры.
- 7.Ответить на контрольные вопросы.
- 8.Сформулировать вывод по работе.

### **Отчет по работе.**

Практическая работа №9.

Построение эпюр крутящих моментов.

Цель:

- 1.Задание к практической работе.
2. Схема нагружения.
3. Исходные данные.
4. Определение величины скручивающих моментов.
- 5.Определение крутящих моментов на каждом участке и построение  $\mathcal{M}_z$
- 6.Ответы на контрольные вопросы.
- 7.Вывод по работе.

### **-Практическая работа №10**

**Название практической работы:** Выполнение расчетов бруса круглого поперечного сечения на прочность и жесткость при кручении.

**Цель:** Освоение методики расчетов на прочность и жесткость при кручении.

**Умения:** - определять напряжения в конструкционных элементах.

**Знания:** методика расчета элементов конструкций на прочность и жесткость при кручении.

### Теоретический материал.

Кручением называется такой вид нагружения, при котором в поперечном сечении элемента конструкции возникает только один внутренний силовой фактор – крутящий момент  $M_z$ .

Величина крутящего момента в любом поперечном сечении определяется алгебраической суммой скручивающих моментов, приложенных к оставшейся части.  $M_z = \sum m_{\text{ост.ч.}}$  (1). При определении крутящего момента в любом поперечном сечении используется метод сечений.

Скручивающий момент считается положительным, если он стремится повернуть оставшуюся часть по часовой стрелке при взгляде со стороны рассматриваемого сечения.

**Сущность проверочного расчета на прочность** при кручении заключается в определении максимальных напряжений в наиболее **опасном** сечении и в сравнении их с величиной допускаемых напряжений, т. е. проверить выполнение условия прочности на кручение.

$$\tau_{кр\max} = \frac{M_{z\max}}{W_p} \leq [\tau_{кр}]$$

где  $M_{z\max}$  – наибольший крутящий момент, Нм

$[\tau_{кр}]$  – допускаемое касательное напряжения кручения, Н/мм<sup>2</sup>

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

геометрическая характеристика прочности поперечного сечения при кручении, зависящая от формы и размеров поперечного сечения;

$W_p = 0,2d^3$  – для круглого поперечного сечения;

$W_p = 0,2 d^3 (1-\alpha^4)$  – для кольцевого сечения

где  $\alpha$  – коэффициент кольца  $\alpha = \frac{d_0}{d}$

**Сущность проверочного расчета элемента конструкции на жесткость** при кручении заключается в определении максимального относительного угла закручивания и в сравнении его величины с допускаемым значением, т.е.

проверяется выполнение условия жесткости: 
$$\varphi_{0\max} = \frac{M_{z\max}}{G \cdot I_p} \leq [\varphi_0],$$

где  $G$  – модуль поперечной упругости, характеризующий жесткость материала при кручении;

$I_p$  – полярный момент инерции поперечного сечения,  $\text{мм}^4$ -геометрическая характеристика жесткости поперечного сечения при кручении, зависящая от формы и размеров поперечного сечения;

-для круга  $I_p = 0,1d^4, \text{мм}^4$ ;

-для кругового кольца  $I_p = 0,1d^4(1-\alpha^4)$ ,

где  $\alpha$  – коэффициент кольца  $\alpha = \frac{d_0}{d}$

Расчеты на прочность и жесткость проводится для наиболее опасного участка, определяемого по эпюре крутящих моментов по величине максимального крутящего момента.

**Эпюра крутящих моментов ( $\mathcal{M}_z$ )** – график распределения крутящих моментов по длине бруса.

#### **Правила построения $\mathcal{M}_z$ :**

- проводится базовая линия эпюры параллельно оси  $Z$ ;
- базовая линия эпюры разбивается на участки перпендикулярами, опущенными из точек приложения скручивающих моментов на базовую линию;
- участки нумеруются;
- определяется на каждом участке величина крутящего момента (по ф. 1), используя метод сечений;
- строится  $\mathcal{M}_z$  в виде прямых линий, параллельных оси с ординатами в соответствии с определенными ранее значениями крутящих моментов.

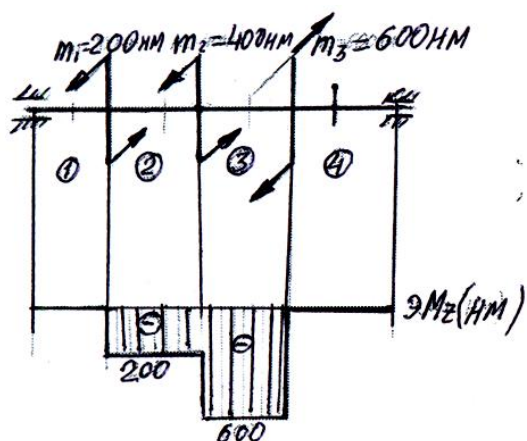
#### **Контроль правильности построения эпюры крутящих моментов:**

1.  $\mathcal{M}_z$  – прямая, параллельная базовой линии.

2.  $\mathcal{M}_z$  скачкообразно изменяет свое значение в точках приложения скручивающих (внешних) моментов, величина скачка определяется величиной скручивающего момента.

**Пример:** Выполнить расчет на прочность и жесткость при кручении, если  $m_1 = 200 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;  $m_2 = 400 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;  $m_3 = 600 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;  $P_1 = 15$ . Сечение круг с диаметром  $d = 30 \text{ мм}$ , Допускаемое касательное напряжение  $[\tau_{кр}] = 30 \text{ Н/мм}^2$ , допускаемый относительный угол закручивания  $[\varphi_0] = 0,002$ .

1. Построим эпюру крутящих моментов ( $\mathcal{M}_z$ ) (рис.1):



$$M_z = \sum m_i z \text{ ост. ч}$$

$$M_{z1} = 0;$$

$$M_{z2} = -200 \text{ Нм};$$

$$M_{z3} = -200 - 400 = -600 \text{ Нм};$$

$$M_{z4} = -200 - 400 + 600 = 0.$$

Рисунок 1. Расчетная схема к примеру.

2. Расчет на прочность ведется по формуле:

$$\tau_{кр \max} = \frac{M_{z \max}}{W_p} \leq [\tau_{кр}]$$

где  $M_{z \max}$  – наибольший крутящий момент,  $\text{Н} \cdot \text{мм}$ .

$$M_{z \max} = 600 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$[\tau_{кр}]$  - допускаемое касательное напряжения кручения,  $\text{Н/мм}^2$

$W_p$  – полярный момент сопротивления поперечного сечения,  $\text{мм}^3$ .

Для круглого сечения имеет формулу:

$$W_p = 0,1 d^3 = 0,1 \cdot 30^3 = 2700 \text{ мм}^3.$$

Подставим полученные значения в формулу для поиска критического касательного напряжения:

$$\tau_{кр} = \frac{600 \cdot 10^3}{2700} = 222 \text{ Н/мм}^2$$

Сравниваем касательное напряжения, которые возникло в конструкции с допускаемым касательным напряжением:

$222 \text{ Н/мм}^2 \leq 30 \text{ Н/мм}^2$  Неравенство не выполняется. Вывод: условие прочности не выполняется.

3. Расчет на жесткость ведется по формуле:

$$\varphi_{0\max} = \frac{M_{z\max}}{G \cdot I_p} \leq [\varphi_0],$$

где  $G$  – модуль поперечной упругости, характеризующий жесткость материала при кручении,  $G=0,8 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$ ;

$I_p$ - полярный момент инерции поперечного сечения,  $\text{мм}^4$ . Для круглого сечения находится по формуле:

$$I_p = 0,1d^4 = 0,1 \cdot 30^4 = 81000 \text{ мм}^4.$$

Подставим значения в формулу:

$$\varphi_{0\max} = \frac{600 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 10^5 \cdot 81000} = 0,046 \cdot 10^{-3}$$

Сравниваем максимальный относительный угол закручивания и допускаемый относительный угол закручивая:

$0,046 \cdot 10^{-3} \leq 0,002$  Неравенство выполняется. Вывод: условие жесткости выполняется.

**Задание к практической работе:** Проверить прочность и жесткость стального вала круглого поперечного сечения с диаметром  $d$  для схемы нагружения (рис. 2) соответствующей варианту. Проанализировать полученные результаты, в случае невыполнения условий прочности и жесткости предложить варианты обеспечения прочности и жесткости.

### Ход выполнения работы

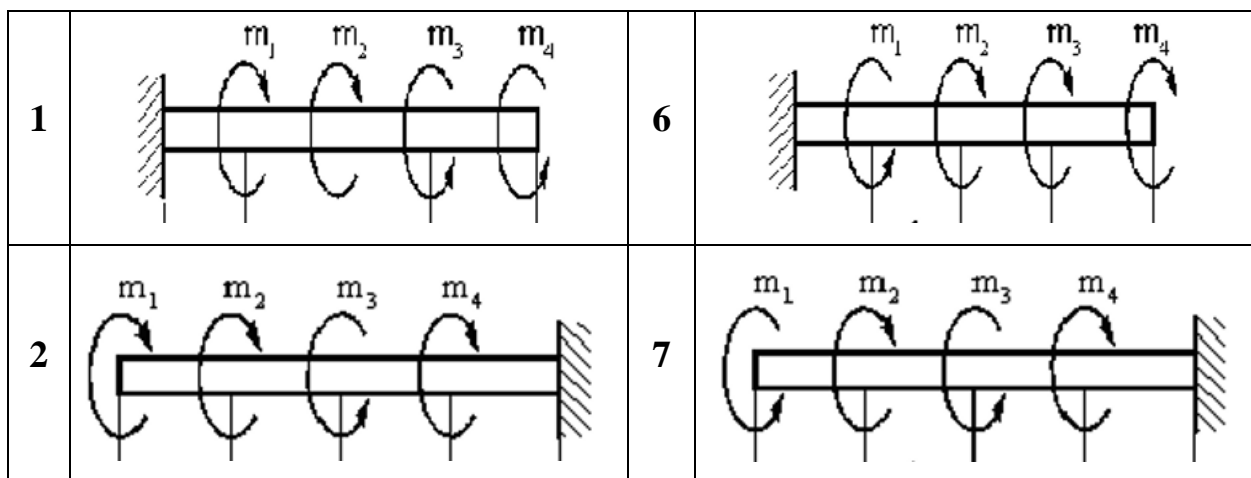
1. Записать задание и исходные данные в соответствии с вариантом по таблице 1.

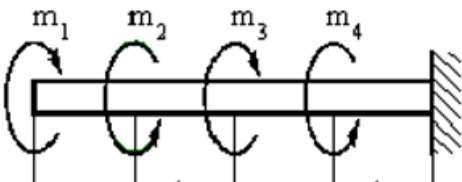
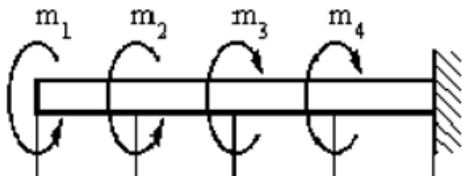
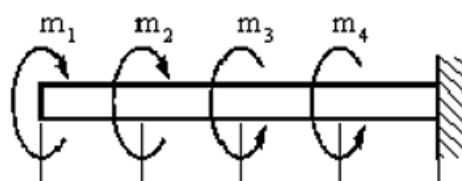
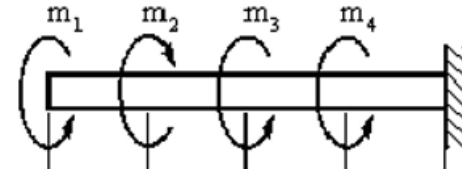
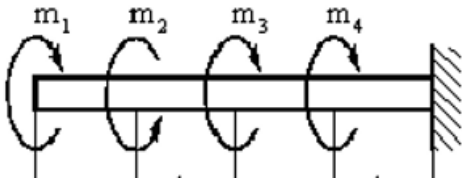
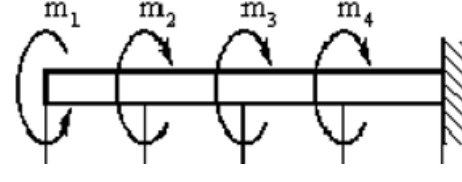
Таблица 1 - Исходные данные к практической работе.



№ вариант а	Размеры поперечного сечения, мм	№ схемы	$m_1, \text{Н} \cdot \text{м}$	$m_2, \text{Н} \cdot \text{м}$	$m_3, \text{Н} \cdot \text{м}$	$m_4, \text{Н} \cdot \text{м}$	Допускаемое касательное напряжение $[\tau_k], \text{Н} / \text{мм}^2$	Допускаемый относительный угол закручивания $[\varphi_0], \text{рад} / \text{м}$
1	d=20	1	35	20	15	45	25	0,016
2	d=25	2	150	100	50	20		
3	d=30	3	40	25	20	38		
4	d=35	4	110	60	30	35		
5	d=40	5	40	15	25	24		
6	d=45	6	130	90	40	52		
7	d=55	7	100	65	25	44		
8	d=64	8	90	45	20	56		
9	d=75	9	120	30	30	64		
10	d=70	10	80	55	35	26		
11	d=48	1	110	50	40	58	20	0.02
12	d=58	2	90	65	25	46		
13	d=65	3	65	35	20	22		
14	d=38	4	140	110	60	50		
15	d=45	5	120	80	40	100		
16	d=56	6	15	10	35	25		
17	d=34	7	75	80	25	60		
18	d=52	8	65	55	25	15		
19	d=65	9	45	50	35	90		
20	d=48	10	80	65	45	38		
21	d=38	1	50	40	30	54	30	0.022
22	d=60	2	70	60	40	32		
23	d=68	3	55	40	18	20		
24	d=78	4	65	55	35	30		
25	d=50	5	40	30	30	25		
26	d=76	6	100	18	50	40		
27	d=75	7	90	25	40	62		

2. Выполнить схему нагружения в соответствии с таблицей 1 и рисунком 2.



3		8	
4		9	
5		10	

3. Построить эпюру крутящих моментов.

4. Выполнить расчет на прочность по формуле:

$$\tau_{кр\max} = \frac{M_{z\max}}{W_p} \leq [\tau_{кр}].$$

5. Выполнить расчет на жесткость по формуле:

$$\varphi_{0\max} = \frac{M_{z\max}}{G \cdot I_p} \leq [\varphi_0]$$

6. Сделать вывод.

7. Ответить на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы.

- 1). Какие внешние нагрузки способны вызвать кручение?
- 2). Назовите внутреннее усилие, возникающий при кручении. Как определяется его величина и знак в любом поперечном сечении?
- 3). Сущность проверочных расчетов на прочность и жесткость при кручении?
- 4). Назовите геометрические характеристики жесткости и прочности поперечного сечения при кручении.

### Структура отчета по практической работе

1. Номер и название работы.
2. Цель
3. Задание и исходные данные

- 4.Схема нагружения
- 5.Определение величины скручивающих моментов.
  6. Определение величины уравнивающего момента.
- 7.Построение эпюры крутящих моментов и определение положения наиболее опасного сечения.
- 8.Определение величины максимальных напряжений кручения.
  - 9.Вывод об обеспечении прочности.
  10. Проверка жесткости наиболее опасного сечения.
  11. Вывод об обеспечении жесткости.
  12. Вывод по работе.
  13. Ответы на контрольные вопросы.

### **Практическое занятие № 11.**

**Название практической работы:** Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов.

**Цель:** освоение методики построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов.

**Умения** (элементы): *определять напряжения в элементах конструкций*  
(определение положения наиболее опасного сечения)

**Знания** (элементы): *методика расчетов элементов конструкций на прочность*

### **Теоретический материал**

Изгиб – это такой вид нагружения бруса, при котором в его поперечных сечениях возникают изгибающие моменты. Изгиб, при котором в поперечных сечениях кроме изгибающих моментов возникают и поперечные силы, называется поперечным; если поперечные силы не возникают, то изгиб называется чистым.

*Величина поперечной силы* в любом поперечном сечении определяется алгебраической суммой внешних сил, приложенных к оставшейся части:

$$Q_y = \sum F_{iy \text{ ост.ч.}}$$

*Правило знаков поперечных сил:* поперечная сила считается положительной, если: внешняя нагрузка стремится повернуть оставшуюся часть вокруг рассматриваемого сечения по часовой стрелке, если против часовой стрелки – отрицательной.

*Изгибающий момент* в произвольном поперечном сечении численно равен алгебраической сумме моментов внешних сил, приложенных к оставшейся части относительно рассматриваемого сечения:  $M_x = \sum M_{\text{сеч}}(F_{i\text{юст. ч.}})$

*Правило знаков изгибающих моментов:* ( при мысленном закреплении в рассматриваемом сечении), изгибающему моменту приписывается знак плюс, если внешняя нагрузка изгибает оставшуюся часть выпуклостью вниз, если выпуклостью вверх – то знак минус.

***Правила построения эпюр поперечных сил по характерным точкам:***

1. В **концевом сечении** поперечная сила равна нулю, если не приложена сосредоточенная сила (активная или реактивная).
2. Поперечная сила **скачкообразно** изменяет свое значение в сечении, в котором приложена сосредоточенная сила, величина скачка равна величине приложенной силы.
3. На участке, нагруженном равномерно распределенной нагрузкой, эпюра изображается прямой линией, наклоненной к оси балки.
4. На участке, свободном от действия равномерно распределенной нагрузки, эпюра- прямая линия, параллельная оси.

***Правила построения эпюр изгибающих моментов по характерным точкам:***

1. В **концевом сечении** изгибающий момент равен нулю, если не приложен внешний сосредоточенный момент. Если же в концевом сечении приложена пара сил, то изгибающий момент равен моменту приложенной пары.
2. Изгибающий момент **скачкообразно** изменяет свое значение в сечении, в котором приложен сосредоточенный момент, величина скачка равна величине приложенного момента.

3. На участке, нагруженном равномерно распределенной нагрузкой, эпюра изображается квадратичной параболой, обращенной навстречу нагрузке.

4. На участке, свободном от действия равномерно распределенной нагрузки, эпюра – наклонная прямая.

5. На участке действия равномерно распределенной нагрузки в точке, где эпюра поперечных сил плавно переходит через ноль, на эпюре изгибающих возникает экстремум.

Анализ эпюры изгибающих моментов позволяет определить положение наиболее опасного сечения (по величине максимального изгибающего момента).

#### ***Контроль правильности построенных эпюр:***

1. ЭQ скачкообразно изменяет свое значение в точках приложения сосредоточенных сил, величина скачка определяется величиной приложенной силы.

2. ЭQ – прямая, параллельная оси эпюры на участках, свободных от действия равномерно распределенной нагрузки и наклонная прямая на участках действия равномерно распределенной нагрузки.

3. ЭМ скачкообразно изменяет свое значение в точках приложения сосредоточенных моментов, величина скачка определяется величиной приложенного момента.

4. ЭМ- наклонная прямая на участках, свободных от действия равномерно распределенной нагрузки и парабола, обращенная выпуклостью навстречу нагрузке на участках действия равномерно распределенной нагрузки.

**Пример:** Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов (рис.1)

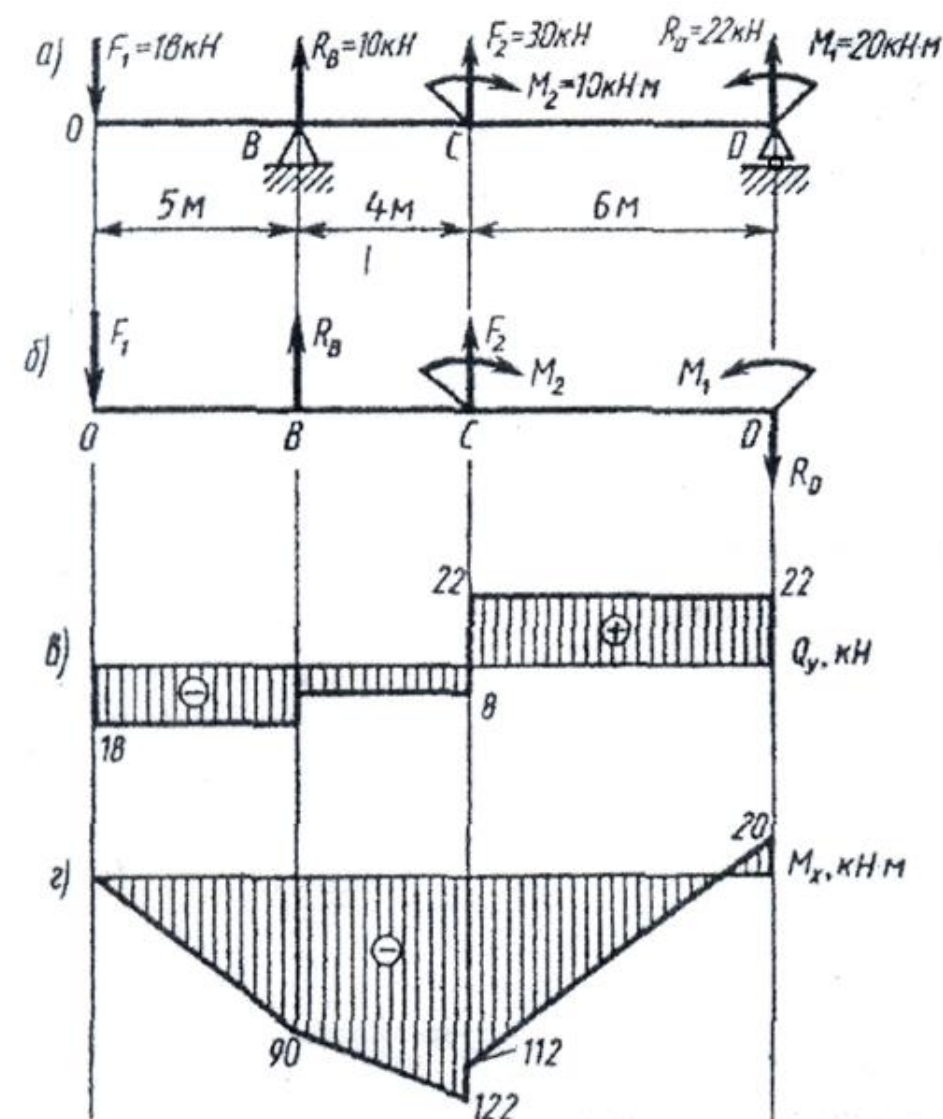


Рисунок 1. Расчетная схема к примеру.

1. Определение опорных реакции и проверка правильности найденных значений:

$$\sum M_D = 0; -F_1 \cdot OD + R_B \cdot BD + M_2 + F_2 \cdot CD - M_1 = 0 \quad (1)$$

Решая уравнение (1) получим  $R_B = 10 \text{ kN}$ .

$$\sum M_B = 0; -F_1 \cdot OB - R_D \cdot BD - F_2 \cdot BC + M_2 - M_1 = 0 \quad (2)$$

Из уравнения (2)  $R_D = -22 \text{ kN}$

Т.к. реакция  $R_D$  получилась со знаком минус, то изменяем ее первоначальное направление на противоположное. Истинное направление реакции  $R_D$  — вниз.

$$\text{Проверка: } \sum F_{iy} = -F_1 + R_B + F_2 - R_D = -18 + 10 + 30 - 22 = 0.$$

Уравнение равновесия статики  $\sum F_{iy} = 0$  выполняется, следовательно реакции опор определены верно. При построении эпюр используем только истинные направления реакций опор.

2. Выделим на балке характерные точки: О, В, С, Д.

3. Определяем в характерных точках значения поперечной силы  $Q_y$  и строим эпюру поперечных сил слева направо в соответствии с полученными значениями поперечных сил в соответствующих точках:

$Q_y = \sum F_{iy \text{ ост.ч.}}$  (1) (если внешняя сила стремится повернуть вокруг рассматриваемого сечения по часовой стрелке, то она в формулу (1) входит со знаком (+), если против часовой стрелке – то со знаком (-) ).

$$Q_{y0} = -F_1 = -18 \text{ кН (используем правило концевого сечения);}$$

Поперечную силу в точках В и С считаем дважды по формуле (1), т. к. в точках В и С приложены сосредоточенные силы и на Э $Q_y$  должен быть скачок, равный величине этих сил:

Рассекаем слева от точки В, отбрасываем часть балки правее этого сечения и учитываем силы, приложенные к оставшейся части:

$$Q_{yB}^{\text{слева}} = -18 \text{ кН;}$$

Рассекаем справа от точки В, отбрасываем часть балки правее этого сечения и учитываем силы, приложенные к оставшейся части:

$$Q_{yB}^{\text{справа}} = -18 + 10 = -8 \text{ (кН);}$$

Рассекаем слева от точки С, отбрасываем часть балки правее этого сечения и учитываем силы, приложенные к оставшейся части:

$$Q_{yC}^{\text{слева}} = -18 + 10 = -8 \text{ (кН);}$$

Рассекаем справа от С, отбрасываем часть балки правее этого сечения и учитываем силы, приложенные к оставшейся части:

$$Q_{yC}^{\text{справа}} = -18 + 10 + 30 = 22 \text{ (кН);}$$

$$Q_{yD} = 22 \text{ кН (по правилу концевого сечения).}$$

4. Определяем в характерных точках значения изгибающего момента  $M_x$ , и строим эпюру изгибающих моментов слева направо:

$M_x = \sum M_{\text{сеч}} (F_{iy \text{ ост. ч.}})$  (2) ( правило знаков: если сила стремится изогнуть оставшуюся часть выпуклостью вниз, то знак (+), если выпуклостью вверх, то – знак (-) ):

$$M_{x0} = 0 \text{ (по правилу концевого сечения);}$$

Рассекаем в точке В, отбрасываем правую от полученного сечения часть и определяем моменты сил, приложенных к оставшейся части:

$$M_{XB} = -18 \cdot OB = -18 \cdot 5 = -90 \text{ кНм};$$

Определяем изгибающий момент в точке С дважды, т. к. в точке С приложен сосредоточенный момент и на эпюре изгибающих моментов должен быть скачок на величину этого момента:

Рассекаем в точке С слева от точки С, отбрасываем правую от полученного сечения часть и определяем моменты сил, приложенных к оставшейся части:

$$M_{XC}^{\text{слева}} = -F_1 \cdot OC + R_B \cdot BC = -18 \cdot 9 + 10 \cdot 4 = -122 (\text{кН м})$$

Рассекаем в точке С справа от точки С, отбрасываем правую от полученного сечения часть и определяем моменты сил, приложенных к оставшейся части:

$$M_{XC}^{\text{справа}} = -F_1 \cdot OC + R_B \cdot BC + M_2 = -18 \cdot 9 + 10 \cdot 4 + 10 = -112 (\text{кН м});$$

$$M_{XD} = 20 (\text{кНм}) \text{ ( по правилу концевого сечения)}$$

### Задание к практической работе:

Для заданных схем нагружения балок: определить реакции связей, построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов (рисунок 3), определить положение наиболее опасного сечения.

### Ход выполнения работы

1. Записать задание и выбрать исходные данные в соответствии с вариантом по таблице 1.

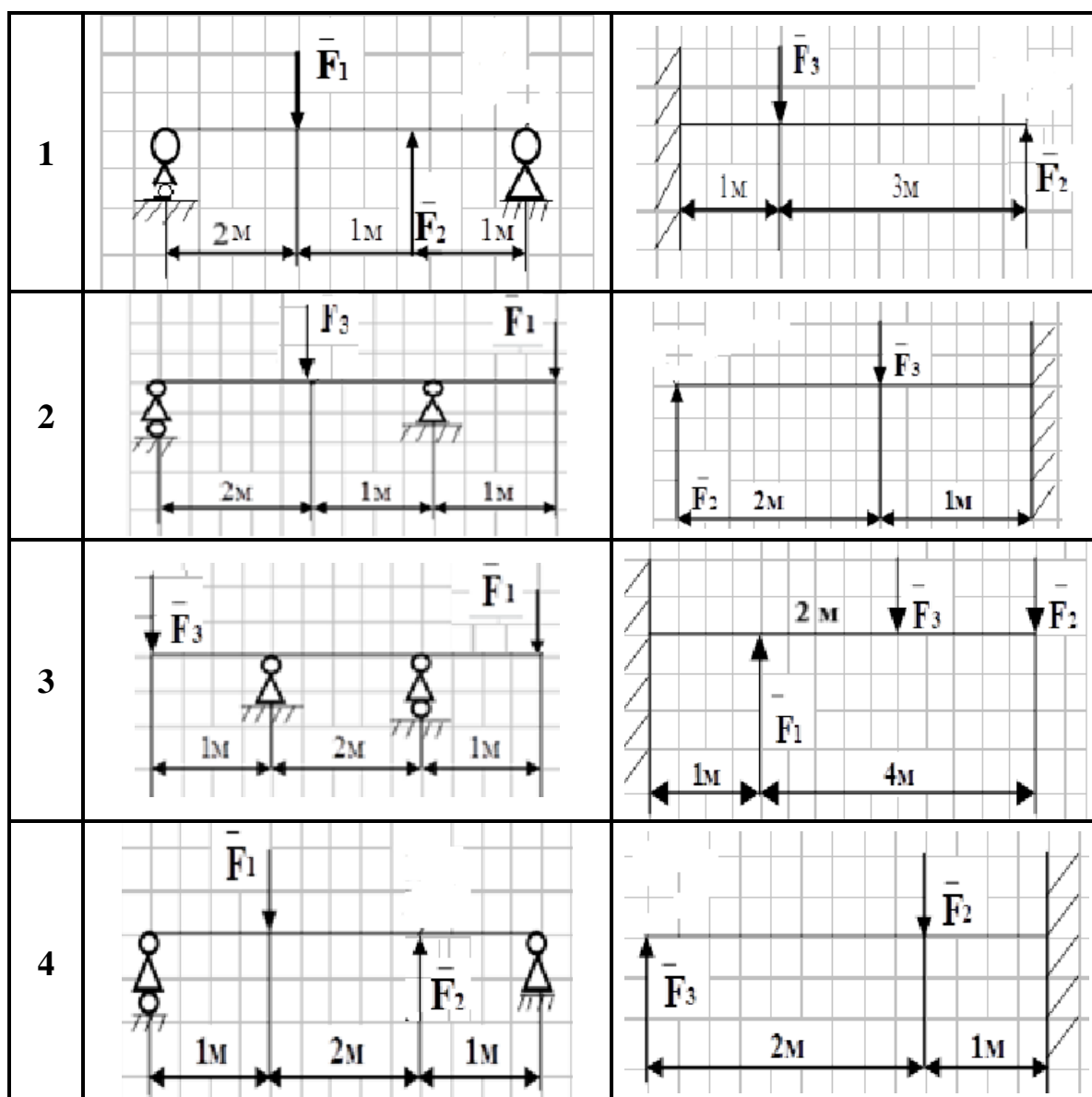
Таблица 1 - Исходные данные к практической работе.

вари-анта	№ схемы	$F_1$ , кН	$F_2$ , кН	$m$ , кНм
1	1	6	-	9
2	2	8	6	5
3	3	5	8	6
4	4	12	15	8
5	5	8	12	-
6	6	6	11	15
7	7	15	-	9
8	8	10	20	-
9	9	16	12	4
10	10	8	6	8
11	1	12	-	18
12	2	10	5	6
13	3	8	14	-5
14	4	3	9	8



15	5	16	20	-
16	6	9	10	12
17	7	15	-	9
18	8	25	15	-
19	9	16	12	12
20	10	8	10	6
21	1	12	-	6
22	2	8	2	4
23	3	10	5	8
24	4	14	9	10
25	5	20	12	-
26	6	8	10	4
27	7	18	-	12

2. Выполнить схему нагружения в соответствии с вариантом по таблице 1 и рисунку 2.



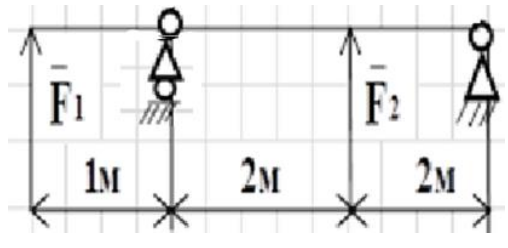
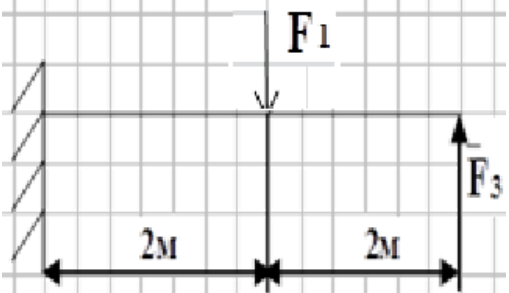
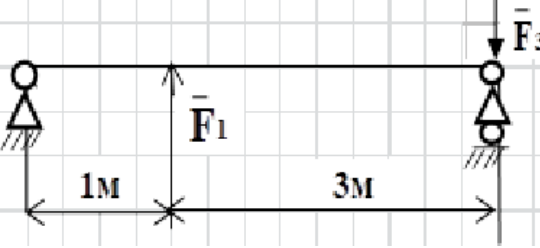
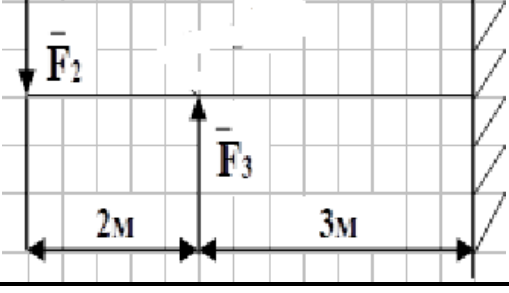
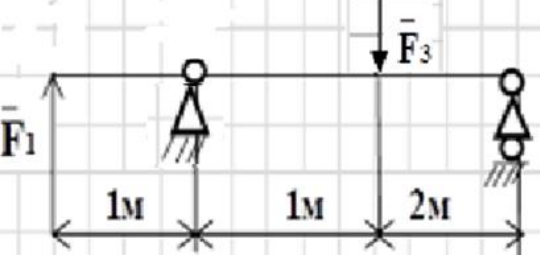
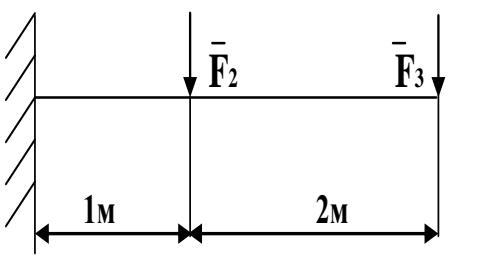
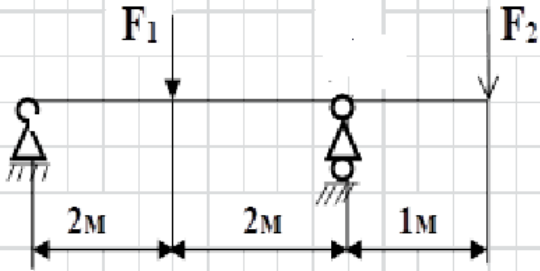
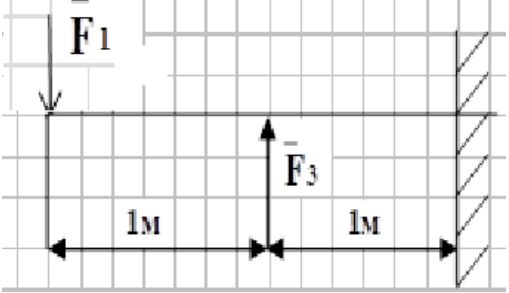
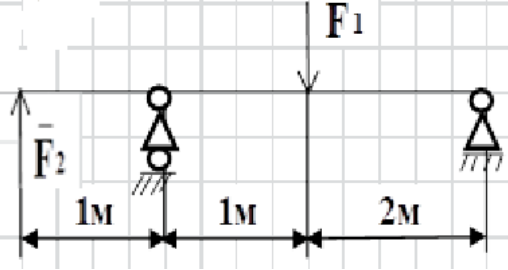
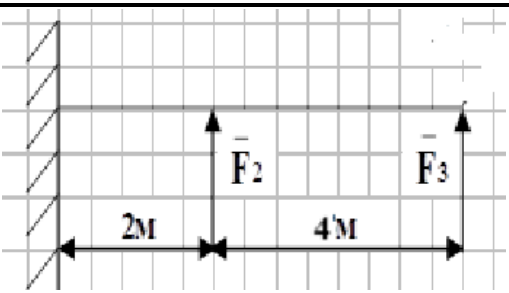
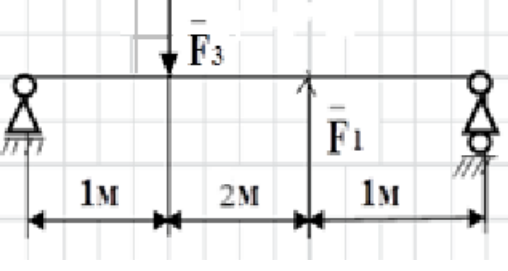
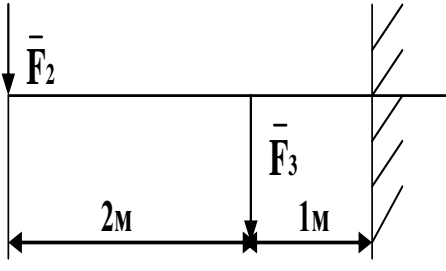
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Рисунок 2 - Схемы нагружения к практической работе

3. Определить реакции связей (для двух опорной балки):
  - 3.1. заменить связи реакциями связей;
  - 3.2. составить уравнения равновесия и определить реакции связей;
  - 3.3. произвести контроль правильности определенных реакций.
4. Построить ЭQ:
  - 4.1. определить величину поперечной силы в характерных точках (в сечениях приложения сосредоточенных сил расчет произвести дважды: слева и справа от сечения);
  - 4.2. построить ЭQ по полученным ординатам.
5. Построить ЭM:
  - 5.1. определить величину изгибающего момента в характерных точках (в сечениях приложения сосредоточенных моментов расчет произвести дважды: слева и справа от сечения);
  - 5.2. построить ЭM по полученным ординатам.
6. Произвести контроль правильности построенных эпюр.
7. Определить положение наиболее опасного сечения.
8. Сформулировать вывод по работе.
9. Ответить на контрольные вопросы.
  - 1). Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечных сечениях при поперечном изгибе?
  - 2). Запишите формулу для определения поперечной силы, укажите правило знаков.
  - 3). Запишите формулу для определения изгибающего момента, укажите правило знаков.
  - 4). Объясните причину скачкообразного изменения ординат ЭQ и ЭM .
  - 5). С какой целью строятся ЭQ и ЭM?

### **Структура отчета по практической работе**

1. Номер и название работы
2. Цель:
3. Задание

- 3.1. Схеманагружения.
- 3.2. Исходные данные:
- 3.3. Расчет реакций связей.
- 3.4. Определение величины поперечной силы в характерных точках и построение ЭQ.
- 3.5. Определение величины изгибающего момента в характерных точках и построение ЭМ.
- 3.6. Контроль правильности построенных эпюр.
- 3.7. Определение положения наиболее опасного сечения.
4. Вывод по работе.
5. Ответы на контрольные вопросы:

## **Практическая работа №12.**

### **Расчет на прочность при изгибе.**

**Цель:** освоение методики прочностных расчетов балок, изготовленных из пластичных материалов.

**Умения (элементы):** определять напряжения в элементах конструкций (определение положения наиболее опасного сечения при изгибе, проверочный расчет на прочность при изгибе)

**Знания:** методика расчета элементов конструкций на прочность (правила построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов, условие прочности при изгибе, сущность проверочного расчета при изгибе)

### **Теоретический материал**

При изгибе расчет на прочность производят по нормальным напряжениям изгиба. Сущность расчета на прочность заключается в определении максимальных напряжений в наиболее опасном сечении и в сравнении их величины с допускаемыми напряжениями:

#### ***Условие прочности для пластичных балок***

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{x \max}}{W_x} \leq [\sigma]$$

**Осевой момент сопротивления** для различных сечений- геометрическая характеристика прочности поперечного сечения при изгибе:

-для круга  $W_x = 0,1 \cdot d^3$

-для кругового кольца  $W_x = 0,1 \cdot d^3(1-\alpha^4)$

-для прямоугольника  $W_x = \frac{bh^2}{6}$

На основании условия прочности возможны три вида расчетов:

1. **проверочный** (проверяется обеспечение прочности выполнением условия прочности);

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{x \max}}{W_x} \leq [\sigma]$$

2. **проектный** (определяются размеры поперечного сечения)

$$W_x \geq \frac{M_{x \max}}{[\sigma]};$$

3. **определение величины максимально допустимой внешней нагрузки**

$$M_{x \max} \leq W_x \cdot [\sigma]$$

**Пример расчета:** Проверить прочность двух опорной балки (рис.1), если  $[\sigma]=160 \text{ н/мм}^2$  для следующих вариантов: а) поперечное сечение: круг  $d=90 \text{ мм}$ ; б) поперечное сечение : прямоугольник  $h=80$ ;  $b = 50 \text{ мм}$ .

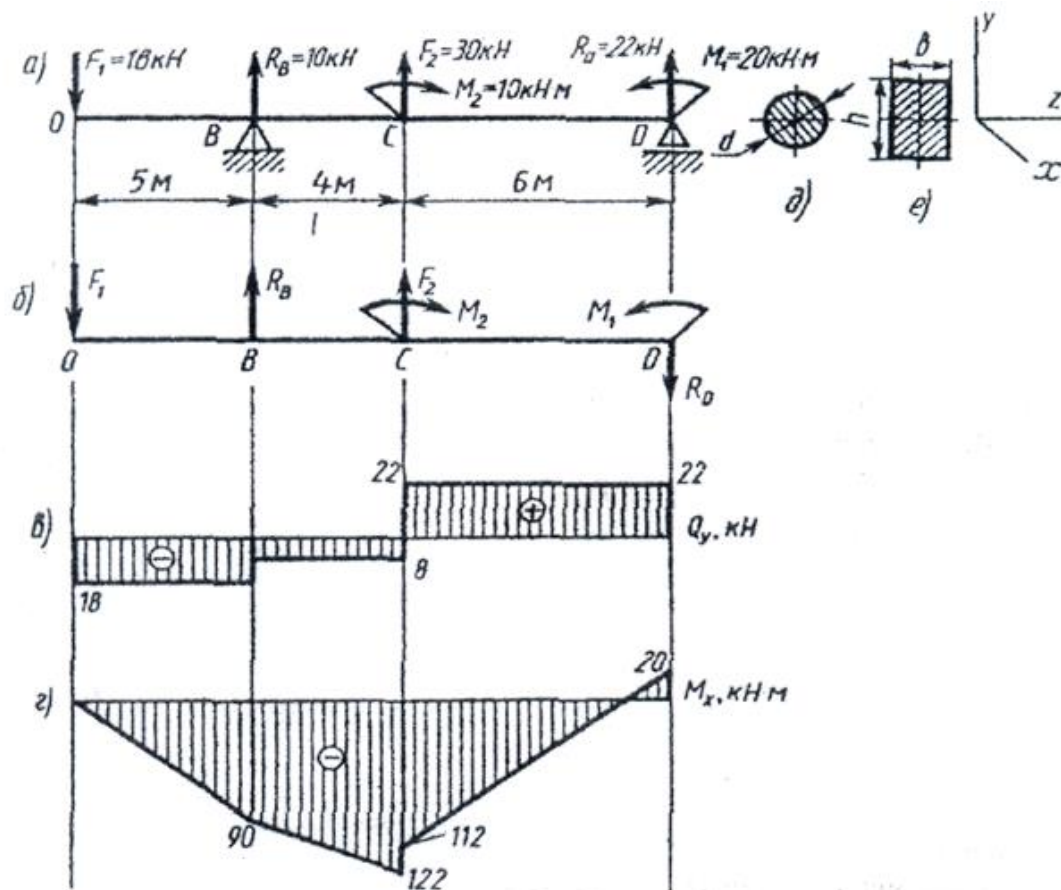


Рисунок 1. Расчетная схема к примеру.

1. Из практической работы №12 определяем положение наиболее опасного сечения, анализируя ЭМ<sub>x</sub> (рис.1): наиболее опасное сечение В, т.к.

$$M_{x\max} = 122 \text{ кНм} = M_B.$$

2. Проверка прочности наиболее опасного сечения:

2.1 сечение – прямоугольник с заданным соотношением сторон.

Используя формулу 
$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{50 \cdot 80^2}{6} = 53333 \text{ (мм}^3\text{)},$$

проверяем прочность балки по условию прочности:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{x\max}}{W_x} \leq [\sigma];$$

$$\sigma_{\max} = \frac{122 \cdot 10^6}{53333} = 228,0 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

Вывод: прочность балки не обеспечена, т. к.

$$\sigma_{\max} = 228,0 \text{ Н/мм}^2 > [\sigma] = 160 \text{ Н/мм}^2$$

2.2. сечение – круг:

Используя формулу  $W_x = 0,1d^3 = 0,1 \cdot 90^3 = 72900 \text{ мм}^3$

Проверяем прочность балки:

$$\sigma_{\max} = \frac{122 \cdot 10^6}{72900} = 267,3 \left( \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \right)$$

Вывод: прочность не обеспечена, т.к.  $\sigma_{\max} = 267,3 \text{ Н/мм}^2 > [\sigma] = 160 \text{ Н/мм}^2$

**Задание:** Проверить прочность стальной балки (исходные данные и схему нагружения взять из практической работы №11). В случае нарушения прочности предложить возможные варианты обеспечения прочности. Исходные данные принять в соответствии с вариантом.

Таблица. Исходные данные к практической работе

№вар	Допускаемое напряжение $[\sigma]$ , Н/мм <sup>2</sup>	Поперечное сечение
1	160	Круг, d=50мм Прямоугольник, h=40мм, b=30мм
2		Кольцо d=70мм, d0=60мм Квадрат a=55
3		Прямоугольник h=80мм, b=40мм Круг, d=70мм
4		Квадрат, a=40мм Кольцо d=55мм, d0= 40мм
5		Круг, d=70мм Прямоугольник h=42мм, b=34мм
6	190	Кольцо d=60мм, d0= 50мм Круг, d=52мм
7		Прямоугольник h= 60мм, b=40мм Круг. d=56мм
8		Квадрат a= 50мм Кольцо d=40мм d0=28мм
9		Круг, d=60мм Прямоугольник h= 60мм, b=40мм
10		Кольцо d=50мм d0=45мм Квадрат, a = 44мм
11		Прямоугольник h=70мм b=30мм Круг, d=58мм
12	210	Прямоугольник h= 58мм b=30мм Кольцо d=45мм, d0=20мм
13		Круг, d=62мм Квадрат, a = 62мм
14		Кольцо d=75мм, d0=65мм Прямоугольник h= 60мм, b=40мм
15		Прямоугольник h= 45мм b=25мм Круг, d=39мм
16		Квадрат a=60мм Кольцо d=60мм, d0=45мм

17	200	Круг, $d=50\text{мм}$ Прямоугольник $h=44\text{мм}$ $b=32\text{мм}$
18		Кольцо $d=70\text{мм}$ , $d_0=60\text{мм}$ Прямоугольник $h=58\text{мм}$ $b=35\text{мм}$
19		Прямоугольник $h=70\text{мм}$ $b=50\text{мм}$ Круг, $d=64\text{мм}$
20		Квадрат $a=80\text{мм}$ Кольцо $d=75\text{мм}$ , $d_0=58\text{мм}$
21		Круг, $d=70\text{мм}$ Прямоугольник $h=68\text{мм}$ $b=42\text{мм}$
22	175	Квадрат $a=54\text{мм}$ Круг, $d=54\text{мм}$
23		Кольцо $d=80\text{мм}$ $d_0=70\text{мм}$ Квадрат $a=64\text{мм}$
24		Прямоугольник $h=45\text{мм}$ $b=25\text{мм}$ Круг, $d=38\text{мм}$
25		Круг, $d=65\text{мм}$ Кольцо $d=65\text{мм}$ $d_0=55\text{мм}$
26		Кольцо $d=52\text{мм}$ , $d_0=40\text{мм}$ Круг $d=52\text{мм}$

### Контрольные вопросы:

1. Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечном сечении при поперечном изгибе?
2. Записать формулы для определения поперечной силы и изгибающего момента в любом поперечном сечении
3. Как определить величину поперечной силы и изгибающего момента в концевом сечении?
5. Сформулируйте сущность проверочного и проектного расчетов на прочность при изгибе?
6. Запишите условие прочности при изгибе.
7. Укажите возможные варианты обеспечения прочности элементов конструкций.

### Ход выполнения работы

1. Определив положение наиболее опасного сечения (по эпюре изгибающих моментов из практической работы №11) выполнить проверочный расчет на прочность для двух заданных сечений.
2. Проанализировать полученный результат.



3. Предложить варианты обеспечения прочности (при необходимости).
4. Ответить на контрольные вопросы.
5. Сформулировать вывод по работе.

### **Отчет по работе.**

#### **Практическая работа №12**

##### **Расчет на прочность при изгибе**

Цель:

1. Схема нагружения.
2. Исходные данные.
3. Определение положения наиболее опасного сечения.
4. Выполнение проверочного расчета балки на прочность.
5. Анализ полученного результата.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод по работе.

### **Практическая работа №13.**

#### **Кинематический и динамический расчет многоступенчатого привода.**

**Цель:** освоение методики кинематического и силового расчета многоступенчатого привода.

**Умения:** -производить расчеты механических передач; (определять виды механических передач, используемые в приводе; определять кинематические и силовые характеристики механических приводов);

**Знания:** основы расчетов механических передач и простейших сборочных единиц общего назначения; (условные обозначения, используемые в кинематических схемах; формулы для определения передаточных отношений, КПД, мощности, вращающих моментов отдельных элементов и всего привода в целом).

### **Теоретический материал**

*Механическая передача* – механизм, служащий для передачи энергии на расстояние. Функции передачи: согласование скоростей исполнительных

органов со скоростью двигателя; регулирование и реверсирование скорости исполнительного механизма, преобразование вращательного движения двигателя в поступательное движение исполнительного органа машины, приведение в движение нескольких исполнительных механизмов одновременно от одного двигателя.

В каждой передаче различают ведущее звено (передающее движение) и ведомое (приводимое в движение от ведущего). Передача, состоящая из нескольких пар ведущего и ведомого звеньев, называется многоступенчатой.

Механическая передача имеет ряд кинематических и силовых характеристик

К кинематическим характеристикам механической передачи относятся:

- угловая скорость  $\omega$ ,  $\text{с}^{-1}$ ;
- частота вращения  $n$ ,  $\text{мин}^{-1}$ ;
- окружная скорость  $V$ ,  $\text{м/с}$ ;
- передаточное отношение  $u$ .

Передаточное отношение – безразмерная величина, показывающее во сколько раз передача изменяет скорость вращения

$$u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Передача, понижающая скорость ( $u > 1$ ), называется редуктором. Для многоступенчатой передачи

$$u = u_1 \cdot u_2 \cdot \dots \cdot u_n$$

где  $u_1, \dots, u_n$  – передаточные отношения отдельных ступеней.

К силовым характеристикам относятся:

- мощность  $P$ ,  $\text{Вт}$   $P = M \cdot \omega$
- вращающий момент  $M$ ,  $\text{Н} \cdot \text{м}$   $M = P / \omega$

-коэффициент полезного действия,  $\eta = \frac{P_{\text{полез}}}{P_{\text{затрач}}}$

КПД многоступенчатой передачи

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n$$

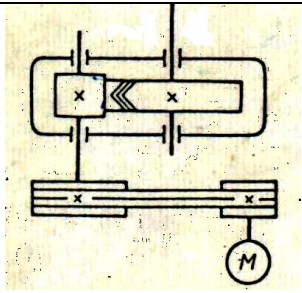
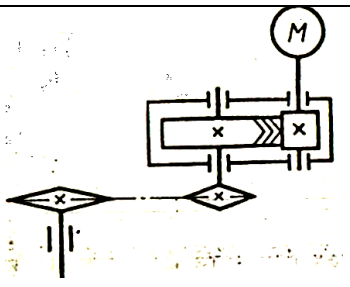
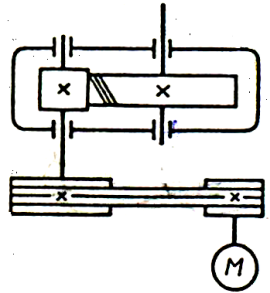
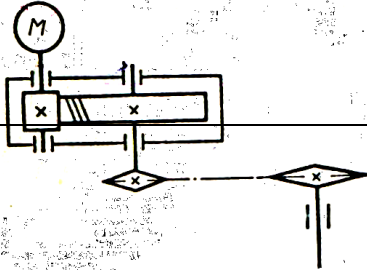
где  $\eta_1 \dots, \eta_n$  - КПД каждой кинематической пары (зубчатой, ременной, цепной) а также других звеньев привода (подшипников, муфты) и т. д.

**Задание к практической работе:** для заданной схемы привода выполнить кинематический и силовой расчет привода.

### Ход выполнения работы

1. Записать задание, выбрать кинематическую схему и исходные данные в соответствии с вариантом (таблица 1)

Таблица 1- Варианты заданий к практической работе.

№п/п	Мощность двигателя, $P_{дв}$ , кВт	Частота вращения двигателя $n_{дв}$ , мин <sup>-1</sup>	Передаточное отношение зубчатой передачи $u_з$	Передаточное отношение ременной передачи $u_р$	Передаточное отношение цепной передач и $u_ц$	Кинематическая схема привода
1	4,6	130	1,25	2,1	-	
2	3,2	118	1,6	2,4	-	
3	1,8	80	2,0	3,2	-	
4	3,4	140	2,5	3,6	-	
5	2,5	100	3,15	2,8	-	
6	4,5	95	4,0	-	2	
7	2,5	60	5,0	-	2,1	
8	1,7	120	6,3	-	3,2	
9	2,3	130	1,12	-	4	
10	3,3	80	1,40	-	3,8	
11	4,6	120	1,8	3,7	-	
12	3,3	100	2,24	2,7	-	
13	4,5	100	2,8	2,1	-	
14	1,8	90	3,55	2,4	-	
15	2,5	85	4,5	3,2	-	
16	1,7	112	5,6	-	4	
17	3,2	160	1,25	-	2,6	

18	4,5	110	1,6	-	2,9	
19	4,4	150	2,0	-	3	
20	5,2	130	2,5	-	3,6	
21	4,3	40	3,15	2,9		
22	3,4	50	4,0	2,2		
23	4,5	30	5,0	3,4		
24	6	30	6,3	3,7		
25	3,5	50	7,1	2,7		

2. Определить КПД привода  $\eta = \eta_p \cdot \eta_z \cdot \eta_{ц} \cdot \eta_n^a, (1)$

где  $\eta_p, \eta_z, \eta_{ц}, \eta_n$  – КПД соответственно ременных, зубчатых, цепных передач и пар подшипников, значение которых определяется с помощью таблицы 2.

Количество элементов, которые способствуют потере мощности определяется исходя из схемы соответствующего варианта.

$a$  - количество пар подшипников.

Таблица 2. Значения КПД механических передач

Тип передачи	Закрытая	Открытая
Зубчатая: цилиндрическая	0,96..0,97	
Ременная: плоским ремнем		0,96...0,98
Цепная передача		0,90...0,93
Примечания: 1. Потери в подшипниках на трение оцениваются следующим коэффициентами: для одной пары подшипников скольжения принимаются $\eta_n=0,98...0,99$ .		

3. Определить передаточное отношение привода

$$u_{\text{воз}} = u_z \cdot u_p, (3)$$

где  $u_z$  - передаточное отношение зубчатой передачи;

$u_p$  – передаточное отношение ременной передачи;

4. Определяем скорости валов  $n$  следующим образом:

$$n_I = n_{\text{дв}}, \\ n_{II} = \frac{n_I}{u},$$

где  $u$  – передаточное отношение той передачи, что расположена между первым и вторым валом.

Скорость вращения третьего вала  $n_{III}$  определяется аналогичным образом.

5. Определяем мощности на валах Р следующим образом:

$$P_I = P_{\text{дв}}$$

$$P_{II} = P_I \cdot \eta$$

где  $\eta$  – КПД тех элементов привода, которые расположены на пути передачи мощности от двигателя до рассматриваемого вала.

Мощность третьего вала  $P_{III}$  определяется аналогичным образом.

6. Определяем вращающие моменты на валах привода М:

$$M_I = \frac{P_I \cdot 10^3}{\omega_I}$$

$$\omega_I = \frac{\pi \cdot n_I}{30}$$

7. Сформулировать вывод по работе.

### **Контрольные вопросы:**

- 1). Перечислите кинематические характеристики механической передачи.
- 2). Поясните физический смысл передаточного отношения и запишите формулы для его определения через кинематические и геометрические параметры ведущего и ведомого элементов.
- 3). Как определяется передаточное отношение многоступенчатого привода?
- 4). Перечислите силовые характеристики механической передачи?

### **Отчет по работе**

#### **Практическая работа №13.**

Кинематический и динамический расчет многоступенчатого привода.

Цель:

1. Кинематическая схема привода.
2. КПД привода
3. Передаточное отношение привода
4. Скорости валов
5. Мощности на валах
6. Вращающие моменты на валах привода

7. Сформулировать вывод по работе.
8. Ответить на контрольные вопросы:

## Практическая работа № 14.

### Расчёт ременной передачи

**Цель:** освоение методики расчета ременной передачи.

**Умения:** производить расчеты механических передач.

**Знания:** основы расчетов механических передач.

### Теоретический материал

Ременная передача относится к передачам трением с гибкой связью. Состоит из ведущего и ведомого шкивов, огибаемых ремнём (рисунок 1). Нагрузка передаётся силами трения возникающими между шкивом и ремнём вследствие натяжения последнего.

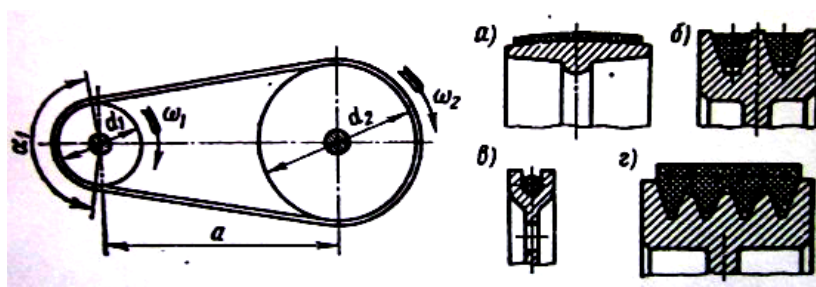


Рисунок 1 - Схема ременной передачи

В зависимости от формы поперечного сечения ремня передачи бывают:

- плоскоременные (рисунок 1а) — применяют при больших межосевых расстояниях и высоких скоростях;

- клиноременные (рисунок 1 б) — используют при малых межосевых расстояниях, больших передаточных числах, вертикальном положении осей валов;

- круглоременные (рисунок 1 в) — применяют только при малых мощностях;

- поликлиноременные (рисунок 1 г) — сочетают достоинства плоскоременных и клиноременных передач;

- зубчато-ременные — используют при больших нагрузках.

Данные передачи применяются во всех отраслях машиностроения и преимущественно в тех случаях, когда по условиям конструкции валы расположены на значительных расстояниях. Передаваемая мощность  $P$  обычно до 50 кВт при скорости ремня  $v = 5 \dots 100$  м/с для плоскоремennых передач и  $v = 5 \dots 40$  м/с для клино- и поликлиноремennых передач.

Ограничение мощности и минимальной скорости вызвано большими габаритами передачи. Верхний предел скоростей ограничивается ухудшением условий работы ремней в связи с ростом действующих на них центробежных сил, нагревом, образованием воздушных подушек между ремнём и шкивами и отсюда резким понижением долговечности и КПД передач.

Ремennые передачи применяют для быстроходности ступени привода как менее нагруженной, так как в этом случае их важнейший недостаток – большие габариты – оказывают наименьшее влияние на габариты и массу привода в целом.

Основными критериями работоспособности ремennых передач являются:

- тяговая способность* – надёжность сцепления ремня со шкивами,
- долговечность*, которая определяется сопротивлением усталости ремня.

Исследуя тяговую способность, строят графики – кривые скольжения и КПД, на их базе разработан современный метод расчёта ремennых передач.

Необходимым условием работы ремennой передачи является *предварительное натяжение ремня*  $F_0$ : чем выше предварительное натяжение ремня, тем больше тяговая способность и КПД передачи, но меньше долговечность ремня.

*Приводные ремни*: должны обладать достаточными прочностью, долговечностью, гибкостью, износостойкостью, невысокой стоимостью и определённой тяговой способностью.

Основные типы приводных ремней:

- плоские* (подразделяются на резинотканевые ремни трёх типов А, Б, В, - при скорости 30 м/с и ремни из синтетических материалов – при скорости до 100 м/с);

*-клиновые* (бывают нормального сечения, которые подразделяются на кордотканевые и кордошнуровые семи сечений 0, А, Б, В, Г, Д, Е, отличающихся размерами – используют при скоростях менее 30 м/с и узкие, выпускаемые в четырёх сечениях У0, УА, УБ, УВ, которые полностью заменяют семь сечений нормальных ремней – используются при скорости до 50 м/с);

*-поликлиновые* (бесконечно плоские ремни с продольными выступами на внутренней поверхности, которые входят в кольцевые клиновые канавки на шкивах, выпускают трёх сечений К, Л, М – применяют при скорости до 50 м/с).

*Зубчатые ремни* представляют собой бесконечную ленту с зубьями на внутренней поверхности.

*Шкивы:* материалы и способ изготовления зависят от окружной скорости ремня:

-при окружной скорости до 30 м/с – литые шкивы из чугуна СЧ10 и СЧ15;

-при скоростях порядка 30 – 50 м/с – литые или сварные шкивы из стали не ниже 25Л;

-при скоростях более 50 м/с – шкивы из алюминиевых сплавов.

Для уменьшения массы и повышения коэффициента трения между ремнём и шкивами шкивы изготавливают из пластмасс (текстолит и волокнит). Форма обода шкивов зависит от профиля ремня и регламентирована ГОСТ (для плоскоремённых передач ГОСТ 17383-80, для клиноремённых – ГОСТ 20889-80).

Расчётные диаметры шкивов  $d$  (мм) подбирают из стандартного ряда по ГОСТ 17383-73: 40, 45, 50, 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 125, 140, 160, 180, 200, 224, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 560, 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, 2000.

*Натяжные устройства* предусмотрены для регулирования межосевого расстояния, что позволяет свободно надевать новые ремни на шкивы, создавать предварительное натяжение и периодически восстанавливать ремни.



**Задания к практической работе:** Рассчитать клиноременную передачу от электродвигателя к редуктору привода конвейера. Мощность электродвигателя  $P_1$ , угловая скорость ведущего шкива  $\omega_1$ . Передаточное число  $u$ . Угол наклона линии центров шкивов к горизонту  $60^\circ$ . (таблица 1)

### Ход выполнения работы

1. Записать условие задачи и исходные данные в соответствии с вариантом (табл. 1).

Таблица 1. Исходные данные к практической работе.

Данные для расчета	Варианты												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
P <sub>1</sub> , кВт	9.5	5	4	2.3	7.2	13	3	10	7.5	11	13	7	
ω, с <sup>-1</sup>	152	150	380	75	105	152	75	102	153	105	120	108	
и	4	2	4	3	3	4	4	2.5	2	3	3	2	
Нагрузка	Спокойная				Значительные колебания				Умеренные колебания				
Работа	Двухсменная								Односменная				
Ремень	Клиновой ремень нормального сечения												
Данные для расчета	Варианты												
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
P <sub>1</sub> , кВт	10	5.5	4.5	3.8	2.8	5	11	3.6	9	7.5	4	8	2.8
ω, с <sup>-1</sup>	152	150	140	100	80	105	142	85	120	153	107	136	80
и	4	2	3	2	4	3	2	4	3	2	3	4	2
Нагрузка	Ударная и резко неравномерная				Умеренные колебания				Значительные колебания				
Работа	Двухсменная				Трёхсменная								
Ремень	Клиновой ремень нормального сечения												

2. Выполнить расчёт ременной передачи по предложенным в данной инструкции алгоритмам в соответствии с выбранным вариантом:

1) Определение частоты вращения малого шкива

$$n_1 = \frac{30 \cdot \omega_1}{\pi}$$

2) Определение вращающего момента

$$M_1 = P_1 / \omega_1$$

3) По передаваемой мощности  $P_1$  и частоте вращения малого шкива  $\omega_1$  выбор сечение клиновидного ремня (рисунок 2)

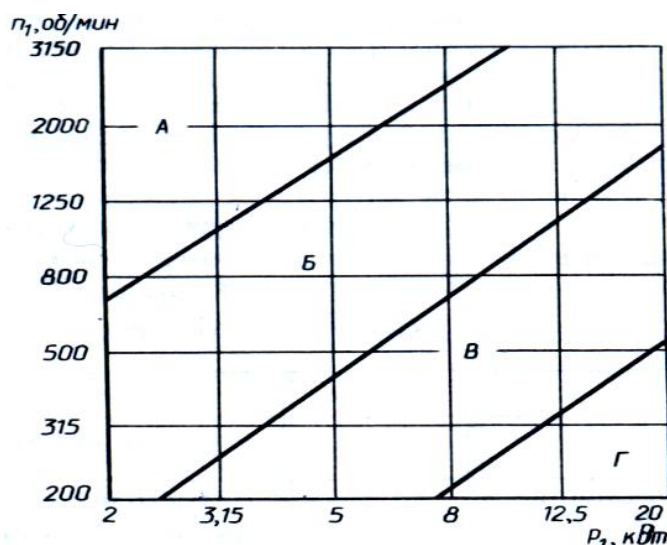


Рисунок 2 - Номограмма для выбора типоразмера клиновых ремней.

4) Определение минимально допустимого диаметра ведущего шкива (табл. 2)

Таблица 2 - Минимальные значения диаметра меньших шкивов

Обозначение сечения ремня	Нормального сечения	
	А	Б
$d_1$ , мм	90	125

5) Определение скорости ремня и сравнение её с максимально допустимой

$$V = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60 \cdot 1000} \leq 25 \text{ м/с.}$$

6) Расчёт диаметра большого шкива

$$d_2 = u \cdot d_1 \cdot (1 - \xi), \quad \text{где } \xi = 0,015.$$

Значение  $d_2$  принять по стандартному ряду чисел: : 40, 45, 50, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 125, 140, 160, 180, 200, 224, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 630, 710, 800

7) Определение фактического передаточного числа

$$u = \frac{d_2}{d_1 \cdot (1 - \xi)},$$

8) Определение ориентировочного межосевого расстояния

$$a_{\min} = 0,55 \cdot (d_1 + d_2) + h,$$

где  $h$  – высота сечения ремня /таблица 3/.

Таблица 3 - Основные параметры клиновых ремней.

Основные размеры, мм						
	Обозначение сечения ремня					
	Нормальное сечение по ГОСТ 1284—80			Узкое сечение по ТУ 38-40534—75		
	0	А	Б	УО	УА	УБ
$b_p$	8,5	11	14	8,5	11	14
$b_0$	10	13	17	10	13	17
$g_0$	2,1	2,8	4,0	2,0	2,8	3,5
$h$	6	8	10,5	8	10	13
Площадь сечения А, мм <sup>2</sup>	47	81	138	56	95	158

### 9) Расчёт длины ремня

$$l = 2 \cdot a_{\min} + 0,5 \cdot \pi \cdot (d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 \cdot a_{\min}},$$

(полученное значение округлить до стандартного)

*Примечание:* Стандартный ряд длин: 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000.

1120, 1250, , 1400, 1800, 2000, 2240, 2500, 2800, 3150, 3550, , 4000, 4500, 5000,

5600, 6300, 7100, 8000, 9000, 10000, 11200, 12500, 14000, 16000, 18000.

$$l_{\text{стандарт}} =$$

### 10) Определение фактического межосевого расстояния

$$a = \frac{2 \cdot l_{\text{стандарт}} - \pi(d_2 + d_1) + \sqrt{[2 \cdot l_{\text{стандарт}} - \pi(d_2 + d_1)]^2 - 8(d_2 - d_1)^2}}{8}.$$

### 11) Проверка долговечности ремня по числу пробегов в секунду

$$U = \frac{v}{l_{\text{стандарт}}} \leq [U] = 30 \text{ с}^{-1},$$

если  $U > [U]$ , то надо увеличить  $l$  и повторить расчёт

### 12) Определение угла обхвата ремнём малого шкива

$$\alpha_1 = 180^\circ - 57^\circ \cdot \left( \frac{d_2 - d_1}{a} \right) \geq 120^\circ$$

### 13) Расчет допускаемой мощности кВт, передаваемой одним ремнём в условиях эксплуатации

$$[P_n] = [P_0] \cdot C_a \cdot C_p \cdot C_l \cdot C_z,$$

где  $[P_0]$  -допускаемая приведённая мощность, передаваемая одним ремнем /таблица 4/

$C_\alpha$  – коэффициент, учитывающий угол обхвата (таблица 6)

$C_p$  – коэффициент динамичности нагрузки и длительности работы /таблица 5/;

$C_l$  – коэффициент, учитывающий влияние на долговечность длины ремня в зависимости от отношения расчётной длины ремня  $l$  к длине  $l_{\text{стандарт}}$ ,

выбранной из стандартного ряда  $\left(\frac{l}{l_{\text{стандарт}}}\right)$ . Таблица 7

$C_z$  – коэффициент неравномерности распределения нагрузки, учитывающий число ремней,  $C_z = 0,90$ .

Таблица 4 - Допускаемая приведенная мощность  $[P_0]$ , кВт, передаваемая одним клиновым ремнем.

Тип ремня	Сечение:	Диаметр меньшего шкива $d$ мм	Скорость ремня $v$ , м/с							
			2	3	5	10	15	20	25	30
Клиновой	А 1700	90	-	0,71	0,84	1,39	1,75	1,88	2,29	—
		100	-	0,72	0,95	1,60	2,07	2,31	2,82	2,50
		112	-	0,74	1,05	1,82	2,39	2,74	3,27	3,14
		125	-	0,80	1,15	2,00	2,66	3,10	3,67	3,64
		140	-	0,87	1,26	2,17	2,91	3,42	4,11	4,17
		160	-	0,97	1,37	2,34	3,20	3,78		
	Б 2240	125	-	0,95	1,39	2,26	2,80	-	-	-
		140	-	1,04	1,61	2,70	3,45	3,53	-	-
		160	-	1,16	1,83	3,15	4,13	4,73	4,88	4,47
		180	-	1,28	2,01	3,51	4,66	5,44	5,76	5,53
		200	-	1,40	2,10	3,73	4,95	5,95	6,32	6,23
		224	-	1,55	2,21	4,00	5,29	6,57	7,00	7,07

Таблица 5 - Коэффициент динамичности нагрузки и длительности работы  $C_p$

Характер нагрузки	спокойная	с умеренными колебаниями	со значительными колебаниями	ударная и резко неравномерная
$C_p$	1	0,9	0,8	0,7
Примечание. При двухсменной работе $C$ следует понижать на 0,1; при трехсменной — на 0,2.				

Таблица 6 - Коэффициент угла обхвата  $\alpha_1$ , на меньшем шкиве  $C_\alpha$

Угол обхвата $\alpha_1$ град		180	170	160	150	140	130	120
$C_\alpha$	для клиновых и	I	0,98	0,95	0,92	0,89	0,86	0,83

	поликлиновых ремней							
--	---------------------	--	--	--	--	--	--	--

Таблица 7- Коэффициент влияния отношения расчётной длины ремня  $l$  к длине  $l_{\text{стандарт}}, C_l$

Отношение		0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4
$C_l$	для клинового ремня нормального сечения	0,82	0,89	0,95	1	1,04	1,07

14) Определение числа клиновых ремней в комплекте

$$z = \frac{P_1}{[P_n]} \leq [z],$$

где  $[z] = 5$ —допускаемое число ремней (полученное значение принять целым).

15) Определение силы предварительного натяжения комплекта ремней

$$F_0 = \frac{0,85 \cdot P_1 \cdot 10^3 \cdot C_l}{u \cdot C_\alpha \cdot C_p}.$$

16) Определение силы, действующей на валы

$$F_b = 2 \cdot F_0 \cdot z \cdot \sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right)$$

3. Сформулировать вывод по работе.

4. Ответить на контрольные вопросы:

1). Перечислите основные геометрические параметры ременной передачи.

2). Напишите формулу для определения передаточного отношения ременной передачи.

3). Каковы основные критерии работоспособности ременных передач?

### Отчёт по работе

Практическая работа №14.

Расчет ременной передачи

Цель:

1.Задание к практической работе

2.Исходные данные

3. Расчёт передачи (по предложенному алгоритму в соответствии с вариантом):

4. Ответы на контрольные вопросы.

5. Вывод по работе.

### **Практическая работа №15**

#### **Расчёт цилиндрической зубчатой передачи на контактную прочность**

**Цель:** освоение методики проектного и проверочного расчетов зубчатой передачи на контактную и изгибную прочность

**Умения:** *производить расчеты механических передач*

**Знания:** *основы расчетов механических передач.*

#### **Теоретический материал**

Основными видами разрушения зубчатых передач являются усталостное разрушение боковой рабочей поверхности зубьев.

Сущность усталостного разрушения заключается в выкрашивании с рабочей поверхности зубьев мельчайших частиц металла. Основной причиной данного разрушения являются переменные контактные напряжения  $\sigma_H$ . Снижение вероятности усталостного разрушения возможно при рациональном подборе материала зубчатых колес и проведении расчета геометрических размеров зубчатой передачи на контактную прочность, сущность которого сводится к ограничению величины контактных напряжений.

В современных методиках расчета зубчатых передач за основу принят расчет по контактным напряжениям, который позволяет установить основной параметр передачи - межосевое расстояние. Исходя из этого параметра определяются все остальные геометрические параметры передачи: модуль зацепления, число зубьев шестерни и колеса, делительные диаметры, диаметры выступов и впадин, ширина зубчатых колес

Величина геометрических размеров цилиндрической зубчатой передачи зависит, в первую очередь от выбора марки материала, из которого изготовлены элементы зубчатой пары

Основными конструктивными элементами зубчатых колес являются обод, несущий зубья, ступица, насаживаемая на вал, и диск, соединяющий обод со ступицей (рисунок 1).

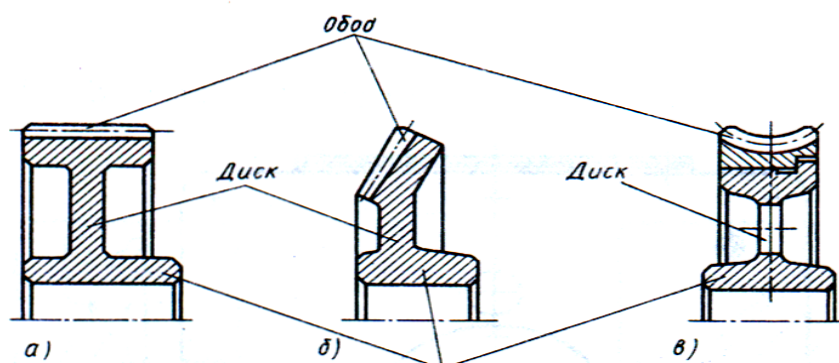


Рисунок 1 - Конструктивные элементы зубчатых колес.

*Обод* воспринимает нагрузку от зубьев и должен быть достаточно прочным и в тоже время податливым, чтобы способствовать равномерному распределению нагрузки по длине зуба. Жесткость обода обеспечивает его толщина  $S$ .

*Ступица* служит для соединения колеса с валом и может быть расположена симметрично и несимметрично относительно обода или равна ширине колеса. Это определяется конструктивными или технологическими условиями (*ступицу цилиндрических редукторов располагают симметрично относительно обода*). Длина ступицы  $L_{ст}$  должна быть оптимальной, чтобы обеспечить, с одной стороны, устойчивость колеса на валу, а с другой - получение заготовок ковкой и нарезание шпоночных пазов методом протягивания. Длину ступицы согласуют с расчетами соединения, выбранными для передачи вращающего момента с колеса на вал.

*Диск* соединяет обод со ступицей. Его толщина  $C$  определяется в зависимости от способа изготовления зубчатого колеса. Иногда в дисках колес делают отверстия, которые используют при транспортировке и обработке колес, а при больших размерах для уменьшения массы (*при диаметре  $d_a < 80$  мм эти отверстия, как правило, не делают.*).

На торцах зубчатого венца выполняют фаски  $f = (0,6 \dots 0,7) \cdot m$ , фаску выполняют под углом  $\alpha = 45^\circ$ . Острые кромки на торцах ступицы, углах обода притупляют также фасками.

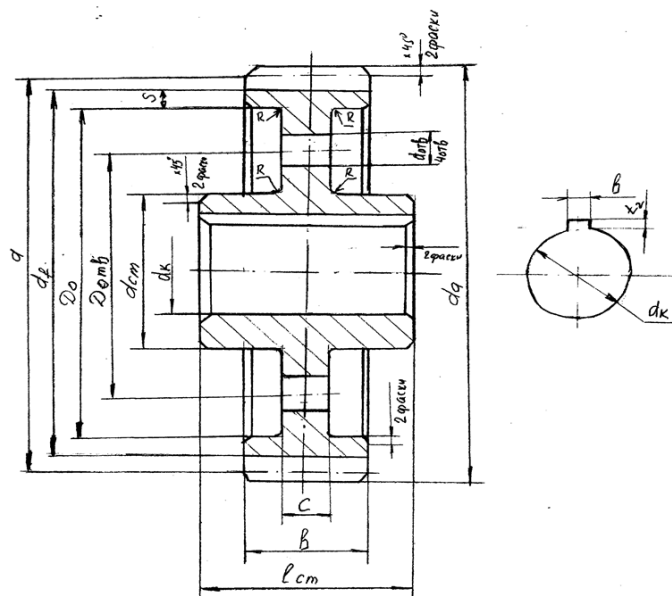


Рисунок 2 - Колесо зубчатое цилиндрическое

### Задание для практической работы:

1. Выполнить проектный расчет прямозубой цилиндрической передачи на контактную прочность, если величина допускаемых контактных напряжений  $[\sigma_H] = 409 \text{ МПа}$
2. Выполнить расчет конструктивных размеров ведомого зубчатого колеса.

№ варианта	Вращающий момент ведомого вала зубчатой передачи М, Н·м	Передаточное отношение зубчатой передачи u	№ варианта	Вращающий момент ведомого вала зубчатой передачи М, Н·м	Передаточное отношение зубчатой передачи u
1	600	2,8	14	350	2,8
2	450	2,0	15	290	3,15
3	350	2,5	16	450	2,8
4	460	2,24	17	300	2,5
5	550	3,15	18	350	2,0
6	250	2,0	19	370	3,05
7	380	3,15	20	450	3,45
8	450	2,8	21	400	2,8
9	500	2,35	22	200	2,24



10	590	2,0		23	300	2,8
11	330	2,8		24	320	2,0
12	440	3,0		25	380	3,15
13	390	3,15				

### Ход выполнения работы

1. Записать задание к практической работе.

2. Исходные данные в соответствии с вариантами (таблица 1)

Таблица 1. Исходные данные к практической работе

3. Определить геометрические размеры зубчатой передачи:

**Приближенный начальный диаметр шестерни, мм:**

$$d_{w1} = K_a \cdot \left( \frac{M \cdot K_{H\beta} \cdot 10^3}{\psi_{BA} \cdot [\sigma_H]^2} \cdot \frac{u+1}{u} \right)^{\frac{1}{3}},$$

где  $K_a$  – вспомогательный коэффициент, для прямозубых  $K_a = 49,5$ ;

$K_{H\beta}$  – коэффициент неравномерности распределения нагрузки по ширине зубчатого венца, предварительно принять  $K_{H\beta} = 1,15$

$\psi_{BA}$  – коэффициент ширины зубчатого венца по межосевому расстоянию выбирают в интервале,  $\psi_{BA} = 0,125$  – для прямозубых колёс.

**Нормальный модуль зацепления, мм**

$$m = 0,008 \cdot (u+1) \cdot d_{w1} =$$

Окончательно **принять  $m$  по стандартному ряду:**

1-ый ряд: 1; 1,25; 2; 2,5; 3; 4; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 60

2-ой ряд: 1,375; 1,75; 2,25; 2,75; 3,5; 4,5; 7; 9; 11; 14; 18; 22

**Число зубьев шестерни**

$$z_1 = \frac{d_{w1}}{m} =$$

**Число зубьев колеса**

$$z_2 = z_1 \cdot u =$$

Полученные расчетом числа зубьев округляют до целого значения. При этом следует стремиться к наименьшему отклонению фактического передаточного числа передачи  $u = \frac{z_2}{z_1}$  от заданного значения.

**Делительное межосевое расстояние, мм:**

$$a_w = \frac{m \cdot (z_1 + z_2)}{2} =$$

Полученное значение  $a_w$  необходимо согласовать со стандартным рядом:

1-ый ряд: 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, , 800, 1000;

2-ой ряд: 71, 90, 112, 140, 180, 224, 280, 355, 450, 560, 710, 900, 1120.

**Начальный диаметр шестерни**  $d_{w1} = \frac{2 \cdot a_w}{u+1}$

**колеса**  $d_{w2} = \frac{2 \cdot a_w \cdot u}{u+1}$

**Делительные диаметры шестерни, мм:**  $d_1 = m \cdot z_1 =$

**колеса**  $d_2 = m \cdot z_2 =$

Примечание: округлить с точностью до второго знака после запятой

**Диаметры выступов, мм**  $d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m =$

$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m =$

**Диаметры впадин, мм**  $d_{f1} = d_1 - 2,5 \cdot m =$

$d_{f2} = d_2 - 2,5 \cdot m =$

**Ширина зубчатого венца:** колеса:  $b_2 = \psi_{BA} \cdot d_{w1} =$

шестерни :  $b_1 = b_2 + 5 =$

4. Расчет конструктивных размеров ведомого колеса (рисунок 2):

1) Размеры ступицы

**Диаметр ступицы, мм**  $d_{ст} = 1,55 \cdot d_B$

( $d_B$  - диаметр ступени вала под колесо)  $d_B = \left( \frac{M \cdot 10^3}{0,2 \cdot 30} \right)^{\frac{1}{3}} + 10$

**Длина ступицы, мм**  $L_{ст} = 1,2 \cdot d_B$

2) Размеры обода

**Толщина обода, мм**  $S = 2,2 \cdot m_n + 0,05 \cdot b_2$

**Диаметр обода, мм**  $D_o = d_{f2} - 2 \cdot S$

3) Размеры диска

**Толщина диска, мм**  $C = 0,3 \cdot b_2$

**Диаметр центральной окружности, мм**  $D_{отв} = 0,5 \cdot (D_o + d_{ст})$

5. Сформулировать вывод по практической работе.

### **Контрольные вопросы:**

1) Перечислите основные конструктивные элементы зубчатого колеса и их назначение.

2) Что позволяет установить расчет по контактным напряжениям? Как называется такой расчет?

### **Отчет по работе**

#### **Практическая работа №15**

Расчёт цилиндрической зубчатой передачи на контактную прочность

**Цель:**

1.Задание к практической работе.

2. Исходные данные:

- вращающий момент ведомого вала зубчатой передачи  $M =$

- передаточное отношение зубчатой передачи  $u =$

- угловая скорость ведущего вала редуктора  $\omega =$

3. Определение геометрических размеров зубчатой передачи

4. Расчет конструктивных размеров ведомого колеса

5.Ответы на контрольные вопросы.

6. Вывод по работе

### **Критерии оценивания выполнения практических работ.**

№ п/п	Критерии оценивания	Оценка
1	Выполнение работы без ошибок в полном соответствии с методическими рекомендациями без помощи преподавателя	5 (отлично)
2	Выполнение работы в полном соответствии с методическими рекомендациями с несущественными ошибками, исправленными самостоятельно	4 (хорошо)

3	Выполнение работы в основном в соответствии с методическими рекомендациями с несущественными ошибками, исправленными с помощью преподавателя.	3 (удовлетворительно)
---	---	--------------------------

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сафонова, Г. Г. Техническая механика : учебник / Г.Г. Сафонова, Т.Ю. Артюховская, Д.А. Ермаков. - Москва : ИНФРА-М, 2022. — 320 с. — (Среднее профессиональное образование), - ISBN-онлайн: 978-5-16-105533-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/394918>
2. Эрдеди А.А. Техническая механика: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования /А.А. Эрдеди, Н. А. Эрдеди.- 7-е изд., стер. – М. :Издательский центр «Академия», 2021. – 528 с. 978-5-4468-9887-9. - Текст : электронный. – URL: <https://academia-moscow.ru/catalogue/3947/538728/>
3. ГОСТ 8239 Двутавры стальные горячекатаные.
4. ГОСТ 8240 – 89 Швеллеры стальные горячекатаные.
5. ГОСТ 8509 – 93 Уголки стальные горячекатаные равнополочные.
6. ГОСТ 23360-78. Соединения шпоночные с призматическими шпонками.