

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

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

**по учебной дисциплине «Техническая механика»**

для специальности 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и  
производств (по отраслям) базовой подготовки

Челябинск, 2020г.

Акт согласования  
методических рекомендаций по выполнению лабораторных  
и практических работ по дисциплине «Техническая механика»  
для студентов специальности

15.02.07 «Автоматизация технологических процессов и производств»  
(по отраслям) (базовая подготовка), разработанных  
преподавателем ГБОУ СПО ЮУрГТК Шичкиной Г.Н.

Представленные методические рекомендации составлены в соответствии с программой учебной дисциплины., разработанной на основании требований к результатам освоения основной профессиональной образовательной программы и требований к умениям и знаниям по дисциплине «Техническая механика» по специальности 15.02.07 «Автоматизация технологических процессов и производств.

Рассматриваемые методические рекомендации предусматривают выполнение лабораторных и практических работ в объеме 20 часов аудиторных занятий, в том числе: 3-х лабораторных (6час.) и 7 практических работ (14час.).

Тематика лабораторных и практических работ охватывает все разделы дисциплины, обеспечивает формирование умений, знаний по дисциплине «Техническая механика», определяемых ФГОС по специальности 15.02.07 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Методические рекомендации соответствуют уровню подготовки выпускника среднего профессионального образования, определяемому ФГОС и могут быть рекомендованы для использования в образовательном процессе по специальности 220703 «Автоматизация технологических процессов и производств» базового уровня подготовки.

Директор ООО «Автоматика» \_\_\_\_\_ А.В. Осипов



## **Пояснительная записка**

Методические рекомендации по выполнению лабораторных и практических работ по дисциплине «Техническая механика» предназначены для студентов специальности 220703 «Автоматизация технологических процессов и производств» базового уровня подготовки.

Лабораторные и практические работы являются важным элементом дисциплины. В результате выполнения лабораторных и практических работ студенты систематизируют и закрепляют теоретический материал, формируют элементы общих и профессиональных компетенций.

Программой учебной дисциплины предусмотрено выполнение трех лабораторных и семи практических работ, направленных на формирование:

### **элементов следующих компетенций:**

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ПК 1.1. Осуществлять технологический процесс изготовления деталей, сборка и испытания изделий автотракторной техники.

ПК 1.2. Обеспечивать технологическую подготовку производства по реализации технологического процесса.

ПК 2.4. Разрабатывать рабочий проект деталей и узлов

в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

ПК 2.5. Производить типовые расчеты при проектировании и проверке на прочность элементов механических систем.

ПК 3.2. Проверять качество выпускаемой продукции и/или выполняемых работ.

**умений:**

- проводить расчеты при проверке на прочность механических систем;
- рассчитывать параметры электрических и элементов механических систем

**обобщение, систематизацию, углубление и закрепление знаний:**

- общие понятия технической механики в приложении к профессиональной деятельности;
- основные понятия и аксиомы статики, кинематики и динамики;
- типовые детали машин и механизмов и способы их соединения.

Все лабораторные и практические работы, приведенные в данных методических рекомендациях, содержат: тему, цель, оснащение, перечень формируемых умений, знаний, краткий теоретический материал, ход выполнения работы, форму отчета, контрольные вопросы (с целью выявления и устранения недочетов в освоении материала). В практических работах приведены варианты индивидуальных заданий.

Отчеты студентов по лабораторным и практическим работам выполняются на листах формата А 4 в соответствии с формами, приведенными в методических рекомендациях, титульный лист оформляется в соответствии с приложением.

### Перечень лабораторных и практических работ

№ п/п	Тема практической работы	Тема лабораторной работы	Кол. час.
1	Практическая работа №1 «Определение величины и направления равнодействующей плоской системы сходящихся сил»		2
2	Практическая работа №2 «Определение реакций опор двух опорной и жестко заземленной балок»		2
3		Лабораторная работа №1 «Определение центра тяжести плоской фигуры»	2
4		Лабораторная работа №2 «Испытание стали на растяжение»	2
5	Практическая работа №3 «Построение эпюр продольных сил и нормальных напряжений. Определение абсолютного удлинения бруса»		2
6		Лабораторная работа №3 «Испытание стального образца на кручение»	2
7	Практическая работа №4 «Расчет бруса круглого поперечного сечения на прочность при кручении»		2
8	Практическая работа №5 «Расчет на прочность балок, изготовленных из пластичных материалов»		2
9	Практическая работа №6 «Выбор электродвигателя. Кинематический и силовой расчет привода»		2
10	Практическая работа №7 «Расчет геометрических размеров зубчатых колес по их замерам»		2
<b>ВСЕГО</b>			<b>20</b>

## Практическая работа №1

### Определение величины и направления равнодействующей плоской системы сходящихся сил.

**Цель:** Освоение методов расчета равнодействующей силы плоской системы сходящихся сил.

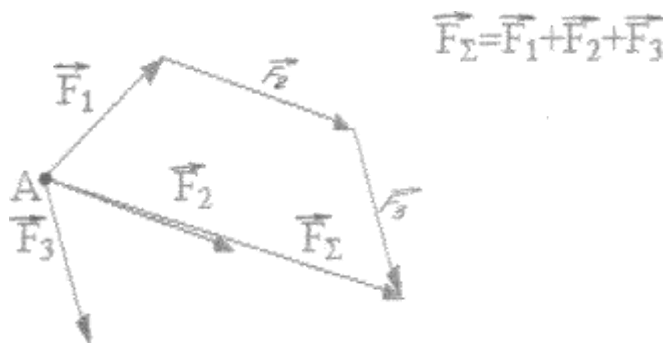
**Умения:** производить расчеты при проверке на прочность механических систем (определять проекцию силы на ось)

**Знания:** (актуализация) основные понятия статики (равнодействующая сила, векторная сумма системы сходящихся сил)

#### Теоретический материал

Система сил, линии действия которых лежат в одной плоскости и пересекаются в одной точке, называется плоской системой сходящихся сил. Задачу определения равнодействующей плоской системы сходящихся сил можно решать двумя способами: графическим и аналитическим.

При *графическом* методе с помощью линейки, треугольника, циркуля и транспортира строят многоугольник сил. Для системы сил вектор равнодействующей силы можно определить, построив силовой многоугольник, который получается путем добавления каждого последующего вектора к концу предыдущего. При этом вектор равнодействующей силы имеет начало в начале первой силы и конец - в конце последней силы. Последовательность сложения векторов сил не влияет на окончательный результат. Модуль равнодействующей силы определяется измерением замыкающей стороны построенного многоугольника с учетом выбранного масштаба построения.



Помимо графического метода равнодействующую силу находят аналитическим методом (методом проекций). В основе данного метода лежит определение проекции векторов сил на оси X, Y.

Величина проекции силы на ось определяется произведением модуля силы на косинус острого угла между вектором силы и соответствующей осью:

$$F_x = F \cdot \cos \alpha, \quad F_y = F \cdot \cos \beta$$

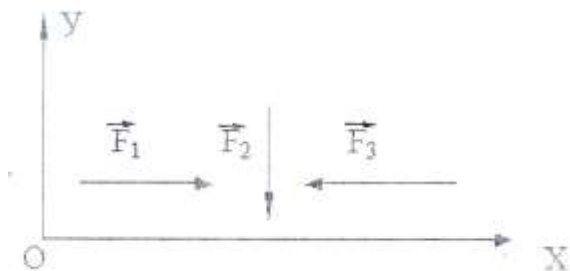
где  $\alpha$  - острый угол между вектором силы F и осью X,

$\beta$  – острый угол между вектором силы F и осью Y,

Условное правило знаков: проекция положительна, если направление вектора силы совпадает с положительным направлением оси; проекция отрицательна, если направление вектора силы противоположно положительному направлению оси.

При этом следует выделить следующие частные случаи:

1. если сила параллельна оси, то ее проекция на эту ось равна величине вектора силы;
2. если сила перпендикулярна оси, то ее проекция на эту ось равна нулю, так, например:



$$F_{1X} = F_1; \quad F_{2X} = 0; \quad F_{3X} = -F_3$$

$$F_{1Y} = F_{3Y} = 0; \quad F_{2Y} = -F_2$$

Определив проекции сил, образующих систему, на оси прямоугольной системы координат, можно найти величину и направление равнодействующей силы:

$$F_{\Sigma} = \sqrt{\sum F_{ix}^2 + F_{iy}^2},$$

ГДЕ  $\sum F_{ix}$  - Сумма проекций всех сил на ось X,

$\sum F_{iy}$  - Сумма проекций всех сил на ось Y.

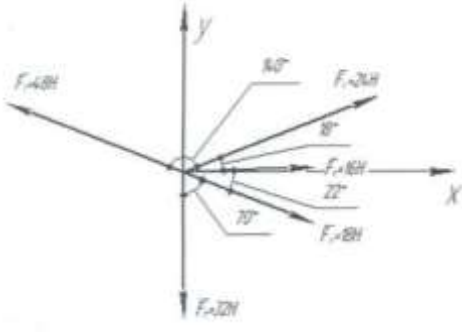
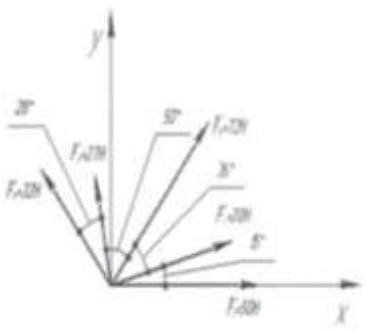
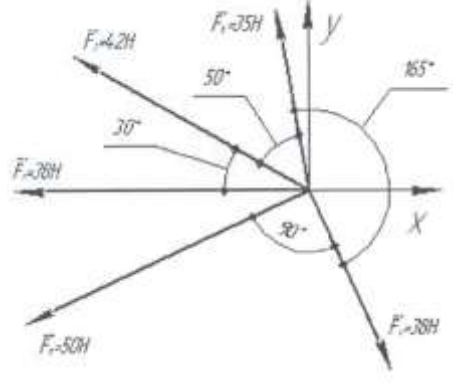
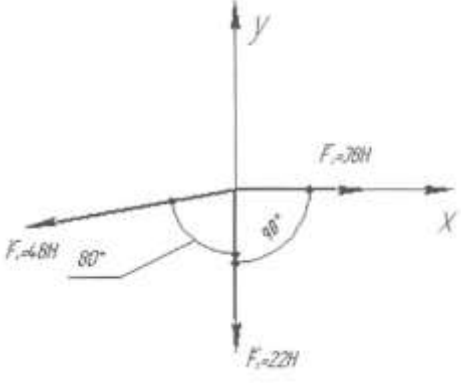
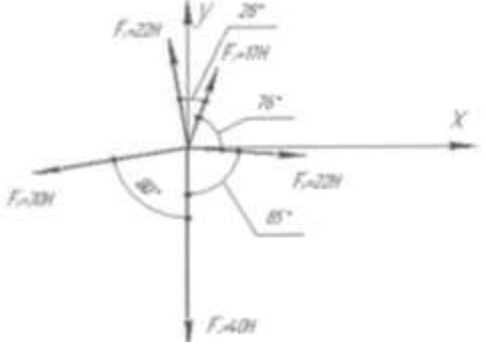
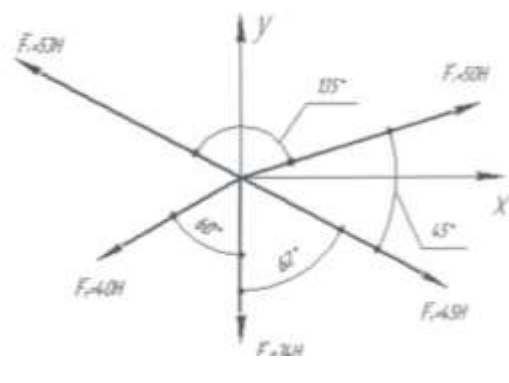
Направление вектора равнодействующей силы:

$$\alpha = \arcsin \sum F_{iy} / F_{\Sigma} .$$

### Задание к практической работе.

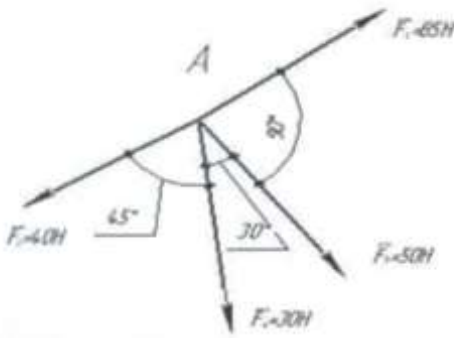
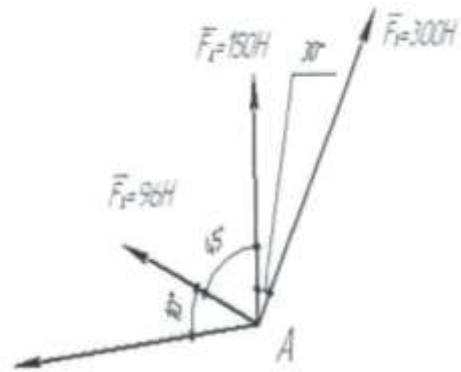
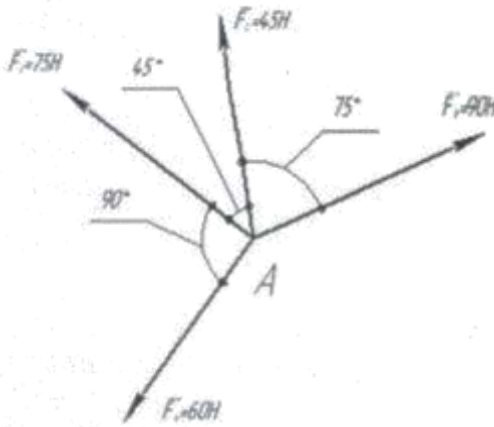
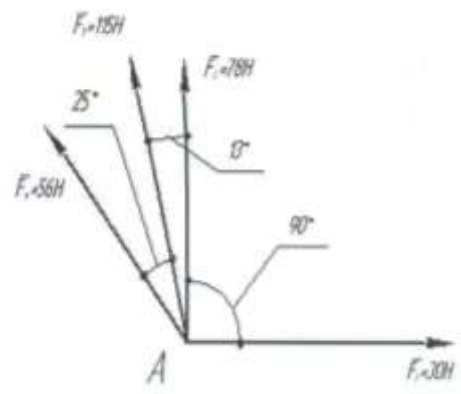
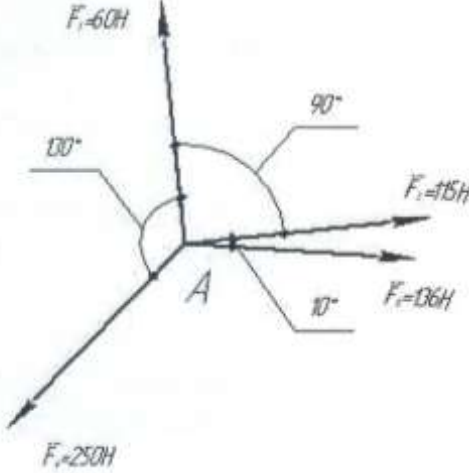
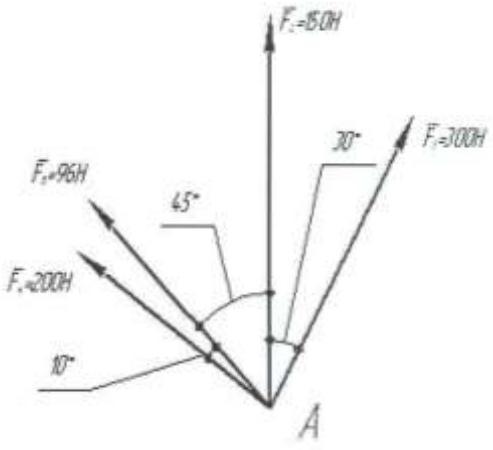
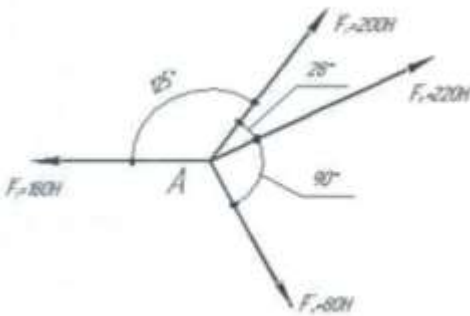
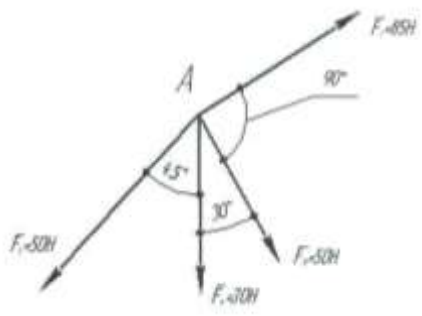
Для заданной системы сходящихся сил определить величину и направление равнодействующей силы графическим и аналитическим методами. Провести анализ полученных результатов.

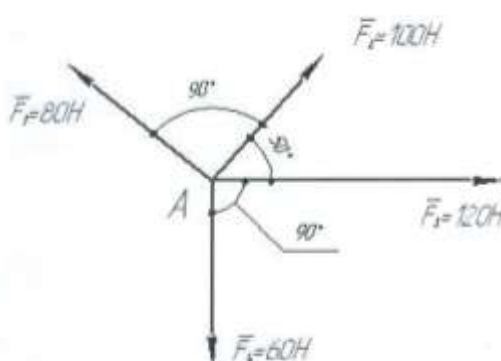
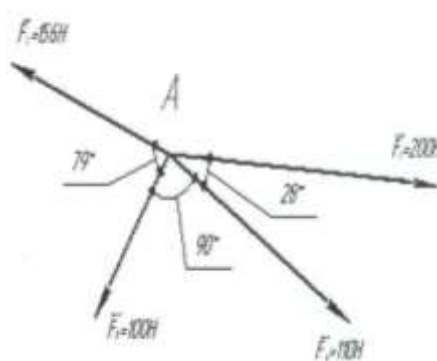
Таблица. Варианты заданий к практической работе

1		2	
3		4	
5		6	



7	<p>Diagram 7: A point A with four forces. <math>F_1 = 125H</math> at <math>45^\circ</math> to the horizontal, <math>F_2 = 100H</math> at <math>60^\circ</math> to the horizontal, <math>F_3 = 57H</math> at <math>90^\circ</math> to the horizontal, and <math>F_4 = 210H</math> at <math>90^\circ</math> to the horizontal.</p>	8	<p>Diagram 8: A point A with five forces in a Cartesian coordinate system. <math>F_1 = 20H</math> at <math>30^\circ</math> to the y-axis, <math>F_2 = 10H</math> at <math>65^\circ</math> to the y-axis, <math>F_3 = 24H</math> at <math>60^\circ</math> to the x-axis, <math>F_4 = 18H</math> at <math>105^\circ</math> to the x-axis, and <math>F_5 = 36H</math> along the x-axis.</p>
9	<p>Diagram 9: A point A with five forces. <math>F_1 = 210H</math> at <math>95^\circ</math> to the horizontal, <math>F_2 = 50H</math> at <math>54^\circ</math> to the horizontal, <math>F_3 = 100H</math> at <math>10^\circ</math> to the horizontal, and <math>F_4 = 125H</math> at <math>90^\circ</math> to the horizontal.</p>	10	<p>Diagram 10: A point A with four forces. <math>F_1 = 150H</math> at <math>105^\circ</math> to the horizontal, <math>F_2 = 60H</math> at <math>15^\circ</math> to the horizontal, <math>F_3 = 90H</math> at <math>90^\circ</math> to the horizontal, and <math>F_4 = 125H</math> at <math>90^\circ</math> to the horizontal.</p>
11	<p>Diagram 11: A point A with five forces. <math>F_1 = 56H</math> at <math>15^\circ</math> to the horizontal, <math>F_2 = 115H</math> at <math>10^\circ</math> to the horizontal, <math>F_3 = 70H</math> at <math>90^\circ</math> to the horizontal, and <math>F_4 = 30H</math> at <math>90^\circ</math> to the horizontal.</p>	12	<p>Diagram 12: A point A with five forces. <math>F_1 = 15H</math> at <math>110^\circ</math> to the horizontal, <math>F_2 = 50H</math> at <math>10^\circ</math> to the horizontal, <math>F_3 = 72H</math> at <math>15^\circ</math> to the horizontal, and <math>F_4 = 200H</math> at <math>90^\circ</math> to the horizontal.</p>
13	<p>Diagram 13: A point A with five forces. <math>F_1 = 200H</math> at <math>90^\circ</math> to the horizontal, <math>F_2 = 180H</math> at <math>70^\circ</math> to the horizontal, <math>F_3 = 125H</math> at <math>65^\circ</math> to the horizontal, and <math>F_4 = 150H</math> at <math>90^\circ</math> to the horizontal.</p>	14	<p>Diagram 14: A point A with five forces. <math>F_1 = 205H</math> at <math>65^\circ</math> to the horizontal, <math>F_2 = 220H</math> at <math>70^\circ</math> to the horizontal, <math>F_3 = 110H</math> at <math>60^\circ</math> to the horizontal, and <math>F_4 = 66H</math> at <math>90^\circ</math> to the horizontal.</p>

15		16	
17		18	
19		20	
21		22	

23	
24	

### Ход выполнения работы

#### 1 Графический метод (метод силового многоугольника)

1.1 Выбрать масштаб построения.

1.2 Построить для заданной системы сил силовой многоугольник.

1.3. Измерить длину вектора равнодействующей и в соответствии с выбранным масштабом вычислить ее модуль.

#### 2. Аналитический метод

2.1. Выбрать положение системы координат XOY и вычертить в этой системе заданную систему сходящихся сил, поместив точку приложения сил в начале координат.

2.2. Определить проекцию равнодействующей силы на ось X;

$$\sum F_{ix} = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} + F_{5x} \dots$$

2.3. Определить проекцию равнодействующей силы на ось Y:

$$\sum F_{iy} = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y} + F_{5y} \dots$$

2.4. Определить величину вектора равнодействующей силы:

$$F_{\Sigma} = \sqrt{\sum F_{ix}^2 + \sum F_{iy}^2}$$

2.5. Определить направление вектора равнодействующей силы:

$$\alpha = \arcsin \sum F_{iy} / F_{\Sigma}$$

3. Определить погрешность графического метода

$$\Delta F_{\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}^{an} - F_{\Sigma}^{ep}}{F_{\Sigma}^{an}} \cdot 100\%$$

4. Ответить на контрольные вопросы.

5. Сформулировать вывод по работе.

### **Контрольные вопросы:**

1. Изобразите силовой многоугольник для уравновешенной плоской сходящейся системы 4-х сил.
2. Запишите формулу определения проекции силы на ось.
3. При каком условии проекция силы на ось будет равна нулю?
4. Сформулируйте условное правило знаков проекции силы на ось.
5. Запишите алгоритм определения проекции равнодействующей силы на оси прямоугольной системы координат аналитическим методом.

### **Отчет по выполнению практической работы**

#### **Практическая работа №1**

Определение величины и направления равнодействующей плоской системы  
сходящихся сил

Цель:

Задание:

Схема системы сходящихся сил

#### *1. Графический метод.*

1.1 Выбор масштаба построения силового многоугольника

$\mu = \dots\dots\dots$  мм

1.2 Построение силового многоугольника

### 1.3 Запись результата графического метода:

Модуль вектора равнодействующей силы

$$F_{\Sigma}^{rp} = \mu \cdot L_F = \dots\dots\dots \text{ Н}$$

## 2 Аналитический метод

### 2.1 Расчет проекций сил на оси X и Y

Сила	Проекция на ось X		Проекция на ось Y	
	формула	расчет	формула	расчет
F <sub>1</sub>				
F <sub>2</sub>				
F <sub>3</sub>				
F <sub>4</sub>				
F <sub>5</sub>				

2.2.Определение проекции равнодействующей на ось X

2.3. Определение проекции равнодействующей на ось Y

2.4. Определение модуля вектора равнодействующей силы

2.5. Определение направления вектора равнодействующей силы

3.Анализ полученных результатов.

4. Ответы на контрольные вопросы

5. Вывод:

## Практическая работа №2

### Определение реакций опор двух опорной и жестко зашеченной балок.

**Цель:** овладение способами (алгоритмами) вычисления реакций балочных опор.

**Умения:** производить расчеты при проверке на прочность механических систем (составлять уравнения равновесия)

**Знания:** (актуализация) основные понятия статики (связь, реакция связи)

### Теоретический материал.

При решении задач технической механики часто приходится иметь дело с балками (балочными системами). 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).

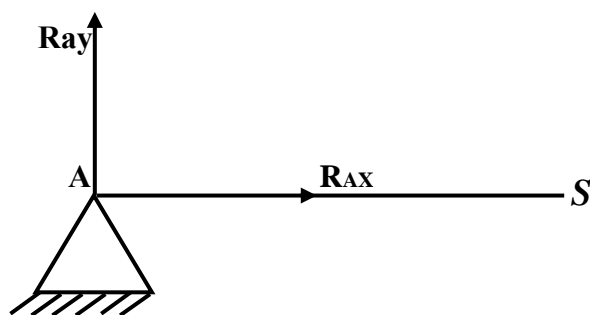


Рисунок 1а. Шарнирно-неподвижная опора

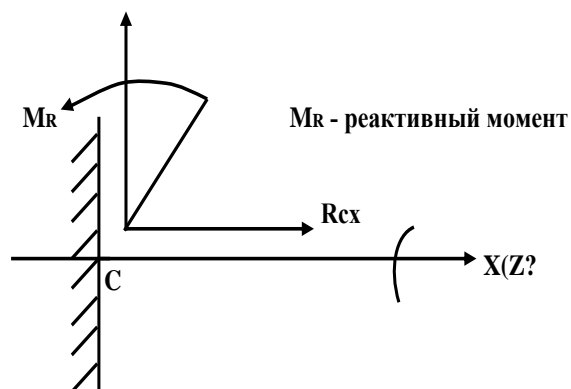


Рисунок 1в. Жесткая заделка

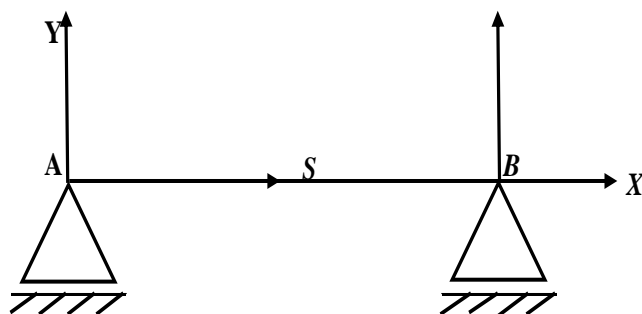


Рисунок 1б. Шарнирно- подвижная опора

Внешние силы (нагрузки), действующие на балку (рис.2):

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

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

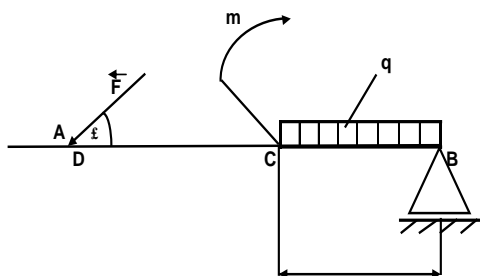


Рисунок 2. Нагрузка, действующая на балку

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.

Три формы уравнений равновесия

	$\sum F_{kx} = 0$		$\sum M_a(\bar{F}_k) = 0$		$\sum M_a(\bar{F}_k) = 0$
1 форма	$\sum F_{ky} = 0$	2 форма	$\sum M_B(\bar{F}_k) = 0$	3 форма	$\sum M_B(\bar{F}_k) = 0$
	$\sum M_a(\bar{F}_k) = 0$		$\sum F_{kx} = 0$		$\sum M_c(\bar{F}_k) = 0$

Для решения задач в практической работе рекомендуется 2 форма.

Для составления уравнений равновесия необходимо знать частные случаи и условное правило знаков проекции силы на оси координат:

Частные случаи определения проекции:

а) если  $F$  || оси  $x$  , то  $F_x = F$

б) если  $F \perp$  оси  $x$  , то  $F_x = 0$

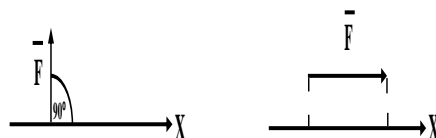


Рисунок 3. Частные случаи проекции силы на ось.

Условное правило знаков проекции силы на ось.:

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

Частные случаи определения проекции силы на ось:

а) если  $F \parallel \text{оси } x$ , то  $F_x = F$

б) если  $F \perp \text{оси } x$ , то  $F_x = 0$

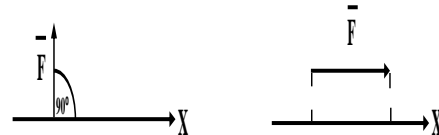


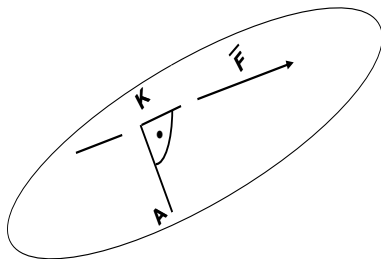
Рисунок 4. Частные случаи проекции силы на ось.

Момент силы относительно точки равен произведению величины силы на плечо:

$$M_A(F) = F \cdot /AK/,$$

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  $K$ .

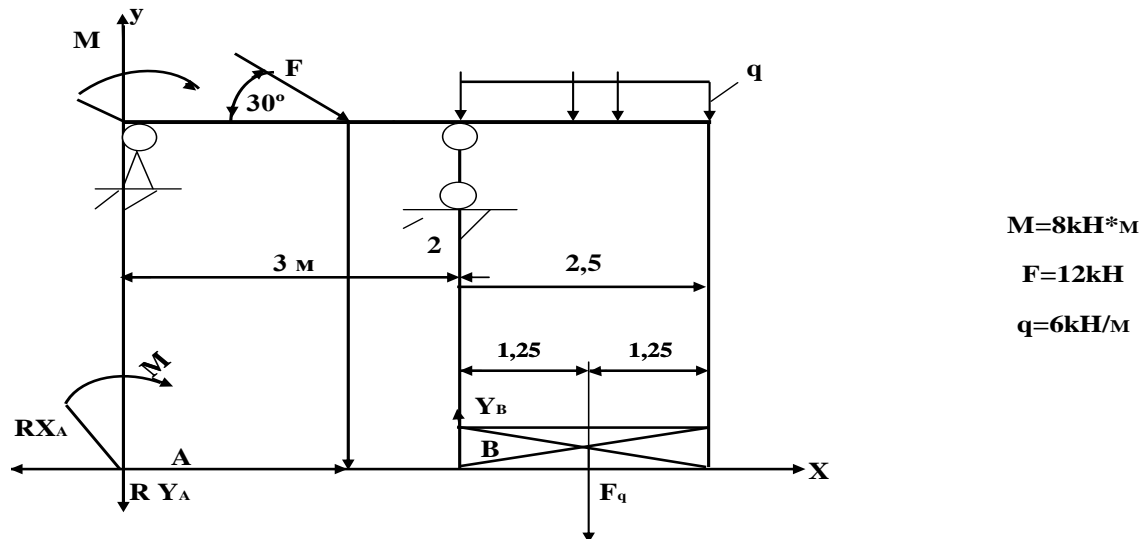
Рисунок 5. Вращательное действие силы  $F$  вокруг точки  $A$ .



Рассмотрим несколько примеров.

### Пример №1.

Определить опорные реакции двух опорной балки



1. Заменяем равномерно-распределенную нагрузку сосредоточенной силой  $F_q$ .

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

2. Раскладываем наклонную силу  $F$  на две составляющие:

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

$$F_y = F \cdot \cos 60^\circ = 12 \cdot 0.5 = 6 (\text{кН})$$

3. Проводим оси координат.
4. Обозначаем характерные точки.
5. Заменяем связи их реакциями.
6. Составляем уравнение равновесия.

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

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

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

7. Вычисляем опорные реакции.

$$R_{x_A} = F_x = 10.32 \text{ кН}$$

$$R_{YB} = \frac{M + F_y \cdot AC + F_q \cdot AD}{AB} = \frac{8 + 6 \cdot 3 + 15 \cdot 6,25}{5} = 23,95 \text{ кН}$$

$$R_{YA} = \frac{F_y \cdot CB - M - F_q \cdot BD}{AB} = \frac{6 \cdot 2 - 8 - 15 \cdot 1,25}{5} = -2,95 \text{ кН}$$

Полученная реакция имеет знак -, следует сменить направление опорной реакции на противоположное.

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

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

Вывод: решение верно.

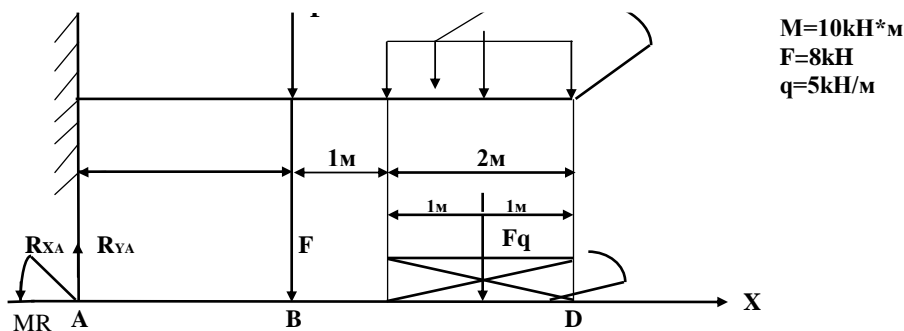
Ответ:  $R_{xA} = 10,32 \text{ кН}$

$$R_{yA} = 2,95 \text{ кН}$$

$$R_{yB} = 23,95 \text{ кН}$$

### Пример №2

Определить опорные реакции жестко заземленной балки.



Требуется определить:  $R_{yA}, R_{yB}, M_R$

1. Заменяем равномерно – распределенную нагрузку силой  $F_q$

$$F_q = q \cdot l = 5 \cdot 2 = 10 \text{ (кН)}$$

2. Наклонная сила отсутствует.

3. Привязываем балку к осям координат.

4. Обозначаем характерные точки.

5. Заменяем связи реакциями связей  $R_{yA}, R_{yB}, M_R$

6. Составляем уравнение равновесия.

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

$$\sum F_{ky} = R_{YA} - F - Fq = 0$$

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

7. Вычисляем опорные реакции.

$$R_{XA} = 0$$

$$R_{YA} = F + F_q = 8 + 10 = 18 \text{ (кН)}$$

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

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

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

Вывод: решение верно

Ответ:  $R_{XA} = 0$

$$R_{YA} = 18 \text{ кН}$$

$$M_R = 46 \text{ кНм}$$

## Задание к практической работе

Определить реакции связей балочных систем

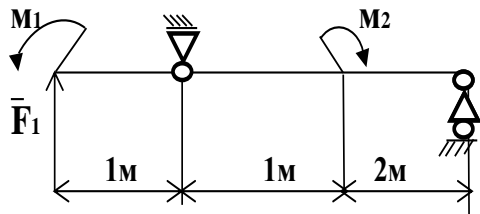
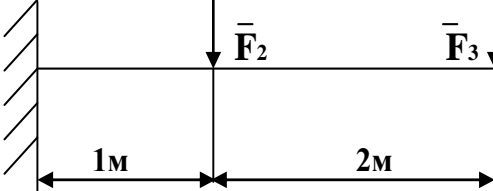
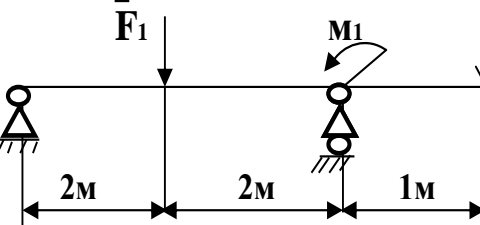
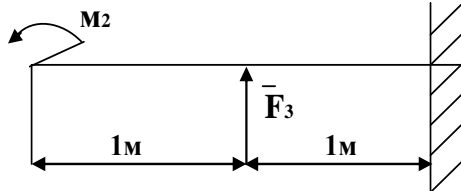
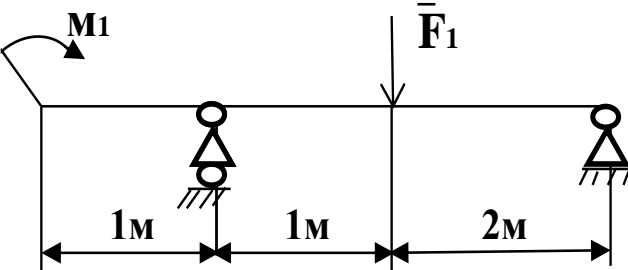
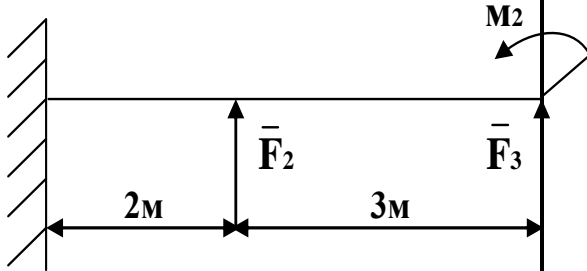
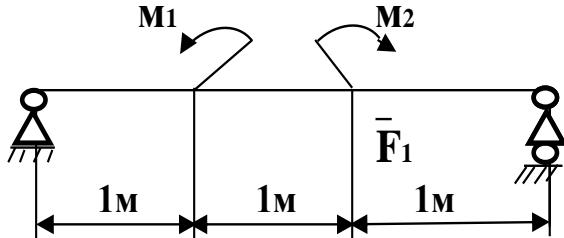
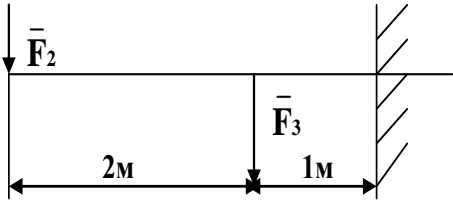
Таблица 1. Варианты заданий

№ вари- анта	№ схемы	$F_1$ , кН	$F_2$ , кН	$F_3$ , кНм	$M_1$ , кНм	$M_2$ , кНм
1	1	6	12	4	4	18
2	2	8	-6	2	5	4
3	3	10	-8	8	6	25
4	4	-12	15	10	8	5
5	5	20	50	15	10	32
6	6	5	-19	20	25	43
7	7	-8	-20	32	16	6
8	8	-14	23	6	50	12
9	9	25	28	-8	42	3
10	10	30	-17	-10	18	-40
11	1	-32	16	16	10	15
12	2	16	-5	30	5	4
13	3	4	-42	28	25	-7
14	4	-3	30	-8	8	56
15	5	-7	20	-5	16	8
16	6	9	-19	14	32	-8
17	7	19	-4	6	4	13
18	8	28	-16	10	8	4
19	9	-30	5	8	10	7
20	10	-20	10	-4	6	24
21	1	7	-26	2	4	-32
22	2	8	-20	12	25	6
23	3	40	-35	20	18	10
24	4	-24	20	-3	14	-25
25	5	-18	25	-10	12	20
26	6	25	-15	10	4	9
27	7	19	-20	25	18	-8
28	8	-32	30	-18	10	5
29	9	28	-25	5	9	15
30	10	-15	10	16	4	23

Примечание: знак «-» указывает на необходимость изменения направления нагрузки на противоположное

Таблица 2. Схемы нагружения

1		
2		
3		
4		
5		
6		

7		
8		
9		
10		

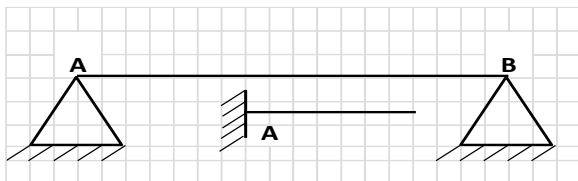
### Ход выполнения работы.

1. Изобразить балку с заданными нагрузками.
2. Выбрать положение осей координат  $x$  и  $y$ , совместив ось  $x$  с балкой, а ось  $y$  перпендикулярно оси  $x$ .
3. Освободить балку от опор и заменить их реакциями связей.
4. Составить уравнения равновесие 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. Ответить на контрольные вопросы.
7. Сформулировать вывод по работе.

### Контрольные вопросы

1. Назвать связи, указанные на рисунке.



2. Показать реакции в указанных связях.
3. Сколько уравнений равновесия можно составить, для плоской произвольной системы сил?
4. Как определить проекцию силы на ось?
5. Как определить момент силы относительно точки?
6. Чему равна проекция момента силы на ось, если сила параллельна оси?
7. Чему равна проекция момента силы на ось, если сила перпендикулярна оси?
8. В каком случае момент силы относительно точки равен нулю?

### Отчет по выполнению практической работы №2

#### Практическая работа №2

Определение реакций опор двух опорной и жестко заземленной балок.

Цель:

1. Задача №1
  - 1.1. Схема нагружения
  - 1.2. Расчетная схема
  - 1.3. Уравнения равновесия
  - 1.4 Проверка правильности решения
  - 1.5. Ответ

## 2. Задача №2

### 2.1.Схема нагружения

### 2.2. Расчетная схема

### 2.3. Уравнения равновесия

### 2.4 Проверка правильности решения

### 2.5. Ответ

## 3.Ответы на контрольные вопросы.

## 4. Вывод



## Лабораторная работа №1 .

### Определение центра тяжести составных плоских фигур.

**Цель:** экспериментальное подтверждение формул для определения координат центра тяжести плоской составной фигуры.

**Оборудование:** лабораторная установка, мерительный инструмент, плоская фигура

**Умения:** производить расчеты при проверке на прочность механических систем (определять координаты центра тяжести простейших геометрических и составных фигур)

**Знания:** (актуализация) основные понятия статики (положение центра тяжести простейших геометрических фигур)

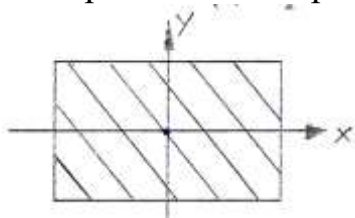
### Теоретический материал.

Сила тяжести - сила, с которой тело, находящееся у поверхности Земли, притягивается к ней. Центр тяжести – точка, неизменно связанная с этим телом, через которую проходит линия действия силы тяжести данного тела, при любом положении тела в пространстве.

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

В основе метода подвешивания лежит следующее утверждение: *если фигуру последовательно подвесить за 2 точки, отмечая положение нити с отвесом на фигуре карандашом, то пересечение двух отвесных линий и определит положение центра тяжести фигуры.*

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:

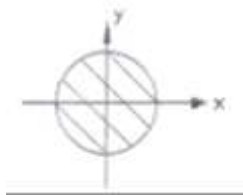


1. прямоугольник, параллелограмм, ромб, квадрат (центр тяжести находится на пересечении диагоналей)

$$A=a \cdot h$$

2. круг (центр тяжести находится в геометрическом центре)

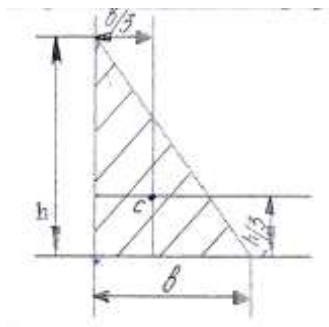
$$A=\pi \cdot d^2/4$$



3. полукруг (центр тяжести находится на оси симметрии на расстоянии  $Y_c=0,424R$  от диаметральной линии)

$$A=\pi R^2/2 = \pi d^2/8$$

2. . прямоугольный треугольник (центр тяжести находится на расстоянии  $1/3$  от каждого катета)



$$A=bh/2$$

**Ход выполнения работы.**

2. . *Метод подвешивания.*

1.1 Подвесить фигуру за уголок.

1.2 Зафиксировать на фигуре с помощью карандаша и линейки положение нити отвеса.

1.3 Подвесить фигуру за другой уголок и повторить пункт 1.2.

1.4 Обозначить положение центра тяжести фигуры.

1.5 Измерить координаты центра тяжести фигуры относительно выбранной системы координат.

## 2. Аналитический метод:

2.1 Разбить фигуру на простейшие геометрические; показать положение центра тяжести каждой фигуры; выбрать положение осей X и Y.

2.2 Определить площади простейших фигур.

2.3 Определить координаты центров тяжести полученных фигур относительно выбранной системы координат.

2.4 Определить координату  $x_c$  центра тяжести всей фигуры:

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

2.5 Определить координату  $y_c$  центра тяжести всей фигуры:

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

2.6. Указать положение центра тяжести всей фигуры на эскизе.

3. Определить погрешность метода подвешивания

$$3.1 \quad \Delta X_c = \frac{X_c^{ан} - X_c^{он}}{X_c^{он}} * 100\% =$$

$$3.2 \quad \Delta Y_c = \frac{Y_c^{ан} - Y_c^{он}}{Y_c^{он}} * 100\% =$$

4. Ответить на контрольные вопросы.

5 Сделать вывод по работе.

## Контрольные вопросы

1. Как определить положение центра тяжести простейших геометрических фигур:

- прямоугольника;
- круга;
- полукруга;
- прямоугольного треугольника.

2. Как изменятся координаты центра тяжести плоской фигуры  $x_c$ ,  $y_c$  если увеличить высоту фигуры при заданном положении системы координат?

3. Записать формулы для определения координат центра тяжести составной плоской фигуры.

### Отчёт по выполнению работы

#### Лабораторная работа №1

#### Определение центра тяжести составных плоских фигур.

Цель

Оборудование:

I. Метод подвешивания

1.1 Эскиз плоской фигуры с указанием размеров

1.2 Результаты метода подвешивания:

$$X_c^{on} = \quad \text{мм}$$

$$Y_c^{on} = \quad \text{мм}$$

2. Аналитический метод.

2.1 Разбивка составной фигуры на простейшие:

2.2 Площади простейших фигур:

$$A_1 = \quad \text{мм}^2,$$

$$A_2 = \quad \text{мм}^2,$$

$$A_3 = \quad \text{мм}^2,$$

2.3 Координаты центра тяжести простейших фигур относительно выбранной системы координат:

$$X_{C1} = \quad Y_{C1} =$$

$$X_{C2} = \quad Y_{C2} =$$

$$X_{C3} = \quad Y_{C3} =$$

2.4 Координата  $X_c$  центра тяжести всей фигуры

2.5 Координата  $Y_c$  центра тяжести всей фигур

3. Анализ полученных результатов.

4. Ответы на контрольные вопросы

5. Вывод:

## Лабораторная работа №2

### Испытание стали на растяжение.

**Цель:** формирование умений по определению основных характеристик прочности и пластичности материала образца экспериментальным путем.

**Оборудование:** универсальная машина УМ - 5, приспособление для установки образца, штангенциркуль, образец.

**Умения:** производить расчеты при проверке на прочность механических систем (определять характеристики прочности и пластичности материала на лабораторном оборудовании)

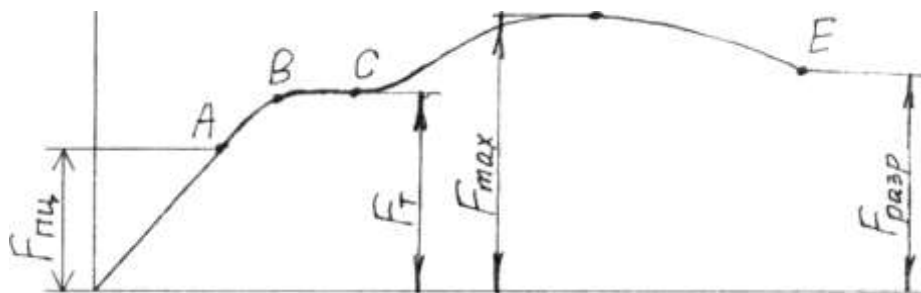
**Знания:** общие понятия технической механики в применении к профессиональной деятельности (предел пропорциональности, предел текучести, временное сопротивление разрушения)

### Теоретический материал.

Испытание на растяжение является наиболее распространенным видом испытания материалов, т.к. особенно ярко выявляются характеристики прочности и пластичности материалов.

Результаты испытания образца на растяжение наглядно можно представить диаграммой, выражающей зависимость абсолютного удлинения  $\Delta l$  от нагрузки  $F$ .

Полученная диаграмма растяжения зависит от свойств материала, от формы, размеров испытуемого образца, а также от условий его нагружения, поэтому чтоб охарактеризовать непосредственно материал, эту диаграмму перестраивают в координатах  $\sigma$ ,  $\epsilon$ .



На диаграмме отмечают характерные точки:

точка А – граница упругих и остаточных деформаций;

участок ВС- участок текучести, соответствующий появлению больших остаточных деформаций практически без увеличения внешней нагрузки;

точка Д – соответствует максимальной нагрузке и моменту начала образования шейки;

точка Е – соответствует моменту разрыва образца по месту образования шейки.

Далее замеряют ординаты точек А, В, Д, и Е в миллиметрах и, умножая на масштаб по оси нагрузки, получают числовые значения  $F_{пц}$ ,  $F_T$ ,  $F_{max}$  и  $F_{раз}$

По полученным при испытании данным вычисляют *механические характеристики прочности* материала:

- предел пропорциональности  $\sigma_{пц} = \frac{F_{пц}}{A_0};$

- предел текучести  $\sigma_m = \frac{F_m}{A_0};$

- временное сопротивление разрыву  $\sigma_{\epsilon} = \frac{F_{max}}{A_0};$

- истинное напряжение разрушения  $\sigma_{ист} = \frac{F_{раз}}{A_1};$

где  $A_0$  – начальная площадь сечения образца, мм<sup>2</sup>

$A_1$  – площадь поперечного сечения образца в месте разрыва, мм<sup>2</sup>.

Помимо характеристик прочности вычисляют также *механические характеристики пластичности*

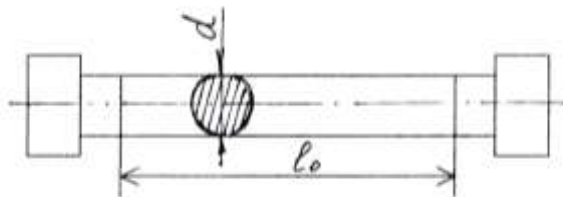
- относительное остаточное удлинение  $\delta = \frac{\ell_1 - \ell_0}{\ell_1} \cdot 100\%$

где  $\ell_0$  – начальная расчетная длина образца, мм

$\ell_1$  – длина расчетной части образца после разрыва, мм

-относительное остаточное сужение  $\Psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \cdot 100\%$

### Форма и размеры образца



Образцы диаметром 20 мм называют *нормальными*, а образцы с меньшим (иногда большим) диаметром или некруглого поперечного сечения *пропорциональными*.

Расчетная длина  $l_0$  на образце отмечается рисками.

Образцы при  $l_0 = 10d$  условно называют *длинными*, а при  $l_0 = 5d$  – *короткими*.

### Машина для испытания.

Для работы используется универсальная машина типа УМ – 5. Машина имеет верхний и нижний захваты. Нижний захват перемещается вдоль направляющих колон вручную с помощью рукоятки или электродвигателем, который через коробку скоростей вращает гайку, при этом винт перемещает нижний захват.

Закрепленный в машине образец соединяет верхний и нижний захваты, поэтому перемещение нижнего захвата повлечет за собой перемещение верхнего захвата. Последний связан через рычажную систему с маятником, который будет отклоняться от вертикального положения.

Сила, растягивающая образец, определяется углом отклонения маятника от вертикального положения. Отклонение маятника передается на механизм, перемещающий стрелку круговой шкалы нагрузок.

### Ход выполнения работы.

1. Ознакомиться с устройством машины.



2. Измерить диаметр образца и отметить на образце рисками длину  $l_0 = 5d$ .
3. Закрепить образец в приспособление.
3. Проверить работу записывающего аппарата, для чего следует повернуть барабан в холостую и получить нулевую линию.
4. Включить электродвигатель и наблюдать за процессом растяжения образца.
5. После разрушения образца выключить электродвигатель и извлечь из реверсора обе части образца.
6. Замерить расстояние между рисками  $\ell_1$ , диаметр образца в месте разрыва  $d_1$ , сложив вместе обе части разрушенного образца.
7. Снять с барабана бумагу с диаграммой растяжения образца, провести на полученной диаграмме координатные оси и отметить характерные точки.
8. Вычислить величину нагрузок  $F_{ну}$ ,  $F_T$ ,  $F_{max}$ ,  $F_{раз}$ .
10. Определить механические характеристики прочности и пластичности данного материала.
11. Ответить на контрольные вопросы.
12. Сформулировать вывод по работе.

### **Контрольные вопросы:**

1. Какова цель механических испытаний материалов?
2. Какие по форме и размерам используются образцы при проведении механических испытаний?
3. Почему полученную диаграмму перестраивают в координатах  $\sigma$ - $\delta$ ?
4. Материал «течет». Что это означает? Где на диаграмме изображается площадка текучести?
5. Когда образуется шейка образца? Какое этому соответствует напряжение?

6. Какое напряжение при испытании будет самым большим по величине и почему?

## Отчет по выполнению лабораторной работы

### Лабораторная работа №2

#### Испытание стали на растяжение.

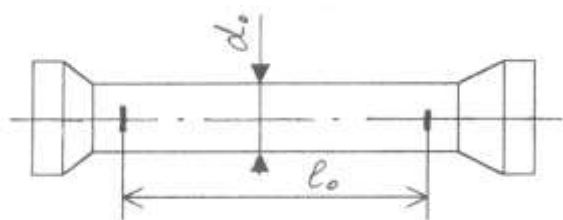
Цель:

Оборудование:

Эскиз и размеры образца:

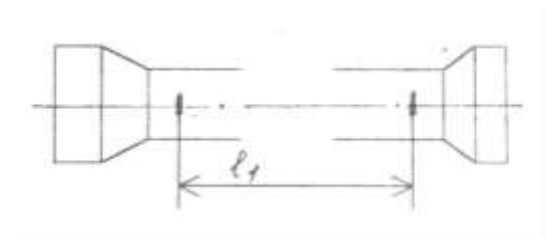
до испытания

после разрушения



$d_0 =$  мм;

$l_0 =$  мм;



$l_1 =$  мм;

$$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} =$$

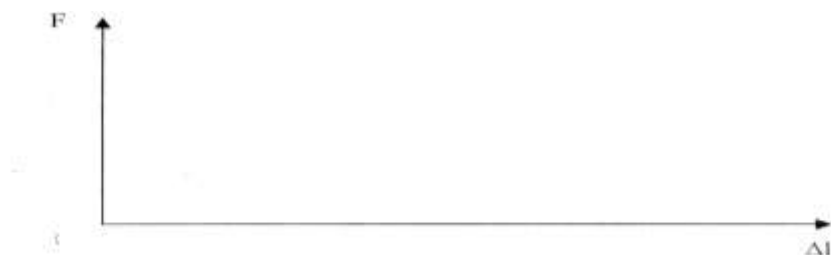
мм<sup>2</sup>;

$$A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} =$$

мм<sup>2</sup>;

#### Диаграмма растяжения

(с указанием характерных точек и ординат нагрузок)



Масштаб диаграммы по оси нагрузок в 1 мм ...

Н

## 1.Вычисление нагрузок

$F_{\text{пц}} = \dots\dots\dots \text{мм} \cdot \dots\dots$	$\text{Н/мм} = \dots\dots\dots$	$\text{Н}$
$F_{\text{Т}} = \dots\dots\dots \text{мм} \cdot \dots\dots$	$\text{Н/мм} = \dots\dots\dots$	$\text{Н}$
$F_{\text{max}} = \dots\dots\dots \text{мм} \cdot \dots\dots$	$\text{Н/мм} = \dots\dots\dots$	$\text{Н}$
$F_{\text{разр}} = \dots\dots\dots \text{Мм} \cdot \dots\dots$	$\text{Н/мм} = \dots\dots\dots$	$\text{Н}$

## 2. Вычисление механических характеристик:

### 2.1. Прочности:

2.1.1 предела пропорциональности

2.1.2. предела текучести

2.1.3. временного сопротивления разрушения

2.1.4.истинного напряжения разрушения

### 2.2. Пластичности:

2.2.1.относительного остаточного удлинения

2.2.2.относительного остаточного сужения

## 3. Ответы на контрольные вопросы.

## 4.Вывод по работе.

### Практическая работа №3.

#### 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:** производить расчеты при проверке на прочность механических систем (построения эпюр продольных сил и нормальных напряжений)

**Знания:** (актуализация) общие понятия технической механики в применении к профессиональной деятельности (продольная сила, формулы определения продольных сил и нормальных напряжений, 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.*

$$N = \sum F_{i \text{ z ост.ч.}}$$

*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 ЭN:*

1. Проводится базовая (нулевая) линия эпюры параллельно продольной оси бруса.
2. Базовая линия эпюры разбивается на участки. Границами участков являются точки приложения внешних нагрузок.
3. Участки нумеруются *от свободного* конца.

4. Определяется величина продольной силы на каждом участке с использованием метода сечений.
5. 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. Границы участков эпюры определяются точками приложения внешних сил и точками изменения поперечного сечения.
2. Определяются значения напряжений на каждом из полученных участков.
3. Знак Эσ соответствует знаку ЭN.

Изменение длины бруса на отдельных участках определяется по формуле:

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

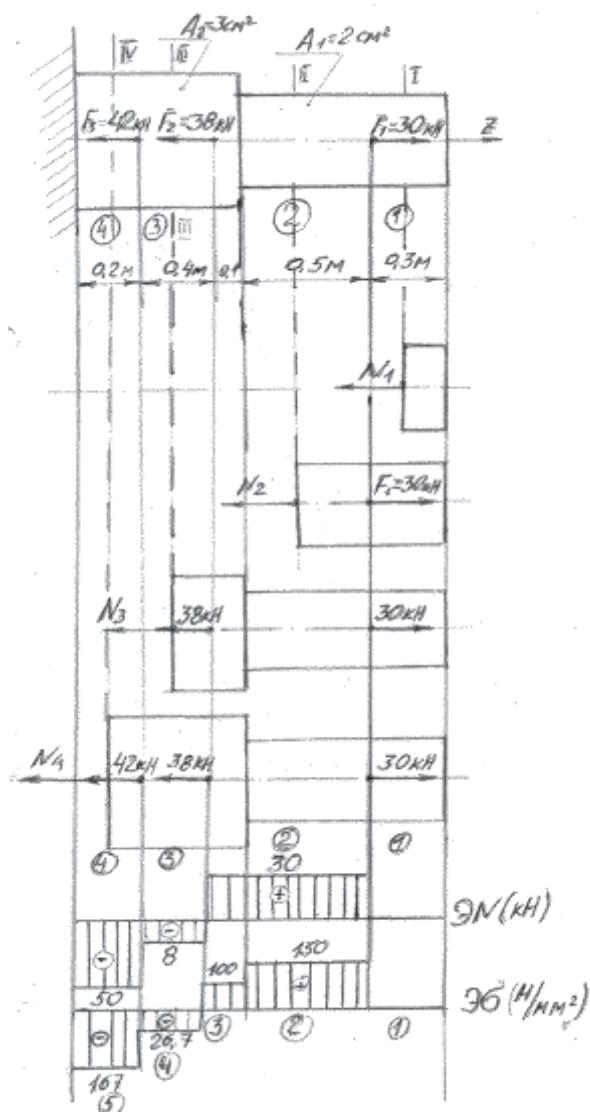
где  $E$  –модуль продольной упругости, характеризующий жесткость материала при растяжении.

Удлинение всего бруса определяется алгебраической суммой удлинений отдельных участков:

$$\Delta \ell = \sum \Delta \ell_i$$

**Пример:** Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений,

Определить удлинение свободного конца, если  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ н} / \text{мм}^2$



1. Определение величины продольных сил

на каждом участке,  $N_1 = 0$

$$N_2 = 30 \text{ кН};$$

$$N_3 = 30 - 38 = -8 (\text{кН});$$

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

2. Построение ЭН по найденным значениям продольных сил.

3. Определение величины

напряжений на каждом участке

$$\sigma_1 = \frac{0}{2 \cdot 10^2} = 0;$$

$$\sigma_2 = \frac{30 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^2} = 150 \text{ н} / \text{мм}^2$$

$$\sigma_3 = \frac{30 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^2} = 100 \text{ н} / \text{мм}^2$$

$$\sigma_4 = \frac{-8 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^2} = -26,7 \text{ н} / \text{мм}^2$$

$$\sigma_5 = \frac{-50 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^2} = -167 \text{ н} / \text{мм}^2$$

4. Построение Эσ

5. Определение удлинений отдельных участков

$$\Delta \ell_1 = \frac{0 \cdot 0,3 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = 0$$

$$\Delta \ell_2 = \frac{150 \cdot 0,5 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = 0,375 \text{ мм}$$

$$\Delta \ell_3 = \frac{100 \cdot 0,1 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = 0,05 \text{ мм}$$

$$\Delta \ell_4 = \frac{-26,7 \cdot 0,4 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = -0,053 \text{ мм}$$

$$\Delta \ell_5 = \frac{-167 \cdot 0,2 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = -0,165 \text{ мм}$$

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

### **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.

### **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. Какой линией изображаются эпюры продольных сил и нормальных напряжений?
- 5. В каких сечениях эпюра нормальных напряжений скачкообразно изменяет свое значение?

6. Как проверить правильность построения эпюры продольных сил?
7. Как определить величину абсолютного удлинения отдельного участка?

### **Отчет по выполнению практической работы**

#### **Практическая работа №3**

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:



### Лабораторная работа №3.

#### Испытание стального образца на кручение.

**Цель:** Формирование умений по определению модуля поперечной упругости стали экспериментальным путем.

**Оборудование:** установка для испытания на кручение, образец, индикаторы, штангенциркуль.

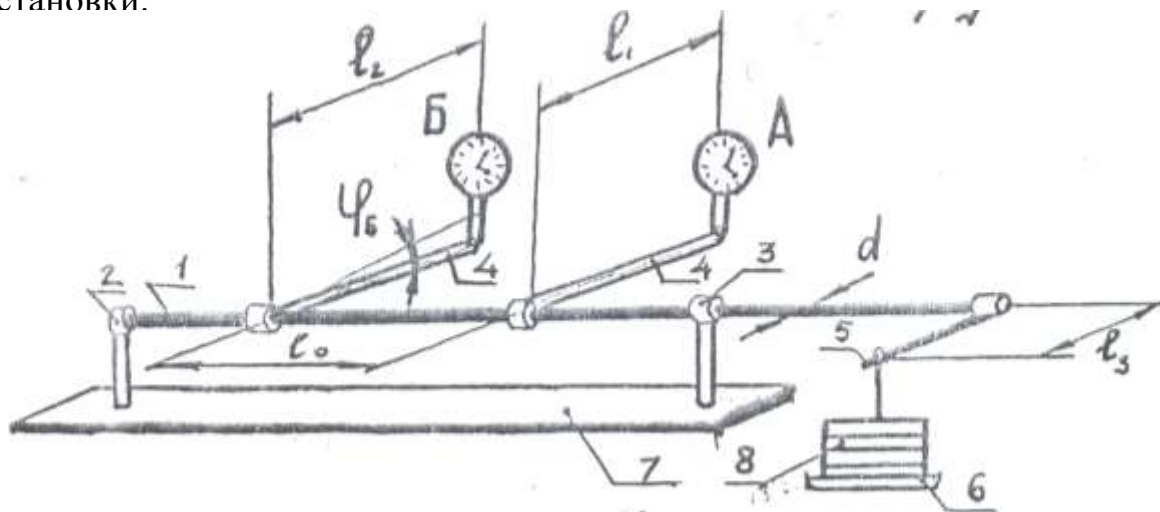
**Умения:** производить расчеты при проверке на прочность механических систем (определять характеристику жесткости материала при кручении на лабораторном оборудовании)

**Знания:** (актуализация) общие понятия технической механики в применении к профессиональной деятельности (физическая сущность модуля поперечной упругости)

#### Теоретический материал.

Модуль поперечной упругости – характеристика жесткости материала при сдвиге, т. е. способность сопротивляться упругим деформациям. При кручении возникает напряженное состояние, называемое «чистый сдвиг». Поэтому для определения величины модуля поперечной упругости необходимо опытным путем определить деформацию, возникающую при кручении, а именно угол закручивания  $\varphi_0$  между двумя сечениями А и Б на определенной длине  $\ell_0$ , а затем рассчитать величину модуля поперечной упругости  $G$ . Табличное значение для стали  $G = 0,8 \cdot 10^5 \text{ н/мм}^2$ .

Для выполнения лабораторной работы используется следующая схема установки:



На подставке 7 установлены стойки 2 и 3 для крепления образца 1. В стойке 2 образец закреплен неподвижно, а через стойку 3 проходит свободно. На правом свободном конце образца неподвижно укреплен нагрузочный рычаг 5 и тарелка 6. Между стойками на образце укреплены два рычажка под индикаторы 4. С помощью гирь 8, помещаемых на тарелку, создается момент, закручивающий образец 6. Степень момента

$$\Delta M = \Delta F \cdot \ell_3, \text{ где } \Delta F - \text{степень нагрузки (вес гири).}$$

При закручивании образца концы рычажков под индикаторы перемещаются вверх на величину, равную показанию индикатора. Угол поворота рычажков соответствует углу поворота соответствующих сечений образца А и Б. В силу малости деформаций:

$$\operatorname{tg} \varphi_A \approx \varphi_A = \frac{\Delta A_{cp}}{\ell_0}, \text{ рад}$$

$$\operatorname{tg} \varphi_B \approx \varphi_B = \frac{\Delta B_{cp}}{\ell_0}, \text{ рад}$$

Угол закручивания образца на длине  $\ell_0$  между сечениями А и Б:

$$\Delta \varphi = \varphi_A - \varphi_B, \text{ рад.}$$

Модуль поперечной упругости может быть определен по формуле:

$$G = \frac{\Delta M \cdot \ell_0}{\Delta \varphi \cdot J_p}, \frac{\text{н}}{\text{мм}^2},$$

где  $J_p$  – полярный момент инерции поперечного сечения:

$$J_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32}, \text{ мм}^4$$

Ход выполнения работы.

1. Ознакомиться с устройством установки.
2. Произвести замер исходных данных:  $d, \ell_0, \ell_1, \ell_2, \ell_3$ .
3. Дать предварительную нагрузку  $\Delta F = 10 \text{ н}$  и установить индикаторы на ноль.
4. С помощью гирь повторить нагружение образца ступенями  $\Delta F = 10 \text{ н}$  трижды и записать соответствующие показания индикаторов А и Б.

5. Разгрузить образец, завершив нагружение, и убедиться, что показания индикаторов вернулись к нулевым отметкам (это указывает, что нагружение производилось в зоне упругих деформаций).
6. Определить угол закручивания  $\Delta\varphi$  на длине  $\ell_0$ .
7. Вычислить величину модуля поперечной упругости  $G$ .
8. Определить погрешность опыта.
9. Ответить на контрольные вопросы
10. Сформулировать вывод по работе.

### **Контрольные вопросы.**

1. Какие свойства материала характеризует модуль поперечной упругости?
2. Выполните сравнительный анализ величины угла закручивания в сечениях А и Б.
3. Как изменится значение угла закручивания, если диаметр бруса увеличить вдвое?
4. Физический смысл и единицы измерения полярного момента инерции?

### **Отчет по выполнению лабораторной работы.**

#### Лабораторная работа №3

#### Испытание стального образца на кручение.

Цель:

Оборудование:

1. Схема установки:

2. Исходные данные:

$d =$  ;  $\ell_0 =$  ;  $\ell_1 =$  ;  $\ell_2 =$  ;  $\ell_3 =$  ;

число ступеней нагружения  $n =$  ;

величина ступени нагружения  $\Delta F =$

### 3. Таблица. Результаты опыта.

№ п/п	Нагрузка	Степень нагрузки	Степень момента	Показания индикаторов		Приращение показаний на степень нагружения	
				А,мм	Б,мм	ΔА,мм	ΔБ,мм
1				0	0		
2						ΔА <sub>1</sub> =	ΔБ <sub>1</sub> =
3						ΔА <sub>2</sub> =	ΔБ <sub>2</sub> =
4						ΔА <sub>3</sub> =	ΔБ <sub>3</sub> =

#### 4. Среднее приращений показаний индикаторов:

$$\Delta A_{cp} = \frac{\Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3}{3} =$$

$$\Delta B_{cp} = \frac{\Delta B_1 + \Delta B_2 + \Delta B_3}{3} =$$

#### 5. Углы поворота сечений А и Б:

$$\varphi_A =$$

$$\varphi_B =$$

#### 6. Угол закручивания на длине $\ell_0$ :

$$\Delta\varphi =$$

#### 7. Полярный момент инерции поперечного сечения образца:

$$J_p =$$

#### 8. Модуль поперечной упругости:

$$G =$$

#### 9. Погрешность опыта:

$$\Delta G = \frac{G_{маб} - G_{он}}{G_{маб}} \cdot 100 \% =$$

#### 10. Ответы на контрольные вопросы

#### 11. Вывод по работе.

## Практическая работа №4

### Расчет бруса круглого поперечного сечения на прочность при кручении.

**Цель:** освоение методики прочностного расчета элементов конструкций при кручении

**Умения:** производить расчеты при проверке на прочность механических систем (определение положения наиболее опасного сечения и расчет на прочность при кручении)

**Знания:** (актуализация) общие понятия технической механики в применении к профессиональной деятельности (правила построения эпюр крутящих моментов, условие прочности 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.  $M_z = \sum m_{i \text{ ост.ч}} (1)$ . 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.

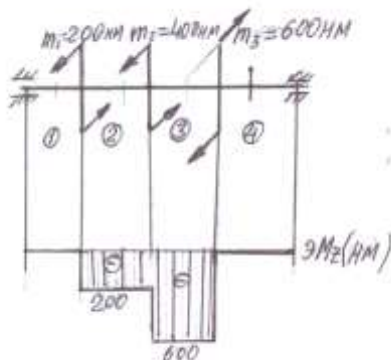
Эпюра крутящих моментов ( $ЭM_z$ ) – график распределения крутящих моментов по длине бруса.

*Правила построения  $ЭM_z$ :*

- проводится ось эпюры параллельно оси  $Z$ ;
- ось эпюры разбивается на участки перпендикулярами, опущенными из точек приложения скручивающих моментов на ось;
- участки нумеруются;
- определяется на каждом участке величина крутящего момента

-строится  $\mathcal{M}_z$  в виде прямых линий, параллельных оси с ординатами в соответствии с определенными ранее значениями крутящих моментов

*Пример построения  $\mathcal{M}_z$*



$$M_z = \sum m_{i \text{ ост.ч}}$$

$$M_{z1} = 0;$$

$$M_{z2} = -200 \text{ Нм};$$

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

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

Сущность проверочного расчета 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>

$W_p = 0,1 d^3$  – для круглого поперечного сечения;

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

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

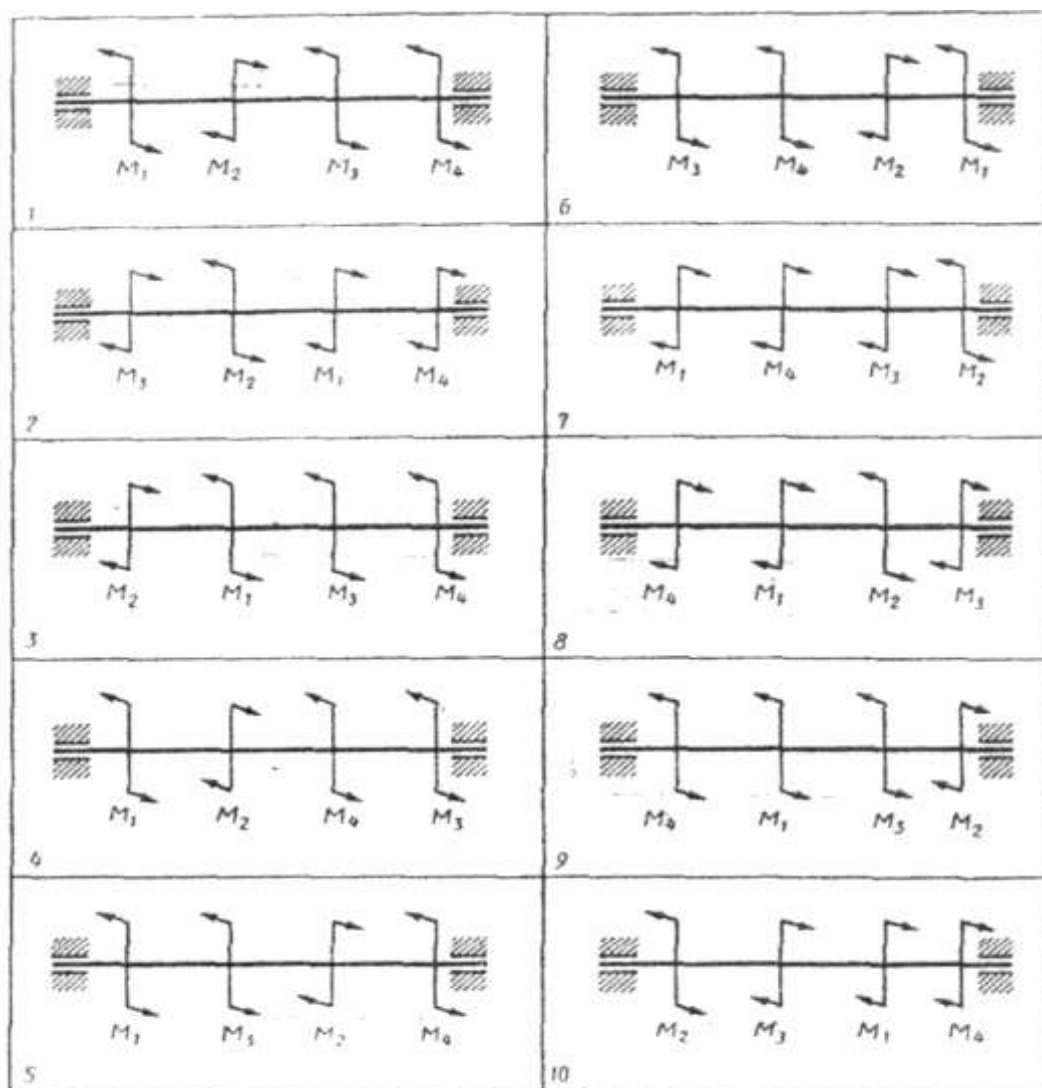
#### Задание к практической работе №4

Проверить прочность вала для схемы нагружения, соответствующей варианту. В случае не выполнения условия прочности предложить возможные варианты обеспечения прочности.

Таблица 1. Варианты заданий к практической работе.

№ вариант а	Поп. сечение	Размеры поперечного сечения, мм	№ схемы	Мощность, кВт			Угловая скорость $\omega$ , с <sup>-1</sup>	Допускаемое касательное напряжение $[\tau_k]$ , Н/мм <sup>2</sup>
				P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>		
1	круг	d=20	1	35	20	15	20	25
2		d=25	2	150	100	50	45	
3		d=30	3	40	25	20	25	
4		d=35	4	110	60	30	35	
5		d=40	5	40	15	25	30	
6	кольцо	d=45; d <sub>0</sub> =40	6	130	90	40	45	
7		d=55; d <sub>0</sub> =48	7	100	65	25	35	
8		d=64; d <sub>0</sub> =56	8	90	45	20	20	
9		d=75; d <sub>0</sub> =65	9	120	30	30	20	
10		d=70; d <sub>0</sub> =60	10	80	55	35	25	
11	круг	D=48	1	110	50	40	20	20
12		d=58	2	90	65	25	30	
13		d=65	3	65	35	20	25	
14		d=38	4	140	110	60	45	
15		d=45	5	120	80	40	35	
16		d=56	6	15	10	35	16	
17		d=34	7	75	80	25	40	
18		d=52	8	65	55	25	20	
19		d=65	9	45	50	35	23	
20		d=48	10	80	65	45	30	
21	кольцо	D=45 d=38	1	50	40	30	28	30
22		D=68 d=60	2	70	60	40	25	
23		d=75; d=68	3	55	40	18	32	
24		d=85; d=78	4	65	55	35	35	
25		d=56; d=50	5	40	30	30	16	
26		d=86; d=76	6	100	18	50	20	
27		d=80; d=75	7	90	25	40	20	
28		d=90; d=84	8	65	160	80	30	
29		d=65; d=54	9	42	75	50	15	
30		d=64; d=58	10	35	75	40	20	

## Схемы нагружения.



## Ход выполнения работы

1. Определить величину скручивающих моментов

$$m = \frac{P \cdot 10^3}{\omega}, \text{ Нм}$$

где  $P$  – мощность, кВт

$\omega$  – угловая скорость,  $\text{с}^{-1}$

2. Определить уравновешивающий момент из условия равновесия:

$$\sum m_{\text{из ост. ч.}} = 0$$



3. Используя метод сечений построить эпюру крутящих моментов  $ЭM_z$ .
4. Для наиболее опасного участка вала (см. эпюру крутящих моментов) определить максимальные напряжения кручения в поперечном сечении.
5. Полученное значение напряжения сравнить с допускаемым напряжением и сделать вывод о прочности.
6. Ответить на контрольные вопросы.
7. Сформулировать вывод по работе.

#### **Контрольные вопросы.**

1. Какие внешние нагрузки способны вызвать кручение?
2. Внутренний силовой фактор, возникающий при кручении? Как определяется его величина и знак в любом поперечном сечении?
3. Какова цель построения эпюры крутящих моментов?
4. Как проверить правильность построения эпюры крутящих моментов?
5. Запишите условие прочности при кручении.
5. Назовите возможные варианты обеспечения прочности в случае не выполнения условия прочности?

#### **Отчет по выполнению практической работы.**

##### **Практическая работа №4.**

Расчет бруса круглого поперечного сечения на прочность при кручении

Цель:

Исходные данные:

Схема нагружения:

1. Величина скручивающих моментов.
2. Величина уравнивающего момента.
3. Построение эпюры крутящих моментов и определение положения наиболее опасного сечения.
4. Определение величины максимальных напряжений кручения.
5. Вывод о прочности.
6. Ответы на контрольные вопросы.
7. Вывод по работе.

## Практическая работа №5.

### Расчет на прочность балок, изготовленных из пластичных материалов

**Цель:** освоение методики проведения прочностных расчетов при изгибе

**Умения:-** производить расчеты при проверке на прочность механических систем (построение эпюр изгибающих моментов, расчет на прочность при изгибе)

**Знания:** (актуализация) общие понятия технической механики в приложении к профессиональной деятельности (правила построения эпюр изгибающих моментов и условие прочности при изгибе)

### 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:

$$Q = \sum F_{i \text{ ост.ч.}}$$

*Правило знаков поперечных сил:* если внешняя сила стремится поворачивать оставшуюся часть вокруг рассматриваемого сечения по часовой стрелке, то ей приписывается знак плюс, если против часовой стрелки – знак минус:

*Изгибающий момент* в произвольном поперечном сечении численно равен алгебраической сумме моментов внешних сил, приложенных к оставшейся части относительно рассматриваемого сечения:

$$M = \sum M_{\text{сеч}}(F_{i \text{ ост. ч.}})$$

*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:*

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

### *Правила построения эпюр изгибающих моментов:*

1. На участке, нагруженном равномерно распределенной нагрузкой, эпюра изображается квадратичной параболой, обращенной навстречу нагрузке.
2. На участке, свободном от действия равномерно распределенной нагрузки, эпюра – наклонная прямая.
3. Изгибающий момент скачкообразно изменяет свое значение в сечении, в котором приложен сосредоточенный момент, величина скачка равна величине приложенного момента.
4. 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.
5. На участке действия равномерно распределенной нагрузки в точке, где эпюра поперечных сил плавно переходит через ноль, на эпюре изгибающих моментов возникает экстремум.

### *Условие прочности для пластичных балок*

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

Осей момент сопротивления для различных сечений:

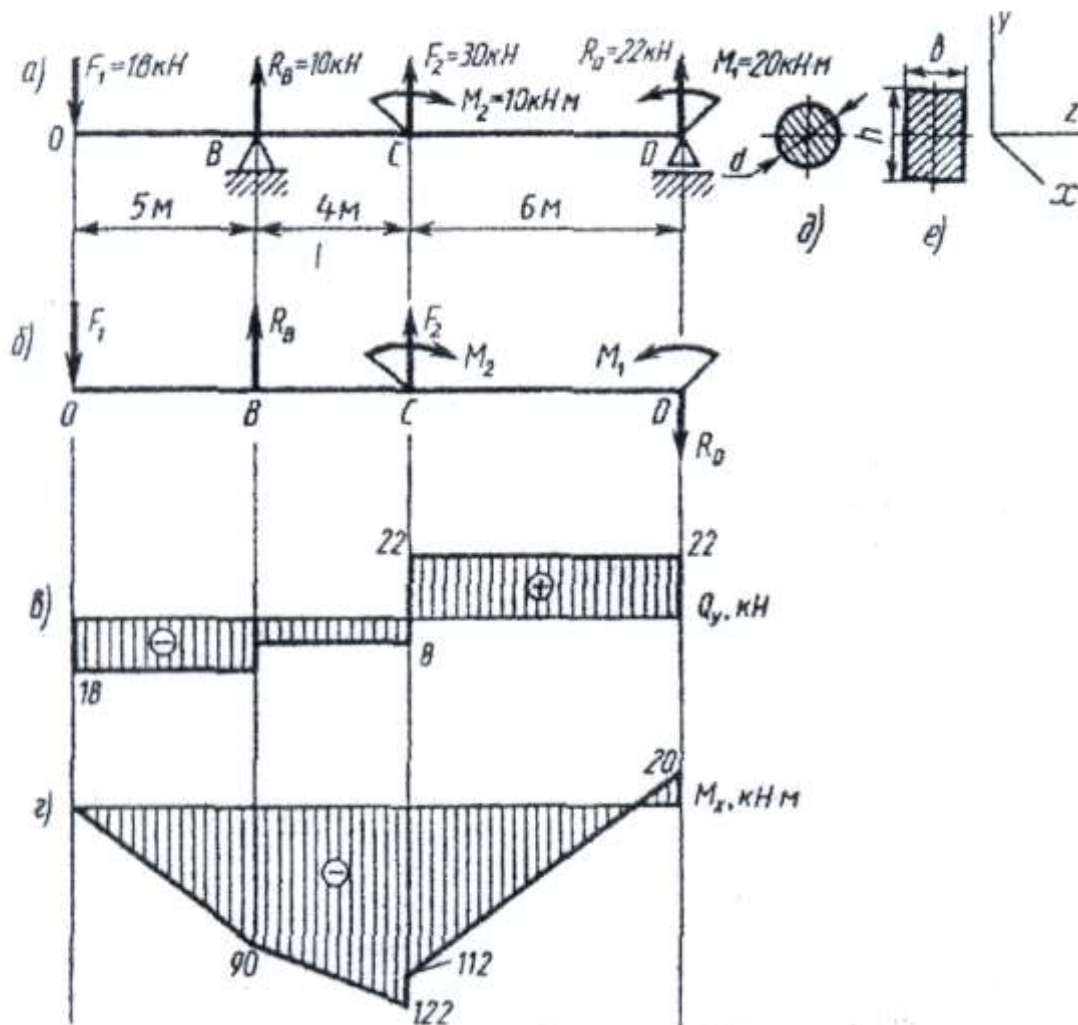
-для круга  $W_x = 0,1 \cdot d^3$

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

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

### Пример расчета

Проверить прочность балки для двух вариантов поперечного сечения: круга и прямоугольника, если:  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ ,  $d = 100 \text{ мм}$ ,  $h = 200 \text{ мм}$ ,



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  $R_B = 10 \text{ кН}$ .

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

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

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

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:  $Q = \sum F_{i \text{ ост.ч.}}$

$$Q_{yO} = -F_1 = -18 \text{ кН};$$

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

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

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

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

$$Q_{yD}^{\text{слева}} = -18 + 10 + 30 = 22 \text{ (кН)}; \quad Q_{yD}^{\text{справа}} = -18 + 10 + 30 - 22 = 0$$

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

$$M_{xO} = 0; \quad M_{xB} = -18 \cdot OB = -18 \cdot 5 = -90 \text{ кНм};$$

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

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

$$M_{xD}^{\text{слева}} = -F_1 \cdot OD + R_B \cdot BD + M_2 + F_2 \cdot CD = -18 \cdot 15 + 10 \cdot 10 + 10 + 30 \cdot 6 = 20 \text{ (кНм)}$$

$$M_{xD}^{\text{справа}} = -F_1 \cdot OD + R_B \cdot BD + M_2 + F_2 \cdot CD - M_1 = -18 \cdot 15 + 10 \cdot 10 + 10 + 30 \cdot 6 - 20 = 0$$

5. Проверка прочности наиболее опасного поперечного сечения из условия прочности на изгиб:

$$\sigma_{\text{MAX}} = \frac{M_{\text{MAX}}}{W_x} \leq [\sigma]$$

5.1 сечение – прямоугольник

Используя формулу:  $W_x = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{140 \cdot 200^2}{6} = 933333 \text{ (мм}^3\text{)}$ , проверим

прочность прямоугольного сечения:

$$\sigma_{\text{MAX}} = \frac{M_{\text{MAX}}}{W_x} = \frac{122 \cdot 10^6}{933333} = 131 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 160 \text{ МПа}$$

Прочность прямоугольного сечения обеспечена

5.2. сечение – круг:

Используя формулу  $W_x = 0,1 d^3 = 0,1 \cdot 100^3 = 100000 \text{ (мм}^3\text{)}$  проверим

прочность круглого поперечного сечения

$$\sigma_{\text{MAX}} = \frac{M_{\text{MAX}}}{W_x} = \frac{122 \cdot 10^6}{10^5} = 1220 \text{ (МПа)} > [\sigma] = 160 \text{ МПа}$$

Прочность круглого поперечного сечения не обеспечена.

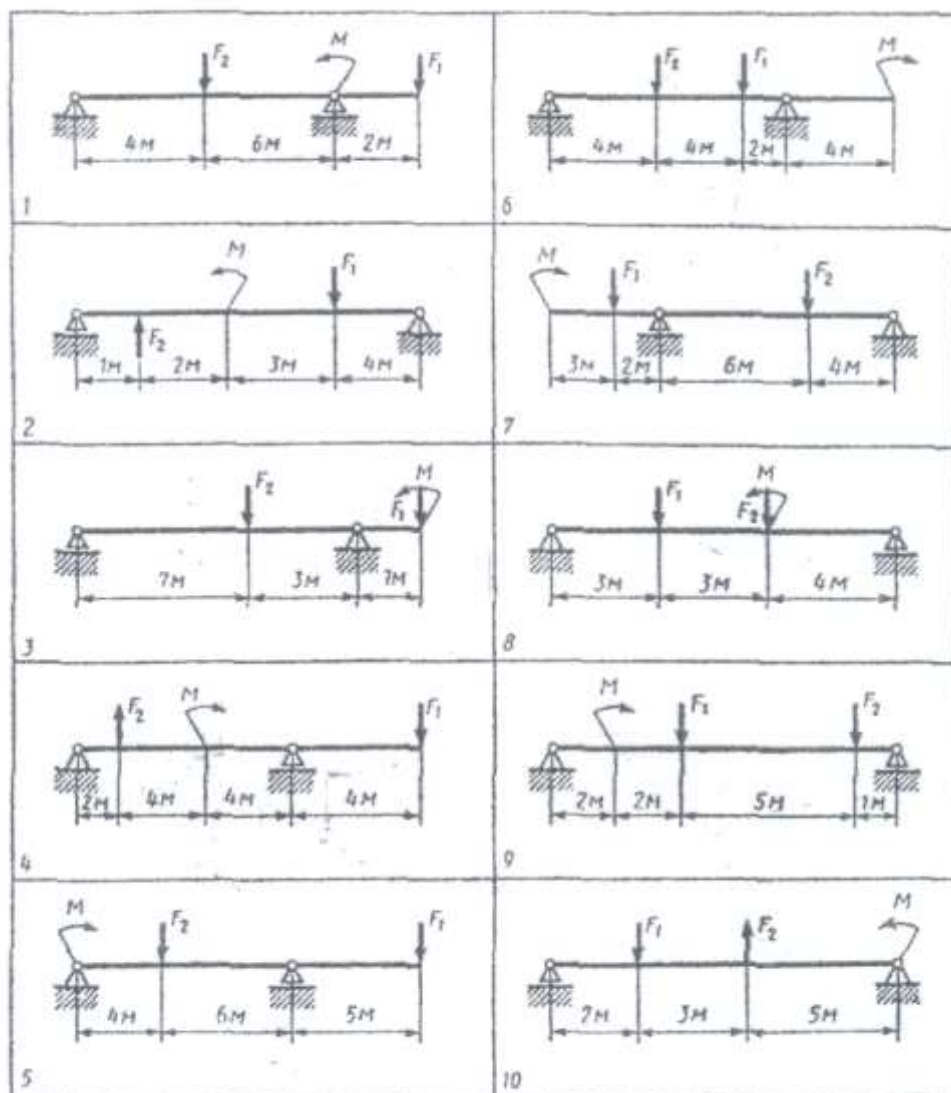
### Задание к практической работе:

Проверить прочность поперечного сечения балки. В случае не выполнения условия прочности предложить возможные варианты обеспечения прочности.

Варианты заданий к практической работе

№ вар	№ схемы	Внешняя нагрузка			Поперечное сечение	Допускаемое напряжение, $[\sigma]$ , Н/мм <sup>2</sup>
		F <sub>1</sub> , кН	F <sub>2</sub> , кН	M, кНм		
1	1	20	10	13	Круг d=80 мм	120
2	2	14	5	8		
3	3	5	20	4		
4	4	10	15	2		
5	5	20	1	2		
6	6	3	2	10		
7	7	5	2	6		
8	8	1	2,5	2		
9	9	2	4	1		
10	10	6,5	4	2		
11	1	12	8	20	круговое кольцо d=60 мм d <sub>0</sub> = 45 мм	160
12	2	14	5	8		
13	3	12	20	30		
14	4	1	6	8		
15	5	15	2	3		
16	6	5	4	8		
17	7	8	1	4		
18	8	4	3	10		
19	9	5	8	10		
20	10	15	4	2		
21	1	12	20	40	прямоугольник h = 80 мм b = 40 мм	150
22	2	10	8	12		
23	3	4	18	3		
24	4	15	12	6		
25	5	3	5	8		
26	6	4	7	1		
27	7	8	4	12		
28	8	20	8	2		
29	9	4	2,5	6		
30	10	12	3	10		

## Схемы нагружения.



## Ход выполнения работы

- 1.Связи заменить реакциями связей.
- 2.Определить реакции связей, составив уравнения равновесия для плоской произвольной системы сил.
- 3.Выполнить проверку правильности определенных реакций.
- 4.Определить вид эпюры поперечных сил на каждом участке в зависимости от внешней нагрузки, вычислить величину поперечных сил в характерных точках и построить эпюру поперечных сил.
- 5.Определить вид эпюры изгибающих моментов на каждом участке в зависимости от внешней нагрузки, вычислить величину изгибающих



моментов в характерных точках и построить эпюру изгибающих моментов.

6. Определив положение наиболее опасного сечения (по эпюре изгибающих моментов) выполнить проверочный расчет поперечного сечения.

7. Проанализировать полученный результат.

8. Ответить на контрольные вопросы.

9. Сформулировать вывод по практической работе.

### **Контрольные вопросы:**

1. Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечном сечении при поперечном изгибе?

2. Назовите формулы для определения поперечной силы и изгибающего момента в любом поперечном сечении.

3. С какой целью строятся эпюры поперечных сил и изгибающих моментов?

4. Запишите алгоритм определения положения наиболее опасного сечения?

5. В чем заключается сущность проверочного и проектного расчетов на прочность?

6. Запишите условие прочности при изгибе.

7. Запишите формулы для определения осевого момента сопротивления для круга, кругового кольца и прямоугольника.

### **Отчет по выполнению практической работы.**

#### **Практическая работа №5.**

Расчет на прочность балок, изготовленных из пластичных материалов

Цель:

Схема нагружения:

Исходные данные:

1. Определение реакций связей.

2. Проверка правильности определенных реакций.

- 3.Определение величины поперечных сил в характерных точках и построение эпюры поперечных сил.
- 4.Определение величины изгибающих моментов в характерных точках и построение эпюры изгибающих моментов.
- 5.Определение положения наиболее опасного сечения.
- 6.Выполнение проверочного расчета балки.
7. Анализ полученного результата
- 8.Ответы на контрольные вопросы.
- 9 .Вывод по практической работе.

### Практическая работа №6.

#### Выбор электродвигателя. Кинематический и силовой расчет привода.

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

**Умения:** рассчитывать параметры электрических и элементов механических систем (рассчитывать передаточные отношения частоты вращения угловых скоростей, мощности вращающихся моментов на валах привода)

**Знания:** типовые детали машин и механизмов (виды механических передач и формулы расчета кинематических и силовых параметров)

#### Теоретический материал

Большинство современных машин создаются по схеме:



*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  $P$ , Вт  $P = M \cdot \omega$
- вращающий момент  $M$ , Н·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, червячной, ременной, цепной) а также других звеньев привода (подшипников, муфты) и т. д.

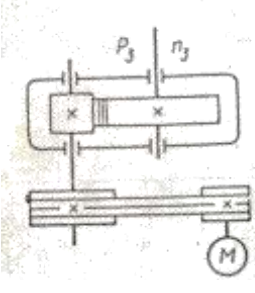
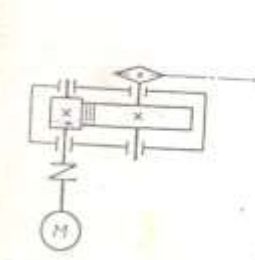
**Задание к практической работе:** Для заданного привода выбрать электродвигатель, выполнить кинематический и силовой расчет привода.

## Ход выполнения работы

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

Таблица 1 – Исходные данные к практической работе

№п/п	Мощность на выходе привода, $P_{\text{вых}}$ , кВт	Частота вращения выходного вала привода $n_{\text{вых}}$ , мин <sup>-1</sup>	Кинематическая схема привода
1	4,6	130	
2	3,2	118	
3	1,8	80	
4	3,4	140	
5	2,5	100	
6	4,5	95	
7	2,5	60	
8	1,7	120	
9	2,3	130	
10	3,3	80	
11	4,6	120	
12	3,3	100	
13	4,5	100	
14	1,8	90	
15	2,5	85	
16	1,7	112	
17	3,2	160	
18	4,5	110	
19	4,4	150	
20	5,2	130	

21	4,3	40	
22	3,4	50	
23	4,5	30	
24	6	30	
25	3,5	50	
26	2,5	100	
27	4,6	80	
28	1,8	140	
29	3,4	120	
30	2,5	80	

2. Выбрать электродвигатель.

2.1. Определить КПД привода  $\eta = \eta_{\text{ц}}^a \cdot \eta_{\text{р}}^b \cdot \eta_{\text{з}}^c \cdot \eta_{\text{н}}^e, (1)$

где  $\eta_{\text{ц}}, \eta_{\text{р}}, \eta_{\text{з}},$  – КПД соответственно цепных, ременных, зубчатых, передач,  
пар подшипников /табл.2/

Таблица 2. Значения КПД механических передач

Тип передачи	Закрытая	Открытая
Зубчатая:		
цилиндрическая	0,96...0,97	0,93...0,95
коническая	0,95...0,97	0,92...0,94
Цепная	0,95...0,97	0,90...0,93
Ременная:		
плоским ремнем		0,96...0,98
клиновыми (поликлиновым) ремнями		0,95...0,97

Примечания: 1. Потери в подшипниках на трение оцениваются следующим коэффициентом: для одной пары подшипников скольжения принимаются  $\eta_{\text{вс}}=0,98...0,99$ .  
2. Потери в муфте принимаются  $\eta_{\text{м}} \approx 0,98$

a,b,c,e- количество соответственно цепных, ременных, зубчатых, передач,  
пар подшипников.

*Примечание:* составляющие формулы (1) определяются в зависимости от кинематической схемы привода.

2.2. Определить требуемую мощность двигателя, кВт  $P_{\text{тр.дв}} = \frac{P_{\text{вых}}}{\eta} (2)$

2.3. Определить возможное передаточное отношение привода /табл.3/

$$u_{\text{вoз}} = u_z \cdot u_p \cdot u_{\text{ц}}, \quad (3)$$

Таблица 3. Рекомендуемые значения передаточных отношений

Закрытые зубчатые передачи (редукторы) одноступенчатые цилиндрические и конические (ГОСТ 2185— 66):					
1-й ряд - 2,0;	2,5;	3,15;	4,0;	5,0;	6,3;
2-й ряд-2,24;	2,8;	3,55;	4,5;	5,6;	7,1.
Значения 1-го ряда следует предпочитать значениям 2-го ряда.					
Закрытые червячные передачи (редукторы) одноступенчатые для червяка с числом витков г,=1; 2; 4 (ГОСТ 2144-75):					
1-й ряд-10;	12,5;	16;	20;	25;	31,5;
2-й ряд-11,2;	14;	18;	22,4	28;	35,5.
Значения 1-го ряда следует предпочитать значениям 2-го ряда.					
Открытые зубчатые передачи: 3...7, закрытые зубчатые передачи: 3...6.					
Цепные передачи: 2...4					
Ременные передачи (все типы): 2...4					

где  $u_z$  - передаточное отношение зубчатой передачи;

$u_p$  – передаточное отношение ременной передачи ;

$u_{\text{ц}}$  – передаточное отношение цепной передачи

*Примечание:* составляющие формулы 3 определяются в зависимости от кинематической схемы привода.

#### 2.4.Определить возможную частоту вращения вала двигателя

$$n_{\text{вoзм}} = n_{\text{вых}} \cdot u_{\text{вoзм}}(4)$$

Таблица 4 - Двигатели асинхронные короткозамкнутые трехфазные серии 4А общепромышленного применения; закрытые, обдуваемые.

Номинальная мощ- ность	Синхронная частота вращения, об/мин							
	3000		1500		1000		750	
	Тип двигателя	Номинальная частота $n_1$ , об/мин	Тип двигателя	Номинальная частота $n_2$ , об/мин	Тип двигателя	Номинальная частота $n_{1/ш}$ , об/мин	Тип двигателя	Номинальная частота $n_{ш}$ , об/мин
0,25	4ААМ56В2У3	2760	4ААМ63А4У3	1370	4ААМ63В6У3	890	4АМ71В8У3	680
0,37	4ААМ63А2У3	2740	4ААМ63В4У3	1365	4АМ71А6У3	910	4АМ80А8У3	675
0,55	4ААМ63В2У3	2710	4АМ71А4У3	1390	4АМ71В6У3	900	4АМ80В8У3	700
0,75	4АМ71А2У3	2840	4АМ71В4У3	1390	4АМ80А6У3	915	4АМ90БА8У3	700
1,1	4АМ71В2У3	2810	4АМ80А4У3	1420	4АМ80В6У3	920	4АМ90БВ8У3	700
1,5	4АМ80А2У3	2850	4АМ80В4У3	1415	4АМ90Б6У3	935	4АМ100Б8У3	700
2,2	4АМ80В2У3	2850	4АМ90Б4У3	1425	4АМ100Б6У3	950	4АМ112МА8У3	700
3,0	4АМ90Б2У3	2840	4АМ100S4y3	1435	4АМ112МА6У3	955	4АМ112МВ8У3	700
4,0	4АМ100S2y3	2880	4АМ100Б4У3	1430	4АМ112МВ6У3	950	4АМ132S8y3	720
5,5	4АМГ00Б2У3	2880	4АМ112М4У3	1445	4АМ132S6y3	965	4АМ132М8У3	720
7,5	4АМ112М2У3	2900	4АМ132S4У3	1455	4АМ132М6У3	870	4АМ160S8y3	730

## 2.5. Выбрать стандартный электродвигатель

/таблица 4 /

*Примечание:* При выборе двигателя необходимо следовать рекомендациям:

- $P_{дв} > P_{трдв}$  (допустимая перегрузка до 5%)
- частоту вращения двигателя необходимо принимать таким образом, чтобы передаточные отношения передач привода оказались наиболее рациональными. При этом необходимо учесть, двигатели с большой частотой вращения (синхронной 3000 мин<sup>-1</sup>) имеют низкий рабочий ресурс, а двигатели с частотой 750 мин<sup>-1</sup> весьма металлоемки. Поэтому их без особой необходимости применять не рекомендуется;
- необходимо выбрать следующие характеристики двигателя:

-  $P_{дв}$ , кВт

-  $n_{дв}$  мин<sup>-1</sup>

## 3. Выполнить кинематический расчет привода

### 3.1. Определить передаточное отношение привода

$$u = \frac{n_{дв}}{n_{вых}} \quad (5)$$

### 3.2. Произвести разбивку передаточного отношения по ступеням

#### 3.2.1. Назначить передаточное отношение зубчатой передачи ( $u_{зп}$ ) в

соответствии с ГОСТ 2185-66

/табл.3/

#### 3.2.2. Рассчитать передаточное отношение открытой передачи (ременной или цепной)

$$u_{цп} = u / u_{зп} \quad \text{или} \quad u_{рп} = u / u_{зп} \quad (6)$$

### 3.3. Определить частоту вращения валов привода $n$ , мин<sup>-1</sup> с

учетом кинематической схемы

### 3.4. Определить угловые скорости валов привода, с<sup>-1</sup>

$$\omega = \pi n / 30 \quad (7)$$

## 4. Выполнить динамический расчет привода



4.1. Определить мощность на валах привода (с учетом величины  $P_{прдв}$  и потерь мощности в тех элементах привода, которые расположены на пути передачи мощности от двигателя до рассматриваемого вала).

$$P = P_{пр.} \cdot \eta, \text{ кВт} \quad (8)$$

4.2. Определить величину вращающих моментов на валах привода,

$$M = P \cdot 10^3 / \omega, \text{ нм} \quad (9)$$

5. Сформулировать вывод по работе.

6. Ответить на 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). Выберите соотношение между геометрическими, кинематическими и силовыми параметрами ведущего и ведомого элементами зубчатого редуктора:

а)  $u > 1$       б)  $z_1 > z_2$       в)  $w_1 > w_2$       г)  $P_1 > P_2$       д)  $M_1 > M_2$

$u < 1$        $z_1 < z_2$        $w_1 < w_2$        $P_1 < P_2$        $M_1 < M_2$

5). Перечислите силовые характеристики механической передачи?

6). Поясните физический смысл КПД и запишите формулу его определения для механического привода?

### **Структура отчет по практической работе**

1. Номер и название работы

2. Цель:

3. Задание к практической работе

4. Кинематическая схема привода.

5. Исходные данные:  $P_{вых} =$  , кВт  
 $n_{вых} =$  , мин<sup>-1</sup>

6. Выбор электродвигателя.

6.1. Определение КПД привода

6.2. Определение требуемой мощности двигателя

6.3.Определение возможного передаточного отношения привода

6.4.Определение возможной частоты вращения вала двигателя

6.5.Выбор стандартного электродвигателя

7.Кинематический расчет привода.

7.1.Определение фактического передаточного отношения привода

7.2. Разбивка передаточного отношения по ступеням

7.3.Определение частоты вращения валов привода,  $\text{мин}^{-1}$

7.4. Определение угловой скорости валов привода,  $\text{с}^{-1}$

8.Динамический расчет привода.

8.1. Определение мощности на валах привода, кВт

8.2. Определение вращающих моментов на валах привода, нм

Таблица 5 - Результаты расчета

Параметр	Вал			
	зубчатой передачи		открытой передачи	
	ведущий	ведомый	ведущий	ведомый
Передаточное отношение $u$				
Частота вращения $n$ , $\text{мин}^{-1}$				
Угловая скорость, $\omega$ , $\text{сек}^{-1}$				
Мощность, кВт				
Вращающий момент, нм				

9.Вывод по работе:

10.Ответы на контрольные вопросы.

## Практическая работа №7.

### Расчет геометрических размеров зубчатых колес по их замерам.

**Цель:** формирование умений расчета геометрических размеров контролируемых параметров и выполнения эскиза зубчатого колеса.

**Умения:** рассчитывать параметры элементов механических систем (рассчитывать геометрические размеры цилиндрических зубчатых колес)

**Знания:** типовые детали машин (формулы для расчета геометрических параметров зубчатых колес)

### Теоретический материал.

Зубчатые колеса являются элементами самой распространенной механической передачей- зубчатой с эвольвентным рабочим профилем зуба.

К основным геометрическими параметрами эвольвентного зубчатого зацепления относятся:

-модуль зацепления  $m$ - величина, пропорциональная шагу зацепления  $p$  по делительному цилиндру:  $m = \frac{p}{\pi}$ , величина модуля согласуется со

стандартом; зубчатые колеса, находящиеся в зацеплении, имеют одинаковый модуль;

-делительный диаметр  $d$  – диаметр делительной окружности, условно делящая высоту зуба на головку и ножку:

$$d = m \cdot z,$$

где  $z$  – число зубьев зубчатого колеса;

-диаметр окружности выступов  $d_a$  - диаметр окружности, проходящей по вершинам зубьев:

$$d_a = m \cdot z + 2m$$

-диаметр окружности впадин  $d_f$ –диаметр окружности, проходящей по основанию зубьев:

$$d_f = m \cdot z - 2,5 m ;$$

-высота головки зуба  $h_a$  - высота зуба, ограниченная окружностью выступов и делительной окружностью:  $h_a = m$ ;

-высота ножки зуба  $h_f$  - высота зуба, ограниченная окружностью впадин и делительной окружностью:

$$h_f = 1,25m$$

-высота зуба  $h$  складывается из высоты головки и высоты ножки зуба:

### **Задание к практической работе :**

- замерить размеры зубчатого колеса: диаметр выступов, ширину;
- подсчитать число зубьев;
- рассчитать геометрические и контролируемые параметры зубчатого колеса;
- выполнить эскиз зубчатого колеса с простановкой основных размеров.

### **Ход выполнения практической работы**

1. Подсчитать число зубьев зубчатого колеса.
2. Замерить штангенциркулем размеры:
  - диаметр выступов  $d_a$
  - ширину зубчатого венца  $b$
3. Результаты измерений занести в таблицу 1
4. Рассчитать геометрические размеры зубчатого колеса:
  - 4.1 модуль зацепления  $m$  (округлить до стандартного значения);
  - 4.2 делительный диаметр  $d$ ;
  - 4.3 диаметр выступов  $d_a$ ;
  - 4.4 диаметр впадин  $d_f$
  - 4.5 высоту головки зуба  $h_a$
  - 4.6 высоту ножки зуба  $h_f$
  - 4.7 высоту зуба  $h$
5. Результаты расчетов занести в таблицу 2.
6. Рассчитать контролируемые параметры зубчатого колеса:

6.1.число зубьев на длине общей нормали

$$n = 0.1 lz + 0.6 \text{ (округлить до целого числа)}$$

6.2.длину общей нормали

$$W = m [ 1.476 ( 2n - 1 ) + 0.0139z ] \text{ ( с точностью до 0.01)}$$

6.3.величину постоянной хорды зуба

$$Sc = 1,386m \text{ ( округлить до 0.01 )}$$

6.4. высоту до постоянной хорды

$$he = 0.7476m \text{ ( округлить до 0.01 )}$$

7. Выполнить эскиз зубчатого колеса, проставить размеры и заполнить таблицу на эскизе зубчатого колеса.

8.Сделать вывод о погрешности измерений

$$\Delta = \frac{da_{расч} - da_{изм}}{da_{расч}} 100\%$$

9. Сформулировать вывод по работе.

10.Ответить на контрольные вопросы:

10.1.Перечислите основные геометрические параметры цилиндрического зубчатого колеса.

10.2.Какой параметр определяет величину всех геометрических размеров зубчатого колеса?

10.3.При каком основном условии два зубчатых колеса могут быть введены в зацепление?

10.4.Сформулируйте понятия: делительная окружность, окружность выступов, окружность впадин.

10.5.Запишите формулы для определения делительного диаметра, диаметров выступов и впадин цилиндрического прямозубого колеса.

### **Структура отчёта по выполнению работы**

1.Номер и наименование работы

2.Цель:

3.Материальная база:

4.Результаты измерений

Таблица1. Результаты измерений

Z	da, мм	b, мм

5.Расчет геометрических размеров:

5.1.модуль зацепления

5.2. делительный диаметр

5.3.диаметр выступов

5.4. диаметр впадин

5.5. высота головки зуба

5.6. высота ножки зуба

5.7.высота зуба

Таблица 2- Результаты вычислений

m	d	da	df	ha	hf	h

6.Вывод о погрешности измерений

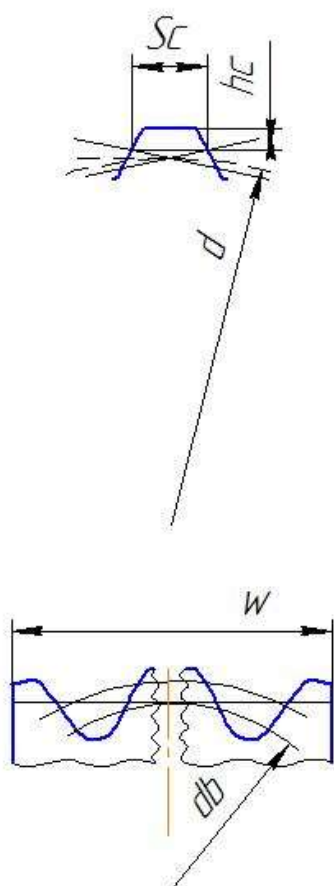
7.Расчет контролируемых параметров

8.Эскиз зубчатого колеса.

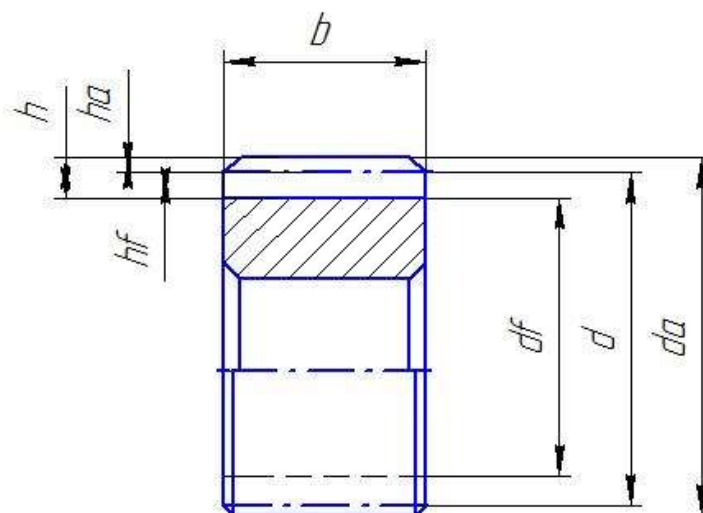
9. Вывод по работе

Ответы на контрольные вопросы.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата



Модуль	$m$	3.5
Число зубьев	$z$	24
Нормальный исходный контур	—	ГОСТ13755-81
Угол наклона зубьев	$\beta$	$0^\circ$
Направление линии зуба	—	прямой
Коэффициент смещения	$x$	0
Делительный диаметр	$d$	84
Степень точности ГОСТ1643-81	—	
Длина общей нормали	$W$	26,998
Постоянная хорда зуба	$Sc$	4,85
Высота до постоянной хорды	$hc$	2,62



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Лист

Копировал

Формат А4

## Критерии оценивания выполненных лабораторных и практических работ

№ п/п	Критерии оценивания	Оценка
1	Выполнение работы 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)

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

При подготовке и выполнении практических работ необходимо пользоваться теоретическим материалом, представленным в данных методических рекомендациях (в разрезе каждой практической работы.) и ГОСТами на детали, узлы и соединения.



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

## ОТЧЕТ

по выполнению лабораторных и практических работ  
по учебной дисциплине «Техническая механика»

выполнил \_\_\_\_\_

группа \_\_\_\_\_

проверил \_\_\_\_\_

Челябинск, 20\_\_ г.

						Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		