

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Многопрофильный колледж



**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

по учебной дисциплине

**ОП.06 Техническая механика**

для студентов специальности

**44.02.06. Профессиональное обучение (по отраслям). Строительство и эксплуатация зданий и сооружений**

*(углубленной подготовки)*

Магнитогорск, 2017

**ОДОБРЕНО:**

Предметно-цикловой комиссией  
«Строительство и эксплуатация зданий и сооружений»  
Председатель *В.Д. Чащомова*  
Протокол №7 от 14.03.2017 г.

Методической комиссией МпК  
Протокол №4 от 23.03.2017 г.

**Составитель:**

преподаватель ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова» МпК В.В. Радомская

Методические указания по выполнению практических и лабораторных работ разработаны на основе рабочей программы учебной дисциплины «Техническая механика».

Содержание практических и лабораторных работ ориентировано на подготовку обучающихся к освоению профессионального(ых) модуля(ей) программы подготовки специалистов среднего звена по специальности 44.02.06 Профессиональное обучение (по отраслям). Строительство и эксплуатация зданий и сооружений и овладению профессиональными компетенциями.

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Введение	4
2 Методические указания	6
Практическая работа 1	6
Практическая работа 2	9
Практическая работа 3	11
Практическая работа 4	13
Практическая работа 5	16
Практическая работа 6	19
Практическая работа 7	23
Практическая работа 8	26
Практическая работа 9	29
Практическая работа 10	33
Практическая работа 11	37
Практическая работа 12	39
Практическая работа 13	43
Практическая работа 14	45
Практическая работа 15	49
Практическая работа 16	51
Лабораторная работа 1	54
Лабораторная работа 2	56
Лабораторная работа 3	58
Лабораторная работа 4	59

## 1 ВВЕДЕНИЕ

Важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки обучающихся составляют практические и лабораторные занятия.

Состав и содержание практических и лабораторных занятий направлены на реализацию Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования.

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование профессиональных практических умений (умений выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных практических умений (умений решать задачи по статике, кинематике, динамике, сопротивлению материалов и деталям машин), необходимых в последующей учебной деятельности.

Ведущей дидактической целью лабораторных занятий является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей).

В соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Техническая механика» предусмотрено проведение практических и лабораторных занятий.

В результате их выполнения, обучающийся должен:

**уметь:**

- выполнять расчеты на прочность, жесткость, устойчивость элементов сооружений;
- определять аналитическим и графическим способами усилия опорные реакции балок, ферм, рам;
- определять усилия в стержнях ферм;
- строить эпюры нормальных напряжений, изгибающих моментов и др

Содержание практических и лабораторных занятий ориентировано на подготовку обучающихся к освоению профессионального модуля программы подготовки специалистов среднего звена по специальности и овладению **профессиональными компетенциями:**

ПК 4.2. Участвовать в разработке и внедрении технологических процессов.

ПК 4.3. Разрабатывать и оформлять техническую и технологическую документацию.

ПК 4.4. Обеспечивать соблюдение технологической и производственной дисциплины.

А также формированию **общих компетенций:**

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

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, определять методы решения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Оценивать риски и принимать решения в нестандартных ситуациях.

ОК 4. Осуществлять поиск, анализ и оценку информации, необходимой для постановки и решения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии для совершенствования профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и команде, взаимодействовать с руководством, коллегами и социальными партнерами.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Осуществлять профессиональную деятельность в условиях обновления ее целей, содержания, смены технологий.

ОК 11. Строить профессиональную деятельность с соблюдением правовых норм, ее регулирующих.

Выполнение обучающихся практических и лабораторных работ по учебной дисциплине «Техническая механика» направлено на:

- *обобщение, систематизацию, углубление, закрепление, развитие и детализацию полученных теоретических знаний по конкретным темам учебной дисциплины;*
- *формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;*

- *формирование и развитие умений: наблюдать, сравнивать, сопоставлять, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования, пользоваться различными приемами измерений, оформлять результаты в виде таблиц, схем, графиков;*

- *развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, проектировочных, конструктивных и др.;*

Практические и лабораторные занятия проводятся после соответствующей темы, которая обеспечивает наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

## 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### Тема 1.2 Плоская система сходящихся

#### Практическая работа № 1

#### Определение равнодействующей сходящейся системы сил

##### Цель:

- Знать способ разложения силы на составляющие,
- Изучить способы сложения сил, линии действия которых сходятся в одной точке,
- Знать геометрический и аналитический способы определения равнодействующей силы и уметь ими пользоваться.

##### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- Выполнять основные расчёты по теоретической механике.

##### Материальное обеспечение:

Конспект лекций, учебники, интернет-ресурсы, линейка, транспортир, карандаш, ластик.

##### Задание:

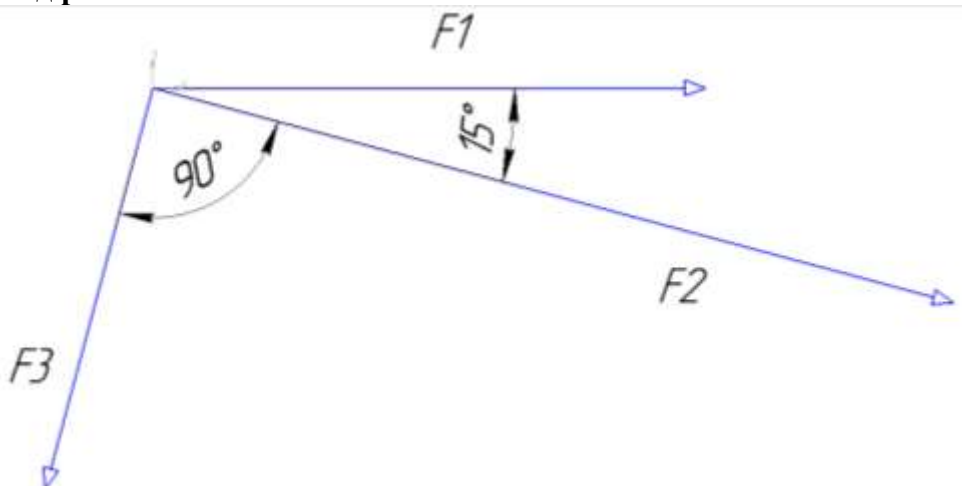
1. Определить равнодействующую плоской системы сходящихся сил геометрически.
2. Определить равнодействующую плоской системы сходящихся сил аналитически.

##### Порядок выполнения работы:

1. Для графического решения задачи необходимо в принятом масштабе последовательно соединить три вектора с соблюдением углов, Соединив начало вектора  $F_1$  и конец вектора  $F_3$  получим значение равнодействующей.

2. Для аналитического решения необходимо принять систему координат и составить уравнение равновесия относительно осей  $x$  и  $y$ , чтобы по правилу параллелограмма определить значение равнодействующей.

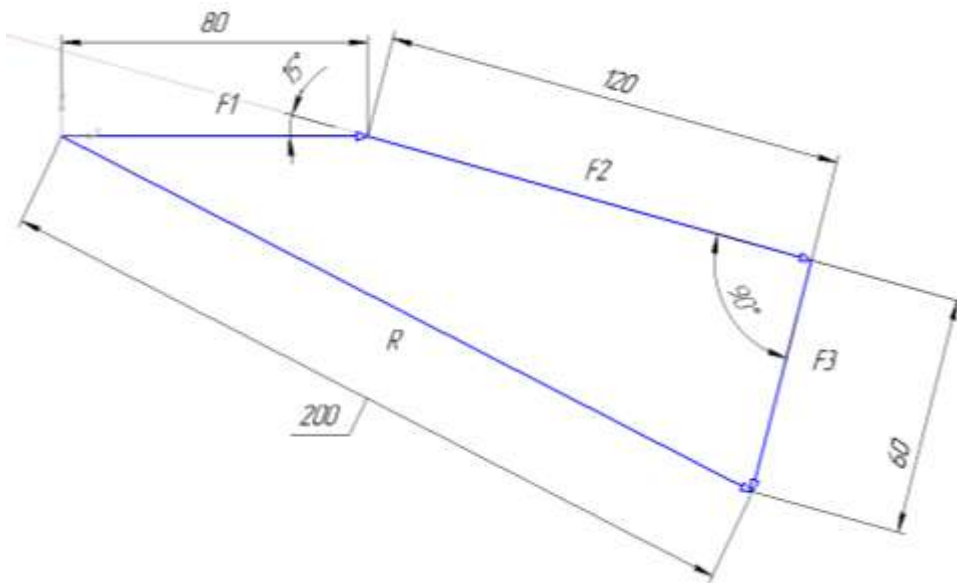
##### Ход работы:



1 Графический метод.

Принимаем масштаб для сил 20:1.  $F_1 = 80\text{мм}$ ,  $F_2 = 120\text{мм}$ ,  $F_3 = 60\text{ мм}$ .

Выстраиваем в масштабе последовательно под заданными углами вектора сначала  $F_1$  потом  $F_2$  за ним  $F_3$  начало вектора  $F_1$  и конец вектора  $F_3$  соединяем вектором  $R$ , это по правилу параллелограмма равнодействующая системы сил.

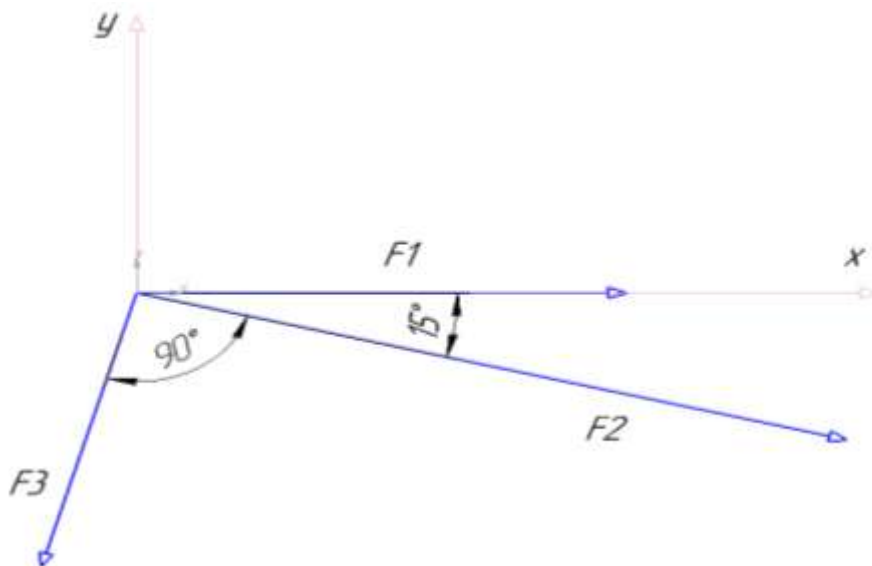


Замеряем линейкой значение равнодействующей и переводим в Н согласно принятому масштабу, тогда  $R = 10\text{Н}$ .

2 Аналитический метод.

Для системы сил принимаем произвольно направление осей  $x$  и  $y$  под углом  $90^\circ$ .

Относительно принятой системы координат составляем уравнения равновесия на оси  $x$  и  $y$ .



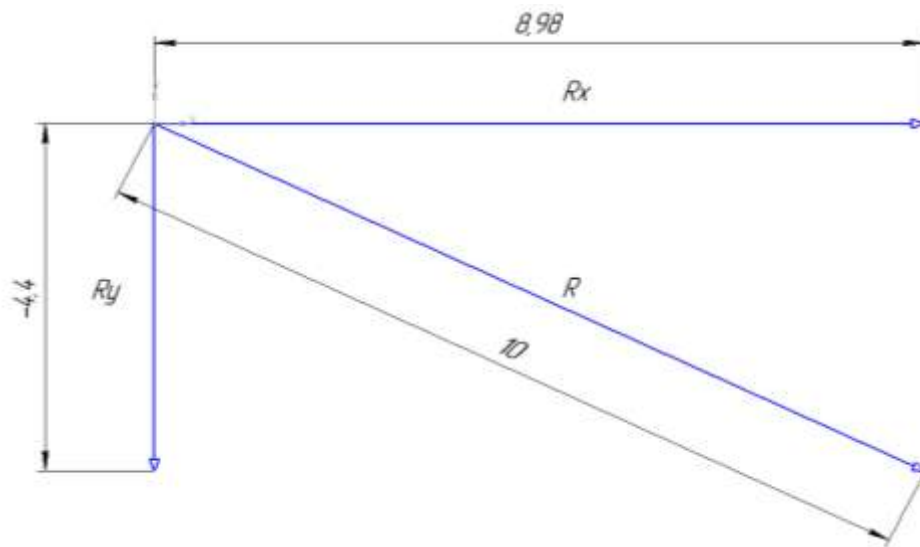
$$\sum F_x = F_1 + F_2 \cdot \cos 15^\circ - F_3 \cdot \cos 75^\circ = 0$$

$$\sum F_y = -F_3 \cos 15^\circ - F_2 \cdot \cos 75^\circ = 0$$

Из уравнения следует, что проекция равнодействующей на ось  $x$  равна  $R_x = F_1 + F_2 \cdot \cos 15^\circ - F_3 \cdot \cos 75^\circ = 4 + 6 \cdot \cos 15^\circ - 3 \cdot \cos 75^\circ = 8.98\text{ Н}$

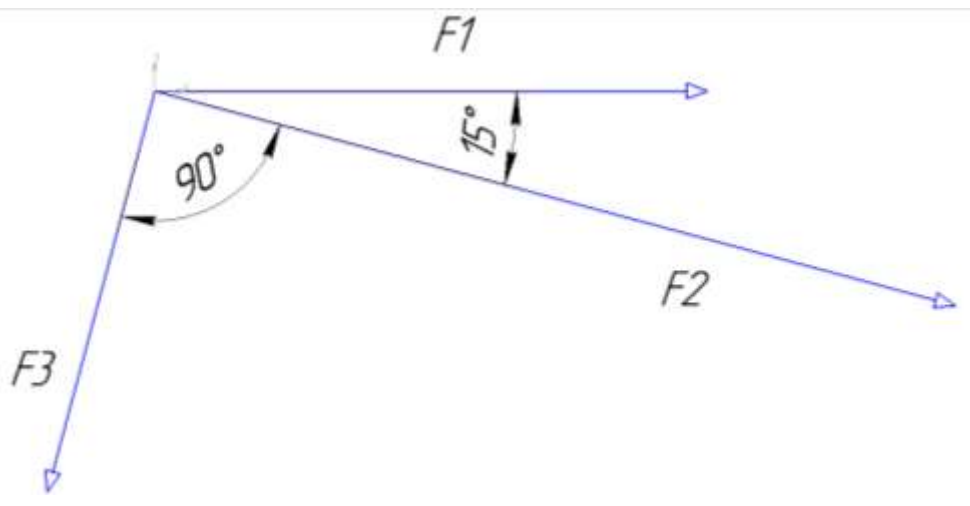
Проекция на ось  $y$  тогда равна  $R_y = -F_3 \cos 15^\circ - F_2 \cdot \cos 75^\circ = -3 \cdot \cos 15^\circ - 6 \cdot \cos 75^\circ = -4.4\text{ Н}$

Тогда по правилу параллелограмма вектор равнодействующей находится по формуле  $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{8.98^2 + (-4.4)^2} = 10\text{Н}$ .



Ответ:  $R = 10\text{H}$ .

**Форма представления результата:**

<p>Дано:</p> <p><math>F_1 = 4\text{H}</math></p> <p><math>F_2 = 6\text{H}</math></p> <p><math>F_3 = 3\text{H}</math></p>	<p>Решение:</p>  <p>Answer: <math>R = ?</math></p>
<p>Найти:</p> <p><math>R = ?</math></p>	<p>Answer:</p>

**Критерии оценки:**

Оценка 3 – один из способов рассчитан верно.

Оценка 4 – оба способа посчитаны верно, разница между полученными значениями не более 5%.

Оценка 5 – защита работы( устный опрос по конспекту).



## Тема 1.4 Плоская система произвольно расположенных сил

### Практическая работа № 2

#### Определение реакций опор в 2х опорной балке

**Цель:** иметь представление о видах опор балочных систем и возникающих в них реакциях. Знать формы уравнений равновесия плоской системы произвольно расположенных сил и уметь их использовать для определения реакций для балки с шарнирными опорами.

#### **Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

-Выполнять основные расчёты по теоретической механике.

#### **Материальное обеспечение:**

Конспект лекций, учебники, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик.

#### **Задание:**

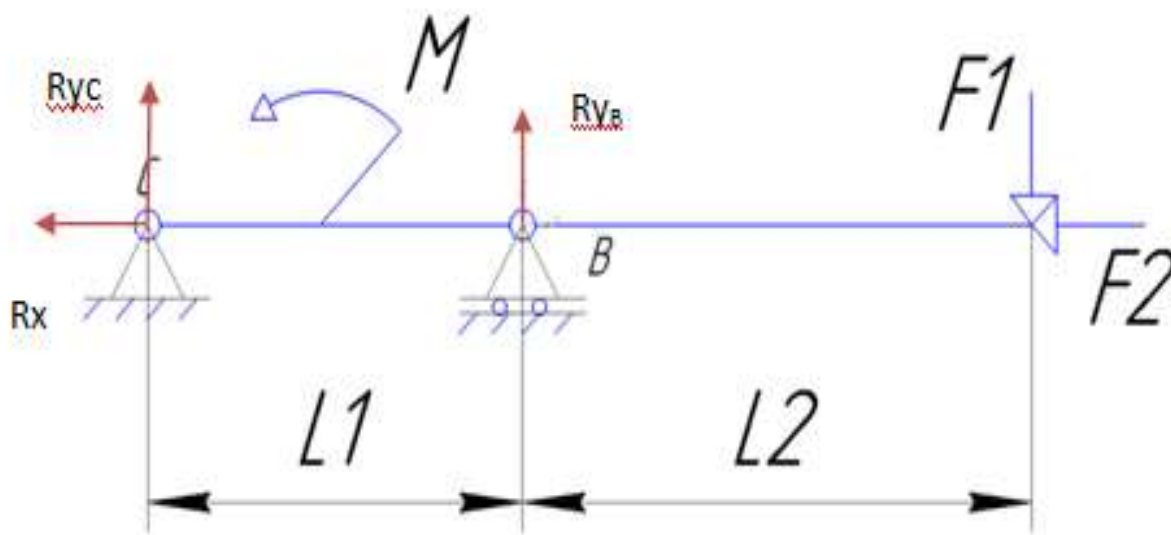
Определить величины реакций в шарнирах двух опорной балки. Проверить правильность решения.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. указать на схеме реакции опор.
2. составить уравнение равновесия - сумма всех сил относительно оси  $x$ , уравнения равновесия – сумма моментов всех сил относительно точки.
3. выразить из полученных уравнений неизвестные реакции опор.
4. провести проверку решения.

#### **Ход работы:**

1. Изображаем на схеме неизвестные реакции опор.



2. Составляем уравнения равновесия моментов относительно точки

$$B \sum M_B = F_1 \cdot 4 - M + R_{yc} \cdot 2 = 0,$$

$$C \sum M_C = -R_{yb} \cdot 2 - M + F_1 \cdot 6 = 0$$

и сумму проекций на ось  $x$

$$\sum F_x = R_x - F_2 = 0$$

3. выражаем неизвестные из полученных уравнений

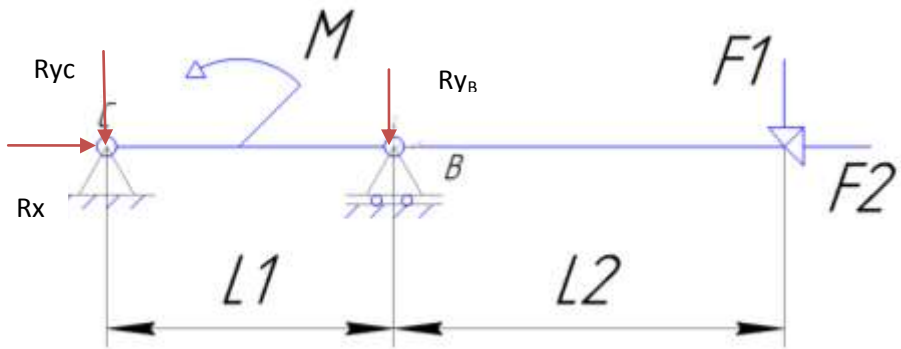
$$R_{yc} = \frac{-F_1 \cdot 4 + M}{2},$$

$$R_{yB} = \frac{F_1 \cdot 6 - M}{2},$$

$$R_x = F_2.$$

Если в результате реакция опоры получается отрицательной то на схеме нужно направить эту реакцию в противоположную сторону. Тогда в ответ запишем положительное значение.

### Форма представления результата:

<p><b>Дано:</b></p> <p><math>F_1 = 2 \text{ Н}</math></p> <p><math>F_2 = 4 \text{ Н}</math></p> <p><math>F_3 = 7 \text{ Н}</math></p> <p><math>M = 8 \text{ Н}\cdot\text{м}</math></p> <p><math>L_1 = 2 \text{ м}</math></p> <p><math>L_2 = 4 \text{ м}</math></p>	<p><b>Решение:</b></p> 
<p><b>Найти:</b></p> <p><math>R_{yB} = ?</math></p> <p><math>R_x = ?</math></p> <p><math>R_{yc} = ?</math></p>	<p>Ответ:</p>

### Критерии оценки:

- Оценка 3 – Реакции опор указаны на схеме правильно, одна из реакций верно посчитана.
- Оценка 4 – Реакции опор указаны на схеме правильно, две реакции опоры посчитаны верно.
- Оценка 5 – Реакции опор указаны на схеме верно, все три посчитаны правильно.

### Дополнительная оценка за защиту работы устно по списку вопросов:

1. Проговорить названия опор изображенных на схеме.
2. Объяснить почему в каждой из них возникают именно такие реакции.
3. Составить уравнение моментов относительно произвольной точки выбранной преподавателем.

## Тема 1.4 Плоская система произвольно расположенных сил

### Практическая работа № 3

#### Определение реакций опор в жесткой заделке

**Цель:** в результате выполнения работы студент должен иметь представление о видах опор балочных систем и возникающих в них реакциях. Знать формы уравнений равновесия плоской системы произвольно расположенных сил уметь их использовать для определения неизвестных реакций в опорах. Уметь выполнять проверку правильности решения.

#### **Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

-Выполнять основные расчёты по теоретической механике.

#### **Материальное обеспечение:**

Конспект лекций, учебники, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик.

#### **Задание:**

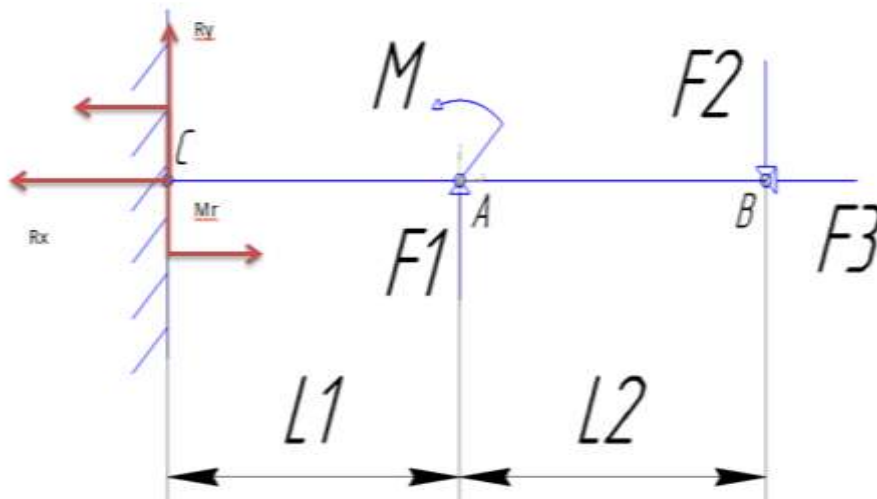
Определить величины реакций в заделке одноопорной балки. Проверить правильность решения.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. указать на схеме реакции опор.
2. составить уравнение равновесия - сумма всех сил относительно оси  $x$ , уравнения равновесия – сумма моментов всех сил относительно точки.
3. выразить из полученных уравнений неизвестные реакции опор.
4. провести проверку решения.

#### **Ход работы:**

1. Изображаем на схеме неизвестные реакции опор.



2. Составляем уравнения равновесия моментов относительно точки

$$B \quad \Sigma M_B = F_1 \cdot 4 - M + R_y \cdot 6 - M_R = 0$$

$$C \quad \Sigma M_C = -M_R - M - F_1 \cdot 2 + F_2 \cdot 6 = 0$$

и сумму проекций на ось  $x$

$$\Sigma F_x = R_x - F_2 = 0$$

3. Выражаем неизвестные из полученных уравнений

$$R_y = \frac{M_R + M - F_1 \cdot 4}{6},$$

$$M_R = -M - F_1 \cdot 2 + F_2 \cdot 6,$$

$$R_x = F_3.$$

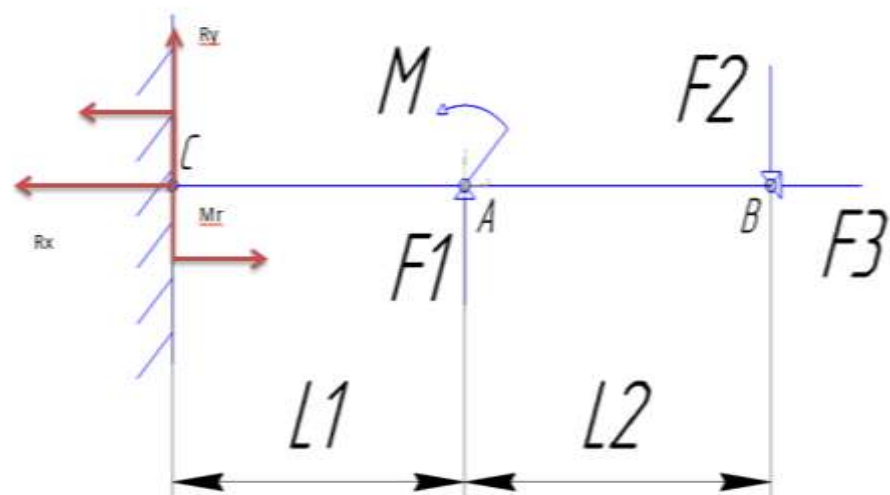
4. Проверка:

$$\Sigma F_y = F_1 - F_2 + R_y = 0$$

Ответ:  $M_R = -H \cdot M$ ;  $R_x = H$ ;  $R_y = H$ .

Если в результате реакция силы получается отрицательной то на схеме нужно направить эту реакцию в противоположную сторону. Тогда в ответ запишем положительное значение.

### Форма представления результата:

<p><b>Дано:</b></p> <p><math>L_1 = 2, \text{ м}</math></p> <p><math>L_2 = 8, \text{ м}</math></p> <p><math>F_1 = 2, \text{ Н}</math></p> <p><math>F_2 = 18, \text{ Н}</math></p> <p><math>F_3 = 16, \text{ Н}</math></p> <p><math>M = 6, \text{ Н} \cdot \text{м}</math></p>	<p><b>Решение:</b></p> 
<p><b>Найти:</b></p> <p><math>M_R = ?</math></p> <p><math>R_x = ?</math></p> <p><math>R_y = ?</math></p>	<p><b>Ответ:</b></p>

### Критерии оценки:

- Оценка 3 – Реакции опор указаны на схеме правильно, одна из реакций верно посчитана.
- Оценка 4 – Реакции опор указаны на схеме правильно, две реакции опоры посчитаны верно.
- Оценка 5 – Реакции опор указаны на схеме верно, все три посчитаны правильно.

### Дополнительная оценка за защиту работы устно по списку вопросов:

1. Проговорить названия опоры изображенной на схеме.
2. Объяснить почему в опоре возникают именно такие реакции.
3. Составить уравнение моментов относительно произвольной точки выбранной преподавателем.
4. Какие уравнения равновесия бывают.

## Тема 1.6 Центр тяжести

### Практическая работа № 4

#### Определение центра тяжести плоской фигуры, составленной из стандартных профилей проката

**Цель:** в результате выполнения работы студент должен знать методы определения центра тяжести тела и формулы для определения положения центра тяжести плоских фигур. Уметь определять положение центра тяжести сложных геометрических фигур и фигур, составленных из стандартных профилей.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

-Выполнять основные расчёты по теоретической механике.

**Материальное обеспечение:**

Конспект лекций, учебники, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик.

**Задание:**

Определить положение центра тяжести сечения, составленного из стандартных профилей.

**Порядок выполнения работы:**

1. указать габаритные размеры составных фигур.
2. определить относительно выбранной системы координат положения центра тяжести каждой фигуры.
3. определить площадь каждой фигуры.
4. заполнить полученные значения в таблицу.
5. определить центр тяжести составного сечения.
6. отметить на сече положение центра тяжести.

**Ход работы:**

1. Изображаем на схеме габаритные размеры каждой фигуры.

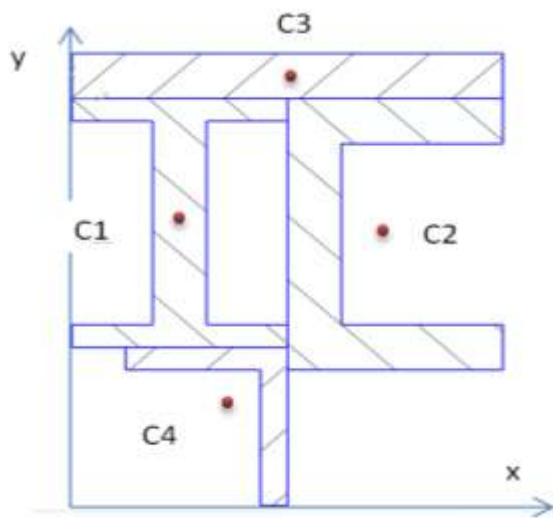
Размеры полосы указаны в условии задачи, размеры стандартных профилей берем по номеру профиля из таблицы ГОСТ b и h.

Проверяем единицы измерения, они должны все быть одинаковыми.

2. Определяем положения центра тяжести каждой фигуры.

Центр тяжести полосы лежит также как и у прямоугольника на пересечении его диагоналей.

Центры тяжести профилей двутавра, швеллера и уголка указаны в таблице ГОСТ.



3. Определяем площади фигур.

Площадь полосы находим по формуле  $A = b \times h$ , двутавр, швеллер и уголок находим в таблице ГОСТ.

4. Заполнить таблицу своими значениями.

	Фигура 1	Фигура 2	Фигура 3	Фигура 4
Площадь, А				
Координата, х				
Координата, у				

5. Из таблицы подставляем значения в формулу для определения общего центра тяжести

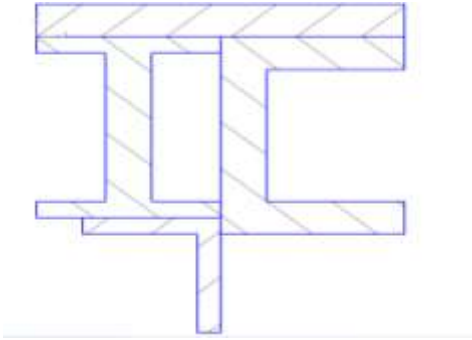
$$X_c = \frac{A_1 \times x_1 + A_2 \times x_2 + A_3 \times x_3 + A_4 \times x_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}$$

$$y_c = \frac{A_1 \times y_1 + A_2 \times y_2 + A_3 \times y_3 + A_4 \times y_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}$$

6. Отметить центр тяжести составного сечения на рисунке по рассчитанным значениям.

Ответ:  $X_c =$  ;  $y_c =$  .

**Форма представления результата:**

<p>Дано:</p> <p>Профиль двутавра № 12</p> <p>Профиль швеллера № 16</p> <p>Сечение полосы 128x10</p> <p>Профиль уголка равнобокого №5</p>	<p>Решение:</p> 
<p>Найти:</p> <p><math>X_c = ?</math></p> <p><math>Y_c = ?</math></p>	<p>Ответ:</p>

**Критерии оценки:**

Оценка 3 – Таблица заполнена верно, единицы измерения одинаковы более чем 50%.

Оценка 4 – Таблица заполнено верно, все единицы измерения одинаковы.

Оценка 5 – Общий центр тяжести посчитан и указан на схеме верно.

**Дополнительная оценка за защиту работы устно по списку вопросов:**

1. Проговорить названия стандартных профилей проката.

2. Проговорить где находятся центры тяжести у простых фигур.

3. Написать уравнения для нахождения координат общего центра тяжести.

## Тема 2.2 Растяжение и сжатие

### Практическая работа № 5

#### Построение эпюр продольных сил и нормальных напряжений

**Цель:** в результате выполнения работы студент должен знать правила построения эпюр продольных сил и нормальных напряжений в поперечном сечении бруса, уметь с помощью метода сечений строить эпюры продольных сил и нормальных напряжений.

#### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- Выбирать материалы, детали и узлы, на основе анализа их свойств, для конкретного применения.

#### Материальное обеспечение:

Конспект лекций, учебники, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик.

#### Задание:

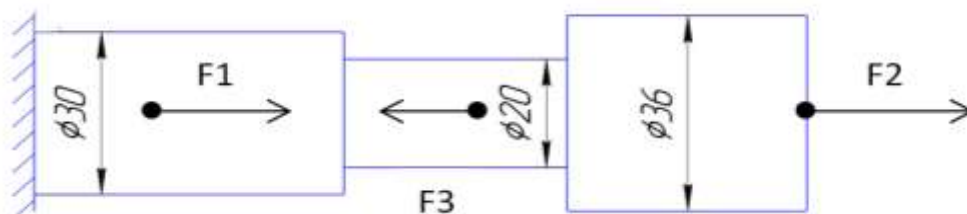
1. Построить по методу сечений эпюру продольных сил.
2. Рассчитать величины нормальных напряжений и построить эпюру.

#### Порядок выполнения работы:

1. делим брус на участки по методу сечений и рассчитываем продольную силу на каждом участке.
2. определяем величины нормальных напряжений по сечениям с учетом изменения площади поперечного сечения.
3. строим эпюры.

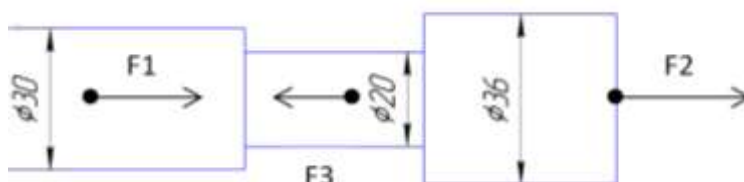
#### Ход работы:

1. делим брус на участки по методу сечений и рассчитываем продольную силу на каждом участке.



1) участок

2) участок



3) участок

По методу сечений определить продольную силу  $N$ , (Н) на каждом участке.

$$N_1 = F_2 = 10 \text{ кН}$$



$$N_2 = F_2 - F_3 = 10 - 5 = 5 \text{ кН}$$

$$N_3 = F_2 - F_3 + F_1 = 10 - 5 + 30 = 35 \text{ кН}$$

По формуле  $A = \frac{D^2 \times \pi}{4}$ , (мм<sup>2</sup>) или  $A = R^2 \times \pi$ , (мм<sup>2</sup>)

найти площадь каждого круглого сечения.

$$A_1 = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3.14 \times 36^2}{4} = 1017,36 \text{ мм}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3.14 \times 20^2}{4} = 314 \text{ мм}^2$$

$$A_3 = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3.14 \times 30^2}{4} = 706,5 \text{ мм}^2$$

2. определяем величины нормальных напряжений по сечениям с учетом изменения площади поперечного сечения.

Исходя из полученных значений находим нормальное напряжение на каждом участке

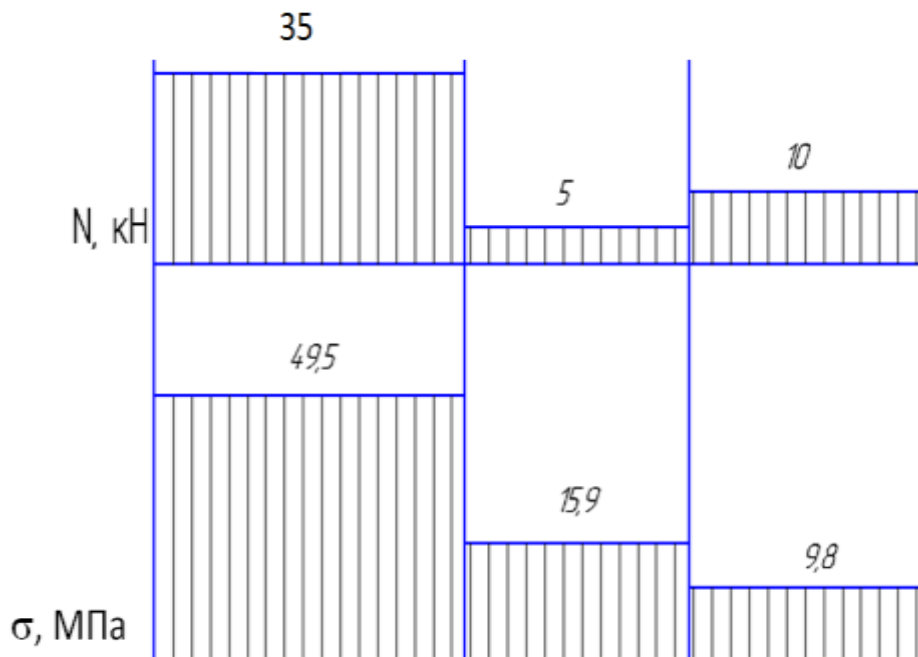
$$\sigma = \frac{N(\text{Н})}{A(\text{мм}^2)}, \text{ (Н/мм}^2 \text{ или МПа).}$$

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{10 \times 10^3}{1017,36} = 9,8 \text{ МПа, (Н/мм}^2)$$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = \frac{5 \times 10^3}{314} = 15,9 \text{ МПа, (Н/мм}^2)$$

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{A_3} = \frac{35 \times 10^3}{706,5} = 49,5 \text{ МПа, (Н/мм}^2)$$

3. Строим эпюры N и  $\sigma$ .



**Форма представления результата:**

Дано:

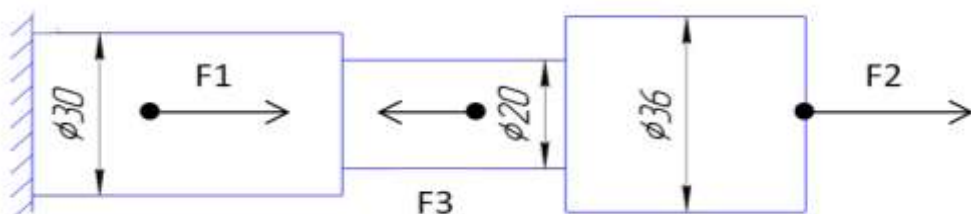
$$F_1 = 30 \text{ кН}$$

$$F_2 = 10 \text{ кН}$$

$$F_3 = 5 \text{ кН}$$

$$D_3 = 30 \text{ мм}$$

Решение:



<p><math>D_2 = 20 \text{ мм}</math></p> <p><math>D_1 = 36 \text{ мм}</math></p>	<p><math>N, \text{ кН}</math></p> <p><math>\sigma, \text{ МПа}</math></p> <p>Ответ:</p>
<p>Найти: построить эпюры.</p>	

**Критерии оценки:**

Оценка 3 – По методу сечений правильно определена продольная сила на каждом.

Оценка 4 – По методу сечений правильно определена продольная сила на каждом участке и изображена эпюра. Правильно посчитаны площади сечений.

Оценка 5 – По методу сечений правильно определена продольная сила на каждом участке и изображена эпюра. Правильно посчитаны площади сечений. Правильно посчитаны напряжения на каждом участке и есть эпюра.

**Дополнительная оценка за защиту работы устно по списку вопросов:**

1. Проговорить единицы измерения значений сил, напряжений и площадей.
2. Определить где наиболее опасное сечение бруса.
3. Проговорить формулу для нахождения напряжения
4. Какие внутренние силовые факторы возникают при растяжении и сжатии.
5. Правило знаков для продольной силы.

## Тема 2.4 Расчет на прочность при растяжении и сжатии

### Практическая работа № 6 Расчёт на прочность при растяжении и сжатии

**Цель:** в результате выполнения работы студент должен знать правила построения эпюр продольных сил и нормальных напряжений в поперечном сечении бруса, уметь с помощью метода сечений строить эпюры продольных сил и нормальных напряжений. Проводить конструирование бруса с учетом полученных значений из условия прочности.

#### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- Выбирать материалы, детали и узлы, на основе анализа их свойств, для конкретного применения.

#### Материальное обеспечение:

Конспект лекций, учебники, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик.

#### Задание:

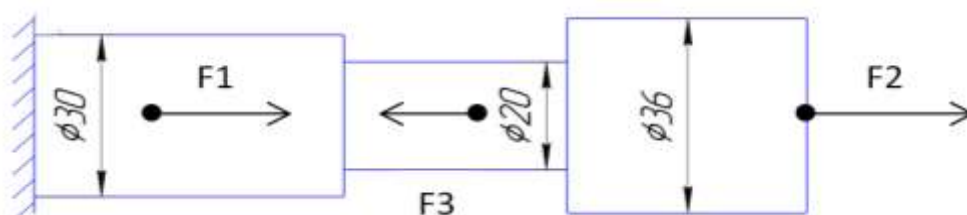
1. Построить по методу сечений эпюру продольных сил.
2. Рассчитать величины нормальных напряжений и построить эпюру.
3. Провести расчет на прочность.
4. Изменить размеры сечений на более рациональные.

#### Порядок выполнения работы:

1. делим брус на участки по методу сечений и рассчитываем продольную силу на каждом участке.
2. определяем величины нормальных напряжений по сечениям с учетом изменения площади поперечного сечения.
3. строим эпюры.
4. Подставляем в формулу прочности полученные значения касательных напряжений.
5. По условию прочности меняем размеры сечений.

#### Ход работы:

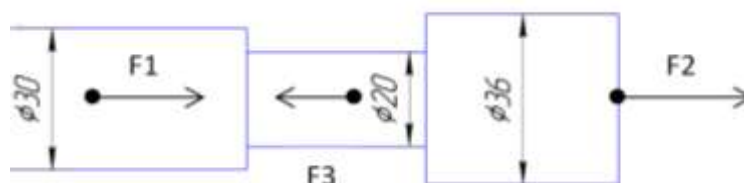
1. делим брус на участки по методу сечений и рассчитываем продольную силу на каждом участке.



1) участок



2) участок



3) участок

По методу сечений определить продольную силу  $N$ , (Н) на каждом участке.

$$N_1 = F_2 = 10 \text{ кН}$$

$$N_2 = F_2 - F_3 = 10 - 5 = 5 \text{ кН}$$

$$N_3 = F_2 - F_3 + F_1 = 10 - 5 + 30 = 35 \text{ кН}$$

По формуле  $A = \frac{D^2 \times \pi}{4}$ , (мм<sup>2</sup>) или  $A = R^2 \times \pi$ , (мм<sup>2</sup>)

найти площадь каждого круглого сечения.

$$A_1 = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3.14 \times 36^2}{4} = 1017,36 \text{ мм}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3.14 \times 20^2}{4} = 314 \text{ мм}^2$$

$$A_3 = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{3.14 \times 30^2}{4} = 706,5 \text{ мм}^2$$

2. определяем величины нормальных напряжений по сечениям с учетом изменения площади поперечного сечения.

Исходя из полученных значений находим нормальное напряжение на каждом участке

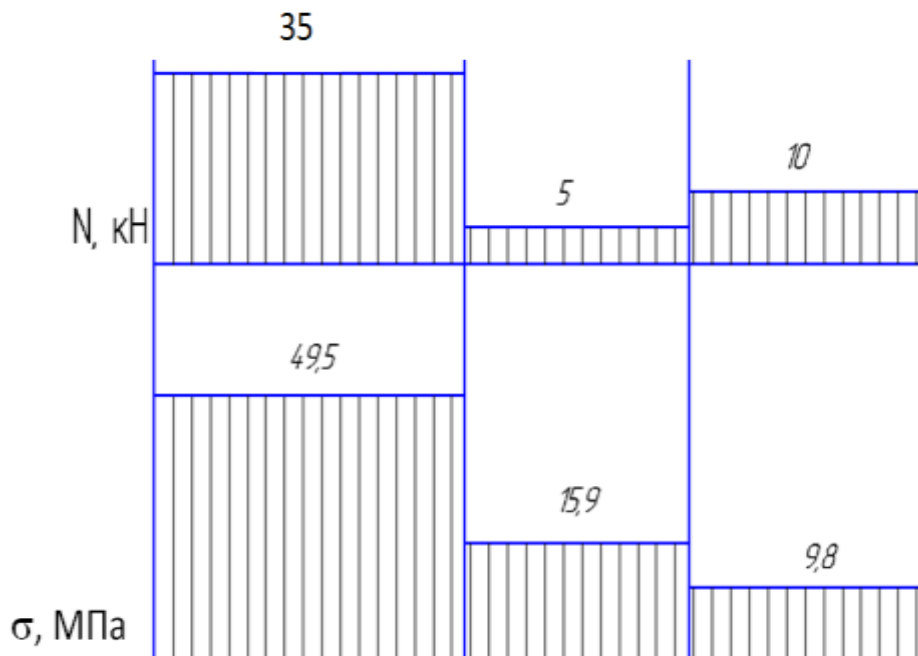
$$\sigma = \frac{N(\text{Н})}{A(\text{мм}^2)}, \text{ (Н/мм}^2 \text{ или МПа).}$$

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{10 \times 10^3}{1017,36} = 9,8 \text{ МПа, (Н/мм}^2)$$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = \frac{5 \times 10^3}{314} = 15,9 \text{ МПа, (Н/мм}^2)$$

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{A_3} = \frac{35 \times 10^3}{706,5} = 49,5 \text{ МПа, (Н/мм}^2)$$

Строим эпюры  $N$  и  $\sigma$ .



3. Проверяем по условию прочности  $\sigma \leq [\sigma]$  размеры сечений.

$$\sigma_1 \leq [\sigma]; 9,8 < 40, \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 \leq [\sigma]; 15,9 < 40, \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 \geq [\sigma]; 49,5 > 40, \text{ МПа}$$

**Вывод:** 1. Из условия прочности видно, что на 3-ем участке нормальное напряжение превышает допускаемое. Значит нужно изменить площадь поперечного сечения или уменьшить силу F1. Наиболее простым будет изменить площадь сечения.

$$4. \text{Уточненная } A3 = \frac{N3}{[\sigma]} = \frac{35 \times 10^3}{40} = 875, \text{ мм}^2$$

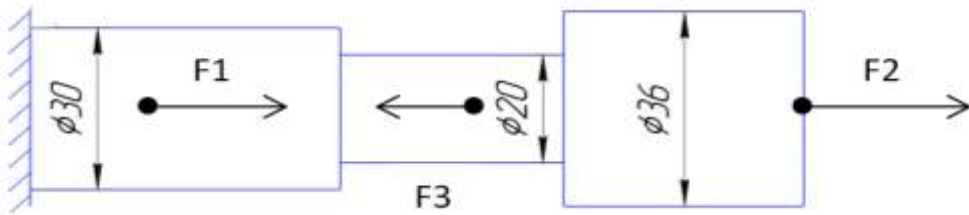
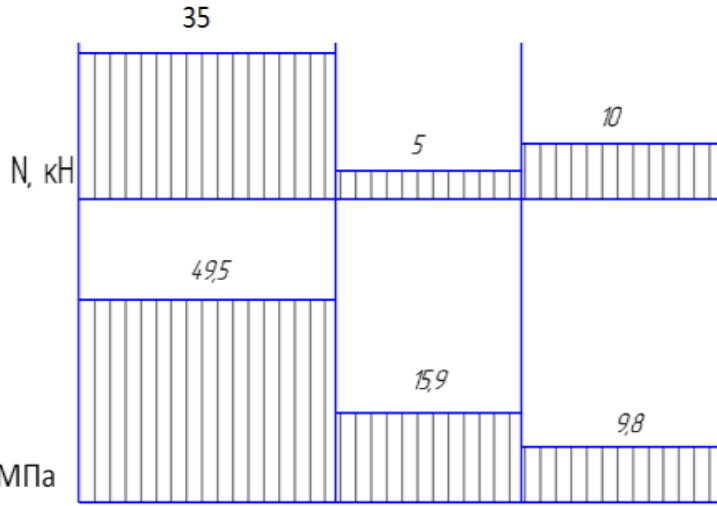
2. Так же нужно изменить площади сечений на 1-ом и 2-ом участках. Здесь не рационально использован материал.

$$\text{Уточненная } A1 = \frac{N1}{[\sigma]} = \frac{10 \times 10^3}{40} = 250, \text{ мм}^2$$

$$\text{Уточненная } A2 = \frac{N2}{[\sigma]} = \frac{5 \times 10^3}{40} = 125, \text{ мм}^2$$

**Ответ:** Уточненные  $D3 = 33,4 \text{ мм}$ ,  $D2 = 12,6 \text{ мм}$ ,  $D1 = 17,8 \text{ мм}$ .

**Форма представления результата:**

<p>Дано:</p> <p><math>F1 = 30 \text{ кН}</math></p> <p><math>F2 = 10 \text{ кН}</math></p> <p><math>F3 = 5 \text{ кН}</math></p> <p><math>D3 = 30 \text{ мм}</math></p> <p><math>D2 = 20 \text{ мм}</math></p> <p><math>D1 = 36 \text{ мм}</math></p> <p><math>[\sigma] = 40 \text{ Н/мм}^2</math></p>	<p>Решение:</p>   <p>Ответ:</p>
<p>Найти:</p> <p>рациональные сечения.</p>	

**Критерии оценки:**

Оценка 3 – По методу сечений правильно определена продольная сила на каждом участке и построена эпюра.

Оценка 4 – По методу сечений правильно определена продольная сила на каждом участке и изображена эпюра. Правильно посчитаны площади сечений. Правильно посчитаны напряжения на каждом участке и есть эпюра.

Оценка 5 – По методу сечений правильно определена продольная сила на каждом участке и изображена эпюра. Правильно посчитаны площади сечений. Правильно посчитаны напряжения на

каждом участке и есть эпюра. Проведена проверка прочности и заменены размеры на более рациональные.

**Дополнительная оценка за защиту работы устно по списку вопросов:**

1. Проговорить единицы измерения значений сил, напряжений и площадей.
2. Определить где наиболее опасное сечение бруса.
3. Проговорить формулу для нахождения напряжения
4. Какие внутренние силовые факторы возникают при растяжении и сжатии.
5. Правило знаков для продольной силы.

6. Почему по условию прочности меняли именно площадь поперечного сечения а не нагрузку?

## Тема 2.6 Кручение

### Практическая работа №7

#### Построение эпюр крутящих моментов и касательных напряжений при кручении

**Цель:** в результате выполнения работы студент должен знать правила построения эпюр крутящих моментов и касательных напряжений в поперечном сечении бруса, уметь с помощью метода сечений строить эпюры крутящих моментов и касательных напряжений.

#### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- Выбирать материалы, детали и узлы, на основе анализа их свойств, для конкретного применения.

#### Материальное обеспечение:

Конспект лекций, учебники, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик.

#### Задание:

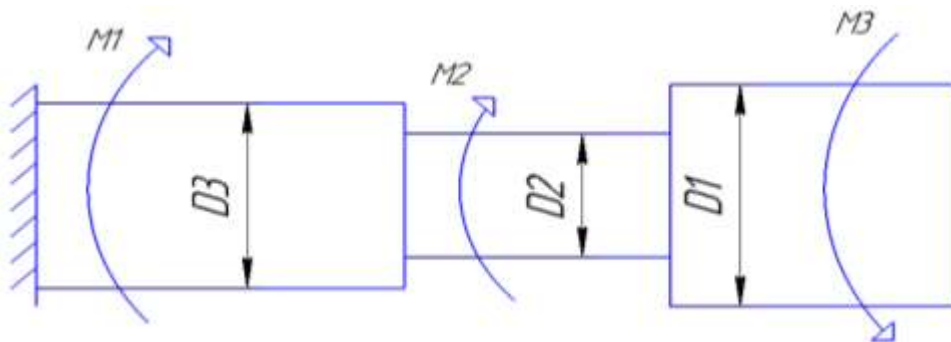
1. Определить по методу сечений крутящие моменты.
2. По условию прочности рассчитать размеры каждой ступени.

#### Порядок выполнения работы:

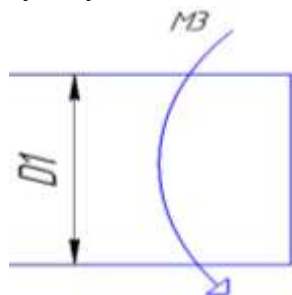
1. делим брус на участки по методу сечений и рассчитываем крутящий момент на каждом участке.
2. определяем величины касательных напряжений.
3. строим эпюры.

#### Ход работы:

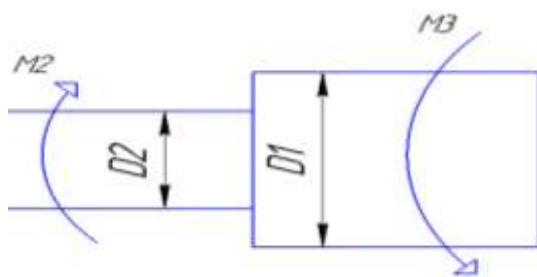
Решение:



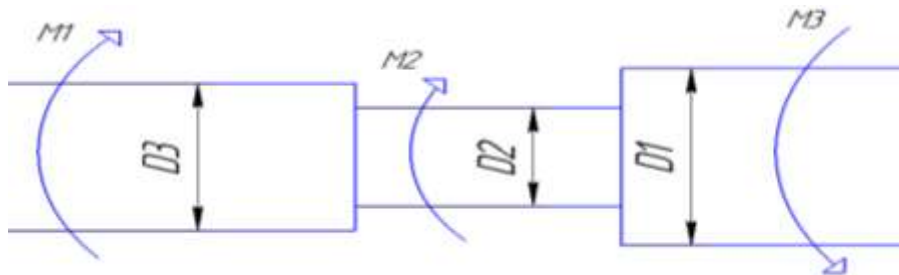
1. Разбить балку на участки.



1)участок



2)участок



3)участок

По методу сечений определить крутящий момент

$M_{кр}$ , (кН\*м) на каждом участке.

$$M_{кр1} = -M3 = -5 \text{ кН*м}$$

$$M_{кр2} = -M3 + M2 = -5 + 10 = 5 \text{ кН*м}$$

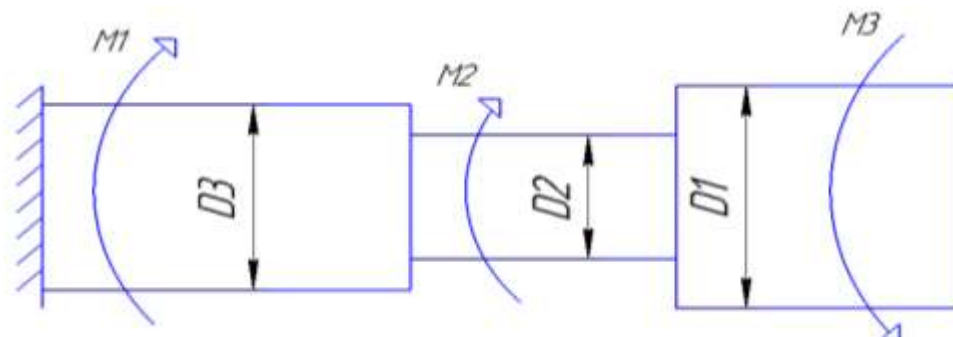
$$M_{кр3} = -M3 + M2 - M1 = -5 + 10 - 30 = -25 \text{ кН*м}$$

2. По условию прочности определяем касательные напряжения.

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p} \leq [\tau], \text{ Н/мм}^2 (\text{МПа})$$

$$\text{где, } W_p = 0,2 \times D^3, \text{ мм}^3$$

**Форма представления результата:**

<p>Дано:</p> <p><math>M1 = 30 \text{ кН*м}</math></p> <p><math>M2 = 10 \text{ кН*м}</math></p> <p><math>M3 = 5 \text{ кН*м}</math></p>	<p>Решение:</p>  <p>Ответ:</p>
<p>Найти: эпюры крутящих моментов и касательных напряжений</p>	

**Критерии оценки:**

Оценка 3 – По методу сечений правильно определены крутящие моменты на каждом участке и построена эпюра.

Оценка 4 – По методу сечений правильно определены крутящие моменты на каждом участке и построена эпюра. Определены касательные напряжения.

Оценка 5 – По методу сечений правильно определены крутящие моменты на каждом участке и построена эпюра. Определены касательные напряжения и построена эпюра.

**Дополнительная оценка за защиту работы устно по списку вопросов:**



1. Проговорить единицы измерения значений моментов, напряжений и площадей.
2. Проговорить формулу для нахождения напряжения
4. Какие внутренние силовые факторы возникают при кручении.
5. Правило знаков для крутящего момента.

## Тема 2.6. Кручение

### Практическая работа № 8 Растёт на прочность при кручении бруса

**Цель:** в результате выполнения работы студент должен знать правила построения эпюр крутящих моментов и касательных напряжений в поперечном сечении бруса, уметь с помощью метода сечений строить эпюры крутящих моментов и касательных напряжений. Проводить конструирование бруса с учетом полученных значений из условия прочности.

#### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- Выбирать материалы, детали и узлы, на основе анализа их свойств, для конкретного применения.

#### Материальное обеспечение:

Конспект лекций, учебники, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик.

#### Задание:

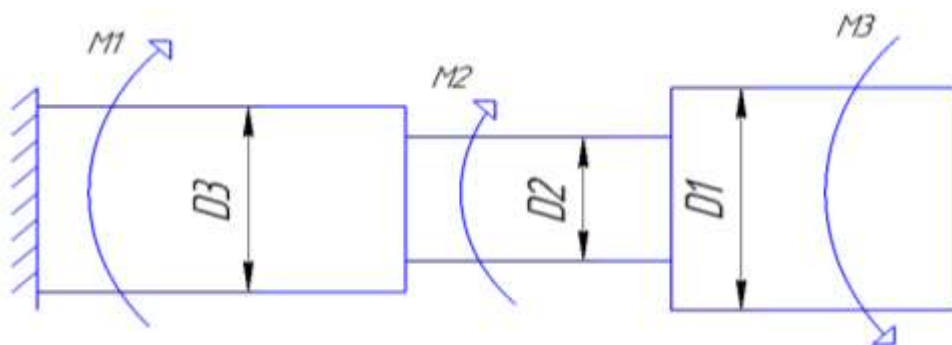
1. Определить по методу сечений крутящие моменты.
2. По условию прочности рассчитать размеры каждой ступени.

#### Порядок выполнения работы:

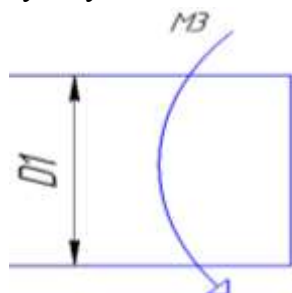
1. делим брус на участки по методу сечений и рассчитываем крутящий момент на каждом участке.
2. определяем величины полярные моменты сопротивления по сечениям с учетом изменения площади поперечного сечения.
3. выражаем диаметра ступеней.

#### Ход работы:

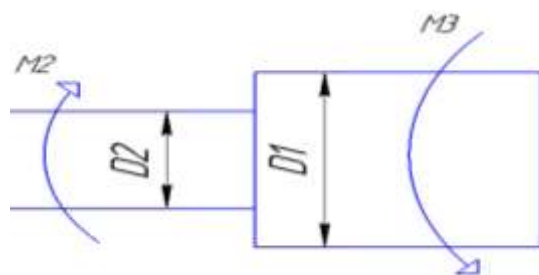
Решение:



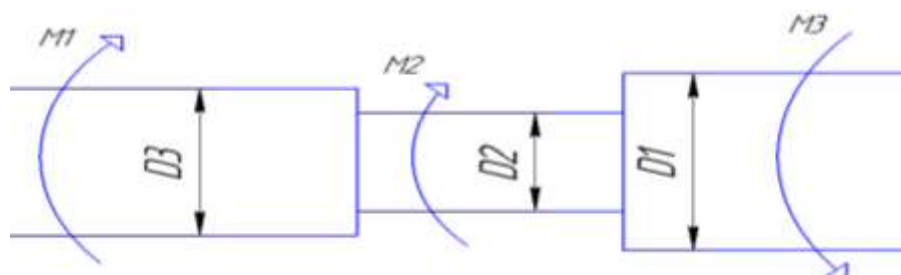
1. Разбить балку на участки.



1)участок



2)участок



3)участок

По методу сечений определить крутящий момент

$M_{кр}$ , (кН\*м) на каждом участке.

$$M_{кр1} = -M3 = -5 \text{ кН*м}$$

$$M_{кр2} = -M3 + M2 = -5 + 10 = 5 \text{ кН*м}$$

$$M_{кр3} = -M3 + M2 - M1 = -5 + 10 - 30 = -25 \text{ кН*м}$$

2. По условию прочности определяем полярные моменты сопротивления ступеней вала.

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p} \leq [\tau]$$

$$W_{p1} = \frac{M_{кр}}{[\tau]} = \frac{-5 \times 10^6}{140} = 35714,28, \text{ мм}^3$$

$$W_{p2} = \frac{M_{кр}}{[\tau]} = \frac{5 \times 10^6}{140} = 35714,28, \text{ мм}^3$$

$$W_{p3} = \frac{M_{кр}}{[\tau]} = \frac{-25 \times 10^6}{140} = 178571,4, \text{ мм}^3$$

3. Из формулы выражаем диаметры вала.

$$W_p = 0,2 \times D^3, \text{ мм}^3$$

$$D1 = \sqrt[3]{\frac{W_{p1}}{0,2}} = \sqrt[3]{\frac{35714,28}{0,2}} = 56 \text{ мм}$$

$$D2 = \sqrt[3]{\frac{W_{p2}}{0,2}} = \sqrt[3]{\frac{35714,28}{0,2}} = 56 \text{ мм}$$

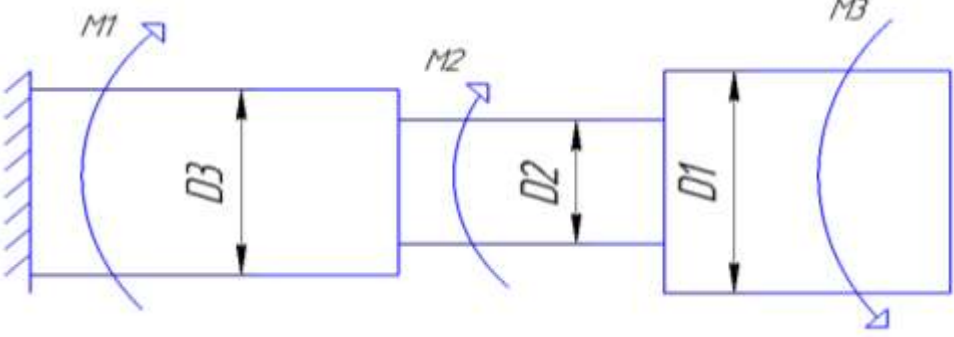
$$D3 = \sqrt[3]{\frac{W_{p3}}{0,2}} = \sqrt[3]{\frac{178571,4}{0,2}} = 96 \text{ мм}$$

Изобразить на схеме брус с расчетными диаметрами.

**Ответ:** Уточненные  $D3 = 96 \text{ мм}$ ,  $D2 = 56 \text{ мм}$ ,  $D1 = 56 \text{ мм}$ .

**Форма представления результата:**

Дано:	Решение:
$M1 = 30 \text{ кН*м}$	
$M2 = 10 \text{ кН*м}$	
$M3 = 5 \text{ кН*м}$	

$[ ] = 140$ $\text{Н/мм}^2$	
Найти: рациональные сечения.	Ответ:

### Критерии оценки:

Оценка 3 – По методу сечений правильно определены крутящие моменты на каждом участке и построена эпюра.

Оценка 4 – По методу сечений правильно определены крутящие моменты на каждом участке и построена эпюра. Правильно определены полярные моменты сопротивления.

Оценка 5 – По методу сечений правильно определены крутящие моменты на каждом участке и построена эпюра. Правильно определены полярные моменты сопротивления. Правильно сконструирован брус.

### Дополнительная оценка за защиту работы устно по списку вопросов:

1. Проговорить единицы измерения значений моментов, напряжений и площадей.
2. Проговорить формулу для нахождения напряжения
4. Какие внутренние силовые факторы возникают при кручении.
5. Правило знаков для крутящего момента.

## Тема 2.7 Изгиб

### Практическая работа № 9

#### Построение эпюр изгибающих моментов, поперечной силы.

**Цель:** иметь представление о видах изгиба и внутренних силовых факторах в сечении при изгибе. Знать методы определения внутренних силовых факторов и уметь ими пользоваться. Знать основные правила и порядок построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Уметь строить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

#### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- Выбирать материалы, детали и узлы, на основе анализа их свойств, для конкретного применения.

#### Материальное обеспечение:

Конспект лекций, учебники, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик.

#### Задание:

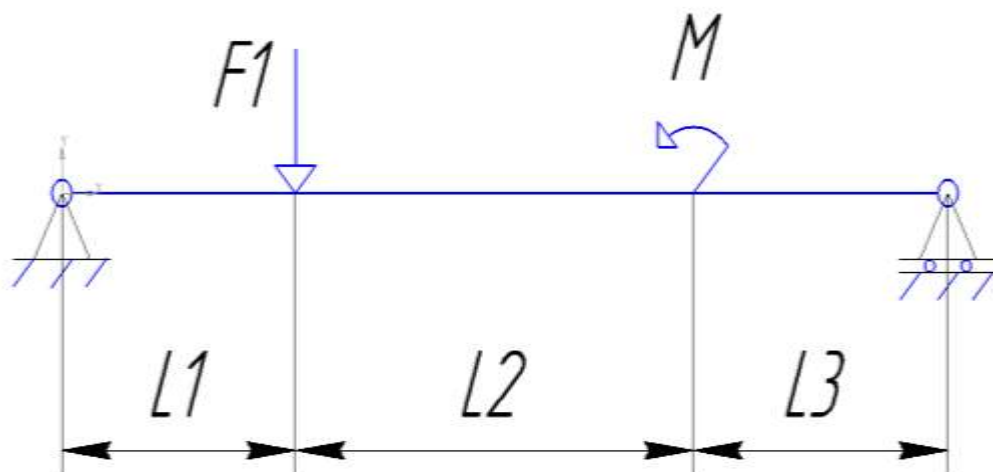
- 1.Найти реакции опор.
- 2.Определить по методу сечений поперечную силу.
- 3.Определить по методу сечений изгибающий момент.
4. Построить эпюры.

#### Порядок выполнения работы:

1. находим реакции опор.
2. проводим проверку реакций опор.
3. делим брус на участки по методу сечений и рассчитываем поперечную силу на каждом участке.
- 4 делим брус на участки по методу сечений и рассчитываем изгибающий момент на каждом участке..
- 5.строим эпюры изгибающих моментов и поперечных сил.

#### Ход работы:

#### Решение:



- 1.Определяем реакции опор, составляя уравнения равновесия.

$$\sum F_x = -R_x = 0$$

$$R_x = 0$$

$$\sum M = (F_1 \times 1) - M - (R_b \times 4) = 0$$

$$R_b = \frac{M - F_1}{4} = \frac{5 - 30}{4} = -6,25 \text{ кН}$$

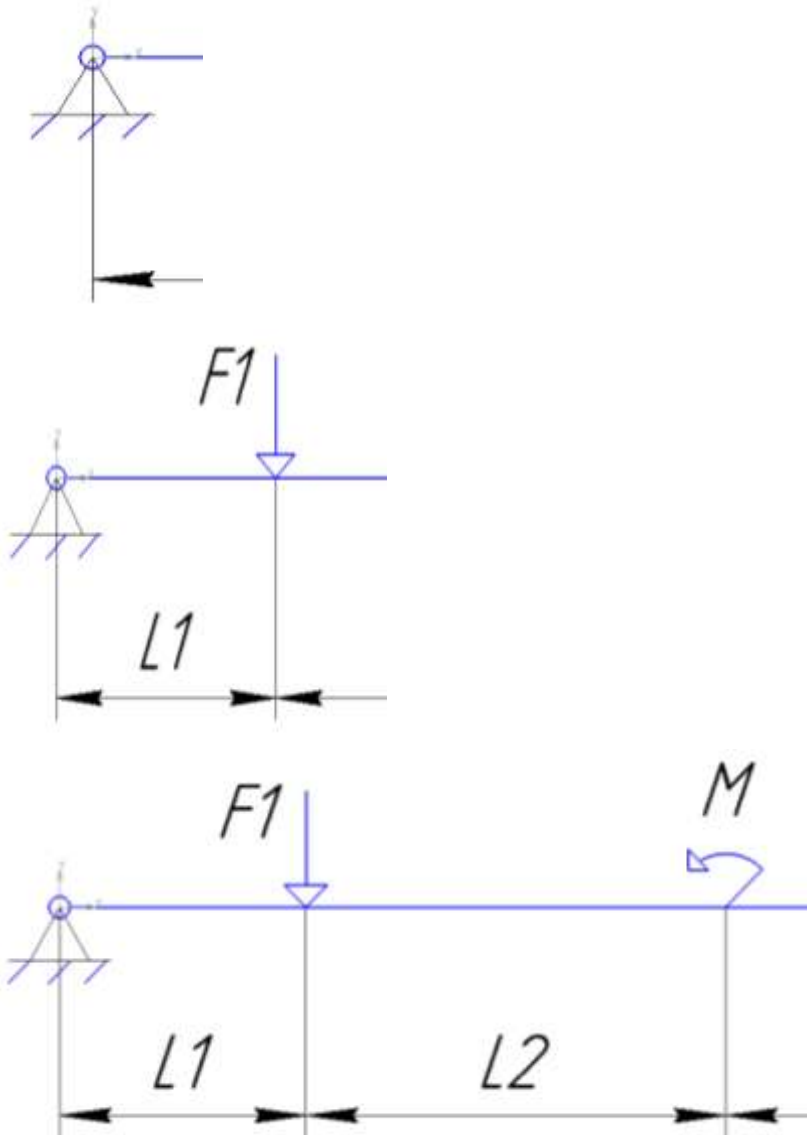
$$\sum F_y = R_a - R_b - F_1 = 0$$

$$R_a = F_1 + R_b = 30 + 6.25 = 36.25 \text{ кН}$$

2. Проверка:

$$\sum F_y = 36,25 - 6,25 - 30 = 0$$

3-4. Разбить брус на участки.



По методу сечений определить поперечную силу  $Q$ , (кН) на каждом участке.

$$Q_1 = R_a = 36,25 \text{ кН}$$

$$Q_2 = R_a - F_1 = 36,25 - 30 = 6,25 \text{ кН}$$

$$Q_3 = R_a - F_1 = 36,25 - 30 = 6,25 \text{ кН}$$

По методу сечений определить изгибающий момент  $M_{изг}$ , (кН\*м).

$$M_1 = R_a \times z, z \rightarrow 1 \text{ м}$$

$$M_1 = 36,25 \times 0 = 0$$

$$M_1 = 36,25 \times 1 = 36,25 \text{ кН*м}$$

$$M_2 = Ra \times (1 + z) - F_1 \times z, z \rightarrow 2\text{м}$$

$$M_2 = 36,25 \times (1 + 0) - 30 \times 0 = 36,25 \text{ кН*м}$$

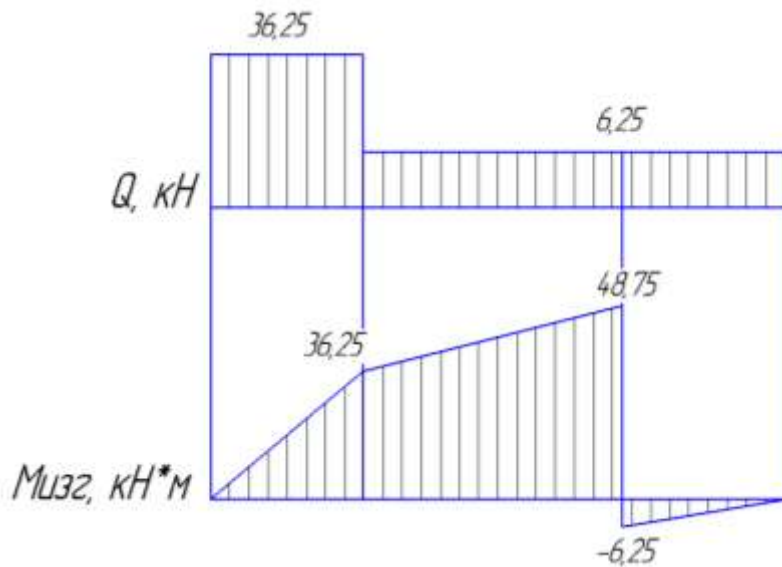
$$M_2 = 36,25 \times (1 + 2) - 30 \times 2 = 48,75, \text{ кН*м}$$

$$M_3 = Ra \times (3 + z) - F_1 \times (2 + z) - M, z \rightarrow 1\text{м}$$

$$M_3 = 36,25 \times (3 + 0) - 30 \times (2 + 0) - 55 = -6,25, \text{ кН*м}$$

$$M_3 = 36,25 \times (3 + 1) - 30 \times (2 + 1) - 55 = 50, \text{ кН*м}$$

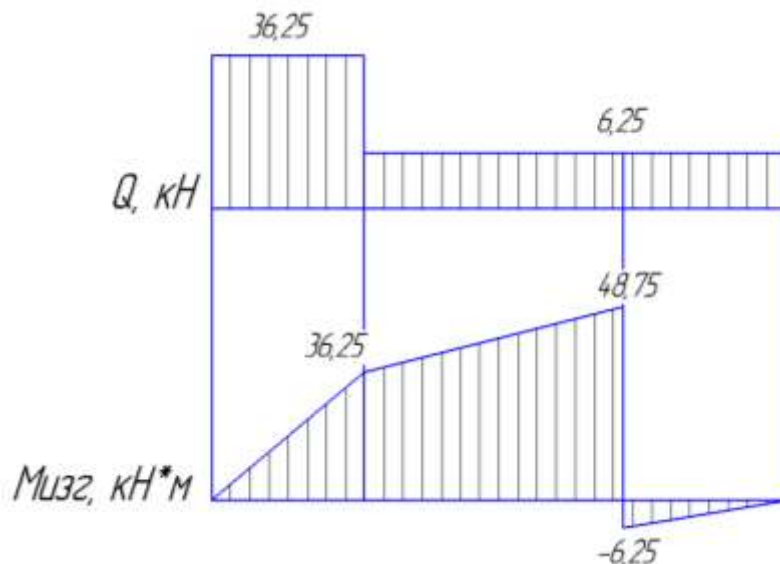
5. Строим эпюры Q и Мизг.



**Ответ:** Опасным считаются сечение 1 здесь максимальный скачок силы поперечной Q и переход от сечения 2 к сечению 3 здесь максимальное значение момента.

**Форма представления результата:**

<p><b>Дано:</b></p> <p><math>F_1 = 30 \text{ кН}</math></p> <p><math>M = 55 \text{ кН*м}</math></p>	<p><b>Решение:</b></p>
<p><b>Найти:</b> опасные сечения</p>	



**Ответ:** Опасным считаются сечение 1 здесь максимальный скачек силы поперечной  $Q$  и переход от сечения 2 к сечению 3 здесь максимальное значение момента.

#### Критерии оценки:

Оценка 3 – По методу сечений правильно определены поперечные силы на каждом участке.

Оценка 4 – По методу сечений правильно определены поперечные силы на каждом участке.

Правильно определены изгибающие моменты.

Оценка 5 – По методу сечений правильно определены поперечные силы на каждом участке.

Правильно определены изгибающие моменты. Построены обе эпюры.

#### Дополнительная оценка за защиту работы устно по списку вопросов:

1. Правило знаков для поперечной силы.
2. Правило знаков для изгибающего момента.
4. Какие внутренние силовые факторы возникают при изгибе.
5. Какие использовали уравнения равновесия, проговорить их полное название.



## Тема 2.7 Изгиб

### Паретическая работа №10 Выбор рационального сечения при изгибе

**Цель:** иметь представление о видах изгиба и внутренних силовых факторах в сечении при изгибе. Знать методы определения внутренних силовых факторов и уметь ими пользоваться. Знать основные правила и порядок построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Уметь строить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. Уметь подбирать рациональные сечения по условию прочности.

#### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- Выбирать материалы, детали и узлы, на основе анализа их свойств, для конкретного применения.

#### Материальное обеспечение:

Конспект лекций, учебники, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик.

#### Задание:

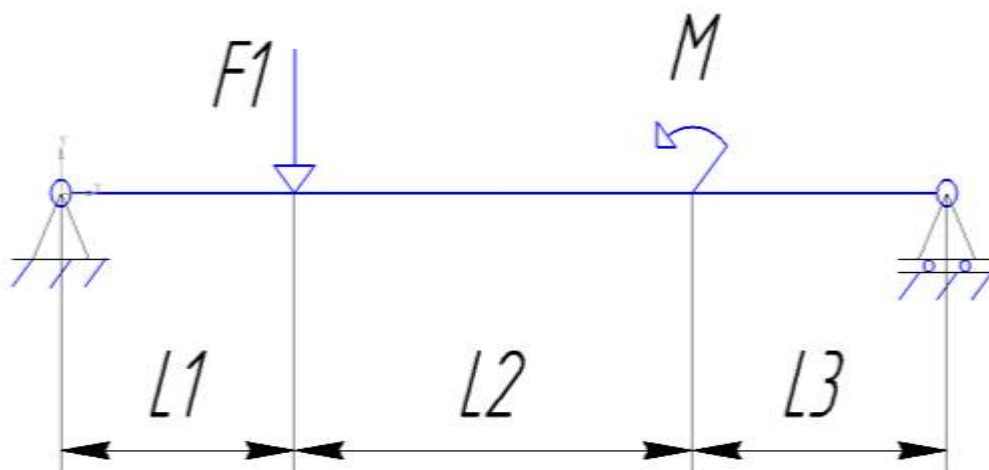
- 1.Найти реакции опор.
- 2.Определить по методу сечений поперечную силу.
- 3.Определить по методу сечений изгибающий момент.
4. Построить эпюры.
- 5.Определить № профиля сечения.

#### Порядок выполнения работы:

1. находим реакции опор.
2. проводим проверку реакций опор.
3. делим брус на участки по методу сечений и рассчитываем поперечную силу на каждом участке.
- 4 делим брус на участки по методу сечений и рассчитываем изгибающий момент на каждом участке..
- 5.строим эпюры изгибающих моментов и поперечных сил.
- 6.подбираем размеры сечения.

#### Ход работы:

#### Решение:



1. Определяем реакции опор, составляя уравнения равновесия.

$$\sum F_x = -R_x = 0$$

$$R_x = 0$$

$$\sum M = (F_1 \times 1) - M - (R_b \times 4) = 0$$

$$R_b = \frac{M - F_1}{4} = \frac{5 - 30}{4} = -6,25 \text{ кН}$$

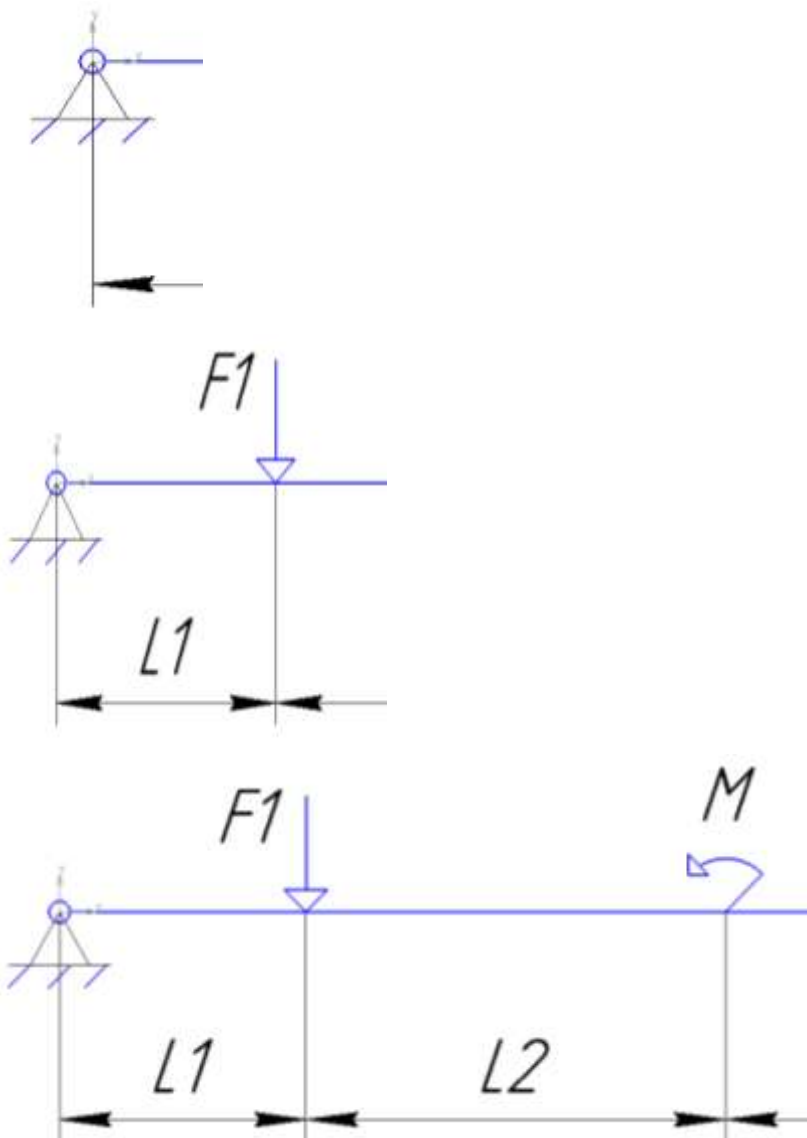
$$\sum F_y = R_a - R_b - F_1 = 0$$

$$R_a = F_1 + R_b = 30 + 6.25 = 36.25 \text{ кН}$$

2. Проверка:

$$\sum F_y = 36,25 - 6,25 - 30 = 0$$

3-4. Разбить брус на участки.



По методу сечений определить поперечную силу Q, (кН) на каждом участке.

$$Q_1 = R_a = 36,25 \text{ кН}$$

$$Q_2 = R_a - F_1 = 36,25 - 30 = 6,25 \text{ кН}$$

$$Q_3 = R_a - F_1 = 36,25 - 30 = 6,25 \text{ кН}$$

По методу сечений определить изгибающий момент Мизг, (кН\*м).

$$M1 = Ra \times z, z \rightarrow 1\text{м}$$

$$M1 = 36,25 \times 0 = 0$$

$$M1 = 36,25 \times 1 = 36,25 \text{ кН*м}$$

$$M2 = Ra \times (1 + z) - F1 \times z, z \rightarrow 2\text{м}$$

$$M2 = 36,25 \times (1 + 0) - 30 \times 0 = 36,25 \text{ кН*м}$$

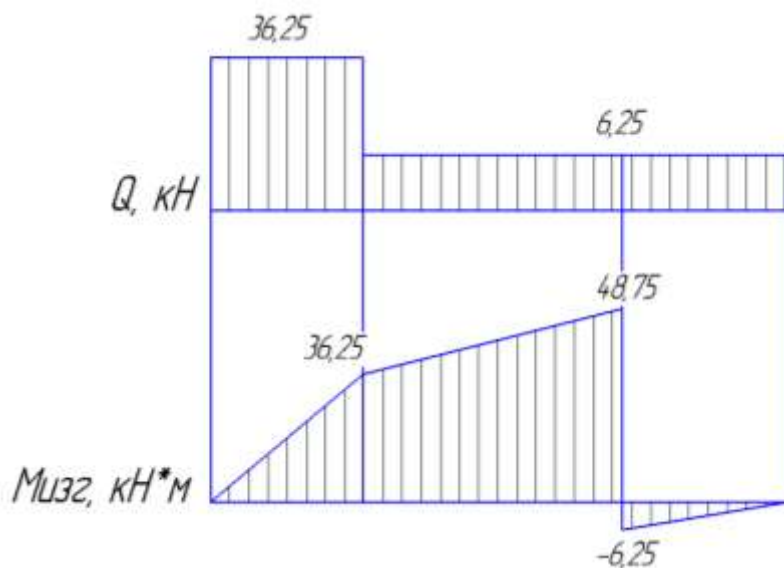
$$M2 = 36,25 \times (1 + 2) - 30 \times 2 = 48,75, \text{ кН*м}$$

$$M3 = Ra \times (3 + z) - F1 \times (2 + z) - M, z \rightarrow 1\text{м}$$

$$M3 = 36,25 \times (3 + 0) - 30 \times (2 + 0) - 55 = -6,25, \text{ кН*м}$$

$$M3 = 36,25 \times (3 + 1) - 30 \times (2 + 1) - 55 = 50, \text{ кН*м}$$

5. Строим эпюры Q и Мизг.



Опасным считаются сечение 1 здесь максимальный скачек силы поперечной Q и переход от сечения 2 к сечению 3 здесь максимальное значение момента.

6. Подбираем по условию прочности размер сечения.

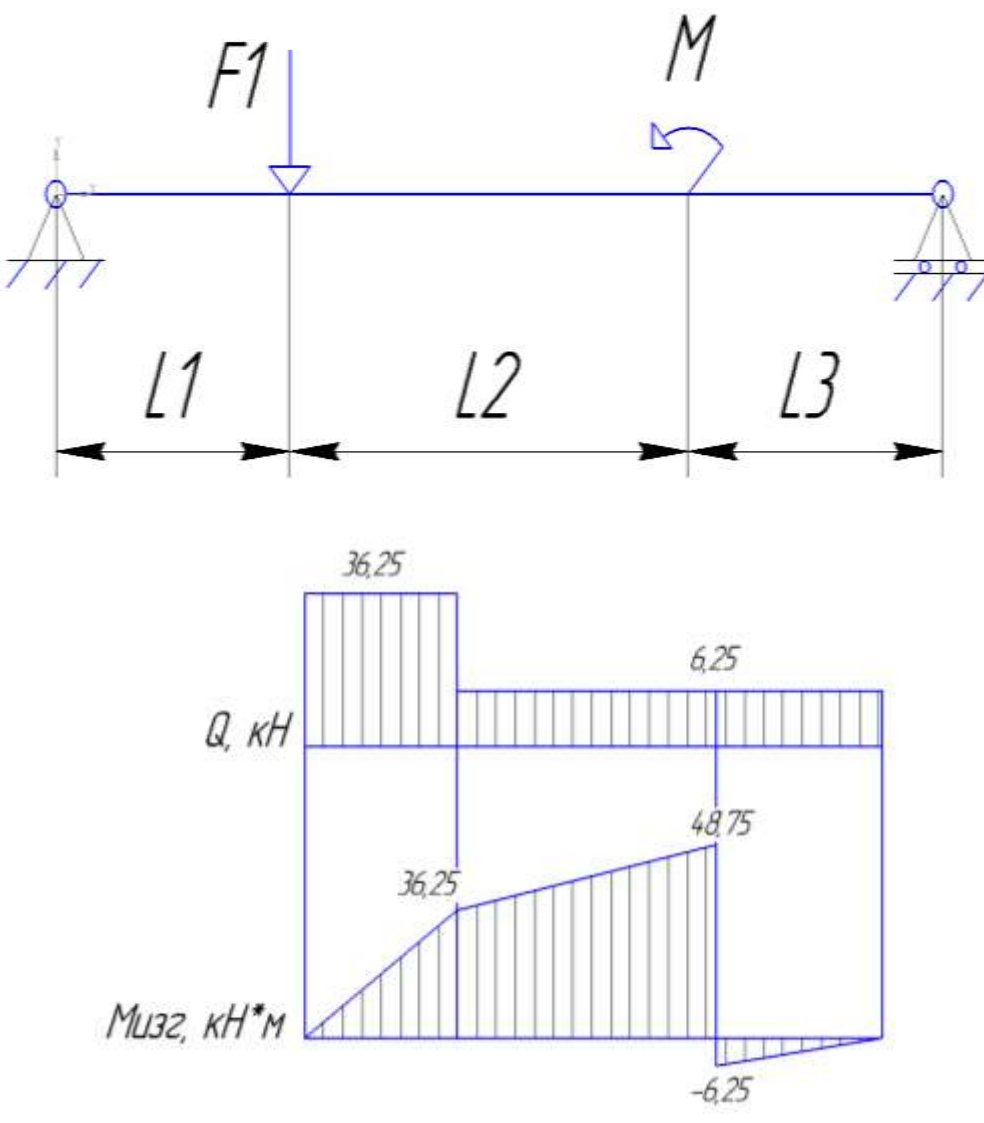
$$\sigma^{\max} = \frac{M_{\text{изг}}}{W_x} \geq [\sigma_{\text{изг}}]$$

Допускаемое напряжение изгиба для материала балки 160 МПа, максимальное значение момента 48,75 кН\*м.

$$W_x = 48,75 \times 10^6 / 160 = 304 \times 10^3, \text{ мм}^3$$

По таблице сортамента проката определяем номер профиля подходящего №24.

**Форма представления результата:**

<p><b>Дано:</b></p> <p><math>F_1 = 30 \text{ кН}</math></p> <p><math>M = 55 \text{ кН*м}</math></p> <p><math>[\sigma_{изг}] = 160 \text{ МПа}</math></p>	<p><b>Решение:</b></p>  <p><b>Ответ:</b> Выбираем профиль № 24</p>
--	---

**Критерии оценки:**

Оценка 3 – По методу сечений правильно определены поперечные силы на каждом участке. Правильно определены изгибающие моменты.

Оценка 4 – По методу сечений правильно определены поперечные силы на каждом участке. Правильно определены изгибающие моменты. Построены обе эпюры.

Оценка 5 – По методу сечений правильно определены поперечные силы на каждом участке. Правильно определены изгибающие моменты. Построены обе эпюры. Определен номер профиля двутаврового сечения.

**Дополнительная оценка за защиту работы устно по списку вопросов:**

1. Правило знаков для поперечной силы.
2. Правило знаков для изгибающего момента.
4. Какие внутренние силовые факторы возникают при изгибе.
5. Какие использовали уравнения равновесия, проговорить их полное название.

## Тема 3.3 Многопролетные статически определимые балки

### Паретическая работа №11

#### Кинематический анализ многопролетной шарнирной балки

**Цель:** уметь проводить кинематический анализ многопролетных балок.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- Выбирать материалы, детали и узлы, на основе анализа их свойств, для конкретного применения.

**Материальное обеспечение:**

Конспект лекций, учебники, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик.

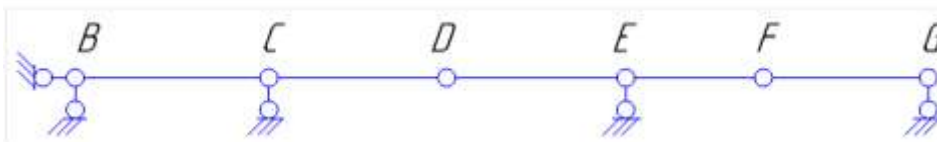
**Задание:**

1. Для многопролетной балки провести кинематический анализ.

**Порядок выполнения работы:**

1. Определить степень свободы многопролетной балки по формуле.
2. Геометрическая неизменяемость многопролетной балки. Провести анализ мгновенной изменяемости.

**Ход работы:**



В данной балке 3 диска  $D = 3$ , два простых шарнира  $Ш = 2$ , и 5 опорных стержней  $Соп = 5$ .

Определяем степень свободы по формуле

$$W = 3 \cdot D - 2 \cdot Ш - Соп$$

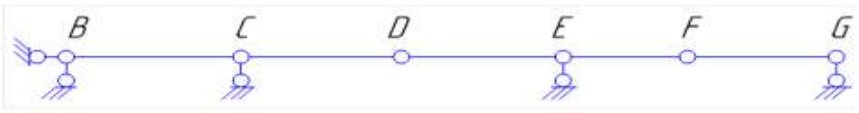
$$W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 2 - 5 = 0$$

Балка имеет необходимое количество связей.

Анализ геометрической структуры.

Балка BCD прикреплена к земле при помощи трех опорных стержней, которые не параллельны и не пересекаются в одной точке, т.е. она не изменяема и образует совместно с землей неподвижный диск. К диску BCD прикрепляется диск DEF двумя стержнями в шарнире D и опорным стержнем в точке E. Эти три стержня параллельны и не пересекаются в одной точке. Следовательно, система двух дисков BCD и DEF неизменяема. И наконец, к этой неизменяемой системе прикрепляется диск FG тремя параллельными и не пересекающимися в одной точке стержнями. Данная балка геометрически не изменяема.

**Форма представления результата:**

<b>Дано:</b>  Многопролетная балка	<b>Решение:</b> 
--	---

<b>Найти:</b> степень свободы, провести геометрический анализ	<b>Ответ:</b> Балка имеет необходимое количество связей. Данная балка геометрически не изменяема.
---	---

**Критерии оценки:**

Оценка 3 – Посчитана верно степень свободы.

Оценка 4 – Посчитана верно степень свободы. Проведен геометрический анализ одной из частей балки.

Оценка 5 – Посчитана верно степень свободы. Проведен геометрический анализ полностью.

**Дополнительная оценка за защиту работы устно по списку вопросов:**

1. Виды связей прикрепления дисков (3 вида).
2. Формула подвижности плоского сооружения.
4. Четыре правила соединения элементов для геометрической неизменяемости системы.
5. В каких случаях получается мгновенная изменяемость системы (4 способа).

## Тема 3.3 Многопролетные статически определимые балки

### Паретическая работа №12

#### Аналитический расчет многопролетной шарнирной балки

**Цель:** уметь строить эпюры момента изгиба и поперечной силы для многопролетных балок. Определять реакции опор поэтажных схем.

#### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- Выбирать материалы, детали и узлы, на основе анализа их свойств, для конкретного применения.

#### Материальное обеспечение:

Конспект лекций, учебники, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик.

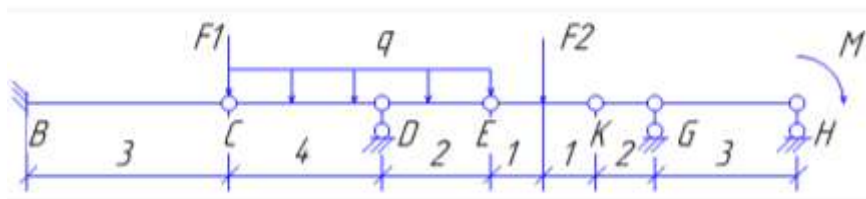
#### Задание:

1. Для многопролетной балки построить эпюры момента изгиба и поперечной силы.

#### Порядок выполнения работы:

1. Кинематический анализ.
2. Определение опорных реакций.
3. Определение внутренних силовых факторов.
4. Построение эпюр.

#### Ход работы:



В данной балке 4 диска  $D = 4$ , три простых шарнира  $\Pi = 3$ , и 6 опорных стержней  $S_{оп} = 6$ .

Определяем степень свободы по формуле

$$W = 3 \cdot D - 2 \cdot \Pi - S_{оп}$$

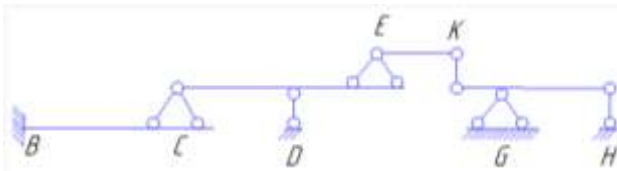
$$W = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 3 - 6 = 0$$

Балка имеет необходимое количество связей.

Анализ геометрической структуры.

Балка BC прикреплена в опоре B к земле жесткой связью, т.е. она неизменяема. К этому неподвижному диску прикреплен диск CDE двумя стержнями в шарнире C и опорным стержнем в точке D, т.е. тремя стержнями, оси которых непараллельные и не пересекаются в одной точке. Полученная система из двух дисков BC и CDE неизменяема и неподвижна. Балка KGH прикреплена к земле двумя вертикальными опорными стержнями в точках G и H, а также соединена с неподвижной системой BC-CDE горизонтальным стержнем EK. Так как эти три связи непараллельны и не пересекаются в одной точке, то вся система неизменяема. Проверку на мгновенную изменяемость не проводим, так как нигде не нарушены правила образования геометрически неизменяемых систем.

На основании проведенного анализа устанавливаем, что главными элементами являются балки BC и KGH, а второстепенными балки CDE и EK.



Переходим к аналитическому расчету.

Расчет начинаем с верхней второстепенной балки EK, которая по середине нагружена силой F2. Находим опорные реакции Re и Rk из уравнений моментов относительно точки.

$$\sum M_E = F_2 * 1 - R_k * 2 = 0, R_k = 10 \text{ кН}$$

$$\sum M_K = R_e * 2 - F_2 * 1 = 0, R_e = 10 \text{ кН}$$



Здесь один участок, значит составим две формулы.

Первая формула изгибающий момент слева.

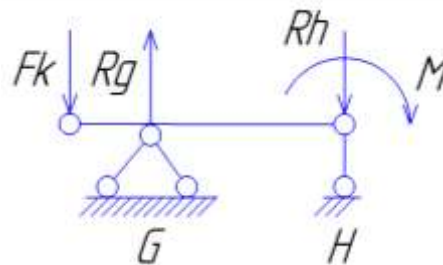
$$M_{изг_E} = R_e * z$$

$$M_{изг_E} = 0, M_{изг_E} = 10 \text{ кН*м}$$

Вторая формула поперечную силу слева.

$$Q_E = R_e = 10 \text{ кН}$$

Второстепенная балка EK передает давление на две нижележащие балки: главную KGH и второстепенную CDE. Вначале рассчитаем главную балку KGH, которая представляет собой однопролетную балку с левой консолью. Она нагружена моментом к нему добавляем в точке K опорное давление Fk от вышележащей балки EK. Fk = Rk = 10кН, и направленно в противоположную сторону, вниз. Находим опорные реакции Rg и Rh.



$$\sum M_G = -F_k * 2 + M + R_h * 3 = 0, R_h = 5 \text{ кН}$$

$$\sum M_H = -F_k * 5 + M + R_g * 3 = 0, R_g = 15 \text{ кН}$$

У этой балки два участка, значит составлять будем по две формулы для момента изгиба и для поперечной силы.

Первая формула, изгибающие моменты слева.

$$M_{изг_K} = -F_k * z$$

$$M_{изг_K} = 0, M_{изг_K} = -20 \text{ кН*м}$$

Вторая формула.

$$M_{изг_G} = -F_k * z + R_b * z$$

$$M_{изг_G} = -20 \text{ кН*м}, M_{изг_{K2}} = -5 \text{ кН*м}$$

Первая формула поперечной силы слева.

$$Q_K = -F_k = -10 \text{ кН}$$

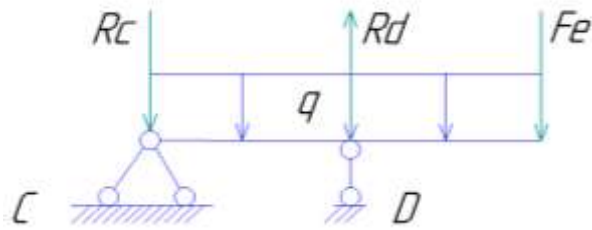
Вторая формула.

$$Q_G = -F_k + R_g = 5 \text{ кН}$$

Теперь рассмотрим вторую второстепенную балку CDE. Балка нагружена равномерно распределенной нагрузкой q, к ней в точке E добавим опорное давление Fe = Re = 10кН от вышележащей второстепенной балки EK.

Находим опорные реакции Rc и Rd.





$$\sum M_C = Fe * 6 + q * 6 * 3 - Rd * 4 = 0, Rd = 24 \text{ кН}$$

$$\sum M_D = Fe * 2 - q * 6 * 1 - Rc * 4 = 0, Rc = 2 \text{ кН}$$

У этой балки тоже два участка значит опять по формуле на каждый участок.

Первая формула, вычисляем изгибающие моменты слева.

$$M_{изг_C} = -Rc * z - (q * z^2) / 2$$

$$M_{изг_C} = 0; M_{изг_C} = -24 \text{ кН*м}$$

Вторая формула.

$$M_{изг_D} = -Rc(4+z) - (q(z^2+4^2))/2 + Rd * z$$

$$M_{изг_D} = -24 \text{ кН*м}; M_{изг_D} = 0$$

Первая формула, вычисляем продольную силу слева.

$$Q_C = -Rc - q * z$$

$$Q_C = -2 \text{ кН}; Q_C = -10 \text{ кН}$$

Вторая формула.

$$Q_D = -Rc + Rd - q * (z+4)$$

$$Q_D = 14 \text{ кН}; Q_D = 10 \text{ кН}$$

Последней рассчитываем главную балку ВС, которая представляет собой консоль, с жесткой опорой в сечении В. Балка нагружена в точке С сосредоточенной силой F1. В эту же точку передается опорное давление от второстепенной балки CDE, равное Fc = 2 кН и направленное вверх.



Для консольной балки можно не определять реакции опор, а непосредственно от действующей нагрузки вычислять в характерных сечениях изгибающие моменты и поперечные силы.

У этой балки один участок, значит по одной формуле для каждого силового фактора.

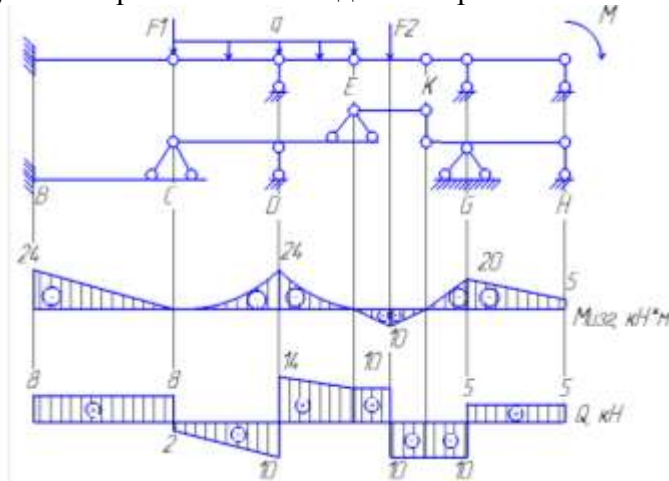
$$M_{изг_B} = -F1 * z + Fc * z$$

$$M_{изг_B} = 0; M_{изг_B} = -24 \text{ кН*м}$$

$$Q_B = F1 - Fc$$

$$Q_B = 8 \text{ кН}$$

Строим общую эпюру многопролетной балки для поперечной силы и изгибающего момента.



### Форма представления результата:

<p><b>Дано:</b></p> <p><math>F_1 = 10 \text{ кН}</math></p> <p><math>Q = 2 \text{ кН/м}</math></p> <p><math>F_2 = 20 \text{ кН}</math></p> <p><math>M = 5 \text{ кН*м}</math></p>	<p><b>Решение:</b></p> <p><b>Ответ:</b> Опасным сечением является точка D так как там максимальное значение момента.</p>
<p><b>Найти:</b></p> <p>определить опасное сечение</p>	

### Критерии оценки:

Оценка 3 – Верно проведен кинематический анализ.

Оценка 4 – Верно проведен кинематический анализ. Два пролёта посчитаны верно, реакции опор и внутренние силовые факторы.

Оценка 5 – Верно проведен кинематический анализ. Все пролёты посчитаны верно. Есть эпюры.

### Дополнительная оценка за защиту работы устно по списку вопросов:

1. Правила построения эпюр изгибающего момента.

2. Правила построения эпюр поперечной силы.

4. Правила построения эпюр изгибающего момента при действии распределенной нагрузки.

5. Правила построения эпюр поперечной силы при действии распределенной нагрузки.

## Тема 3.5 Статически определимые плоские рамы

### Паретическая работа №13 Кинематический анализ плоских рам

**Цель:** уметь проводить кинематический анализ плоских рам и определять реакции опор.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- Выбирать материалы, детали и узлы, на основе анализа их свойств, для конкретного применения.

**Материальное обеспечение:**

Конспект лекций, учебники, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик.

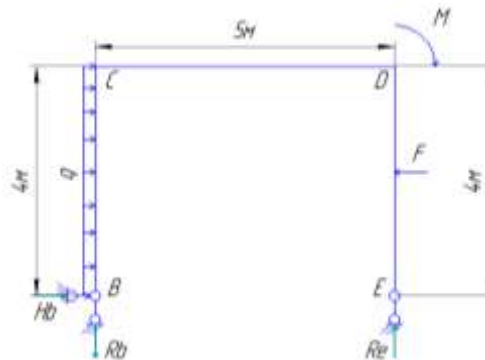
**Задание:**

1. Для плоской рамы провести кинематический анализ и найти реакции опор.

**Порядок выполнения работы:**

1. Определить степень свободы рамы по формуле.
2. Геометрическая неизменяемость рамы. Провести анализ мгновенной изменяемости.
3. Определить реакции опор.

**Ход работы:**



В данной балке 1 диска  $D = 1$ , нет простых шарниров  $\Pi = 0$ , и 3 опорных стержней  $S_{оп} = 3$ .

Определяем степень свободы по формуле

$$W = 3 \cdot D - 2 \cdot \Pi - S_{оп}$$

$$W = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 0 - 3 = 0$$

Балка имеет необходимое количество связей.

Анализ геометрической структуры.

Диск прикреплен к земле тремя опорными стержнями, которые не пересекаются в одной точке и не параллельны. Данная рама неизменяема.

Определим опорные реакции  $H_b$ ,  $R_b$  и  $R_e$  составив уравнения равновесия моментов относительно произвольных точек и проекцию на ось.

Выберем направление оси  $x$  и составим уравнение равновесия относительно этой оси.

$$\sum F_x = H_b + G - F = 0; H_b = 2 \text{ кН.}$$

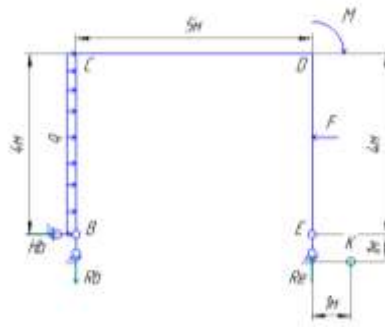
Теперь составим уравнение моментов относительно точки  $B$ .

$$\sum M_B = G \cdot 2 + M - F \cdot 2 - R_e \cdot 5 = 0; R_e = 0.2 \text{ кН}$$

Последним относительно точки  $E$ .

$$\sum M_E = -R_b \cdot 5 + G \cdot 2 + M - F \cdot 2 = 0; R_b = 0.2 \text{ кН}$$

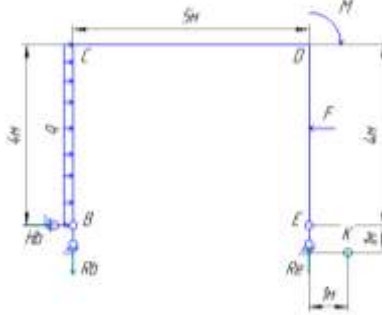
Теперь нужно провести проверку решения составив уравнение моментов относительно любой точки.



$$\Sigma M_K = -R_b \cdot 6 + H_b \cdot 1 + G \cdot 3 + M - F \cdot 3 + R_e \cdot 1 = 0$$

Проверка сошлась значит нашли реакции опор верно.

**Форма представления результата:**

<p><b>Дано:</b></p> <p><math>F = 10 \text{ кН}</math></p> <p><math>q = 2 \text{ кН/м}</math></p> <p><math>M = 5 \text{ кН*м}</math></p>	<p><b>Решение:</b></p>  <p><b>Ответ:</b> Рама имеет необходимое количество связей. Данная рама геометрически не изменяема. Реакции опор <math>R_b = R_e = H_b = .</math></p>
<p><b>Найти:</b> степень свободы, провести геометрический анализ, реакции опор</p>	

**Критерии оценки:**

Оценка 3 – Посчитана верно степень свободы.

Оценка 4 – Посчитана верно степень свободы. Проведен геометрический анализ рамы.

Оценка 5 – Посчитана верно степень свободы. Проведен геометрический анализ рамы. Верно посчитаны реакции опор.

**Дополнительная оценка за защиту работы устно по списку вопросов:**

1. Виды связей прикрепления дисков (3 вида).
2. Формула подвижности плоского сооружения.
4. Четыре правила соединения элементов для геометрической неизменяемости системы.
5. В каких случаях получается мгновенная изменяемость системы (4 способа).

## Тема 3.5 Статически определимые плоские рамы

### Паретическая работа №14 Аналитический расчет плоских рам

**Цель:** уметь проводить кинематический анализ плоских рам и определять реакции опор. Находить опасные сечения на эпюрах изгибающего момента, поперечной силы и продольной силы.

#### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- Выбирать материалы, детали и узлы, на основе анализа их свойств, для конкретного применения.

#### Материальное обеспечение:

Конспект лекций, учебники, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик.

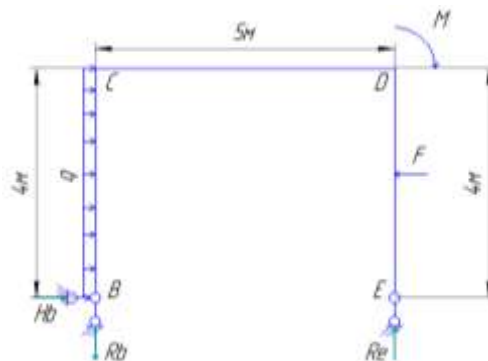
#### Задание:

1. Для плоской рамы провести кинематический анализ и построить эпюры внутренних силовых факторов.

#### Порядок выполнения работы:

1. Провести кинематический расчет рамы.
2. Определить реакции опор.
3. Построить эпюры изгибающего момента, поперечной силы и продольной силы.

#### Ход работы:



В данной балке 1 диска  $D = 1$ , нет простых шарниров  $\Pi = 0$ , и 3 опорных стержней  $S_{оп} = 3$ .

Определяем степень свободы по формуле

$$W = 3 \cdot D - 2 \cdot \Pi - S_{оп}$$

$$W = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 0 - 3 = 0$$

Балка имеет необходимое количество связей.

Анализ геометрической структуры.

Диск прикреплен к земле тремя опорными стержнями, которые не пересекаются в одной точке и не параллельны. Данная рама неизменяема.

Определим опорные реакции  $H_b$ ,  $R_b$  и  $R_e$  составив уравнения равновесия моментов относительно произвольных точек и проекцию на ось.

Выберем направление оси  $x$  и составим уравнение равновесия относительно этой оси.

$$\sum F_x = H_b + G - F = 0; H_b = 2 \text{ кН.}$$

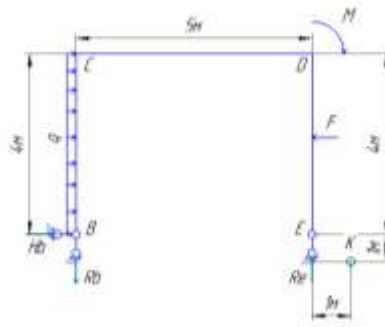
Теперь составим уравнение моментов относительно точки  $B$ .

$$\sum M_B = G \cdot 2 + M - F \cdot 2 - R_e \cdot 5 = 0; R_e = 0.2 \text{ кН}$$

Последним относительно точки  $E$ .

$$\sum M_E = -R_b \cdot 5 + G \cdot 2 + M - F \cdot 2 = 0; R_b = 0.2 \text{ кН}$$

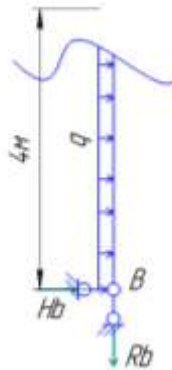
Теперь нужно провести проверку решения составив уравнение моментов относительно любой точки.



$$\Sigma M_K = -R_b \cdot 6 + H_b \cdot 1 + G \cdot 3 + M - F \cdot 3 + R_e \cdot 1 = 0$$

Проверка сошлась значит нашли реакции опор верно.

Разбиваем раму на участки по месту приложения сил.



Определяем на первом участке внутренние силовые факторы.

Продольная сила  $N = R_b = 0.2 \text{ кН}$

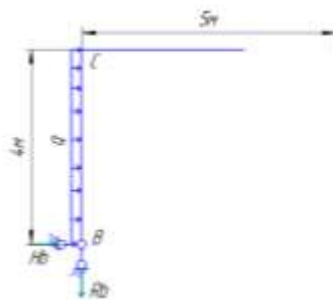
Момент изгиба  $M_{изг} = -H_b \cdot z - (q \cdot z^2)/2$

$M_{изг} = 0; -24 \text{ кН} \cdot \text{м}$

Поперечная сила  $Q = -H_b - q \cdot z$

$Q = -2; -10 \text{ кН}$

Переходим ко второму участку.



Что бы определить значения внутренних силовых факторов рассматривать нужно относительно центра тяжести сечения.

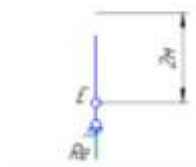
Продольная сила  $N = -H_b - q \cdot h = -10 \text{ кН}$

Момент изгиба  $M_{изг} = R_b \cdot z + H_b \cdot h + (q \cdot h^2)/2$

$M_{изг} = -24 \text{ кН}; -25 \text{ кН}$

Поперечная сила  $Q = -R_b = -0.2 \text{ кН}$

Переходим к третьему участку.



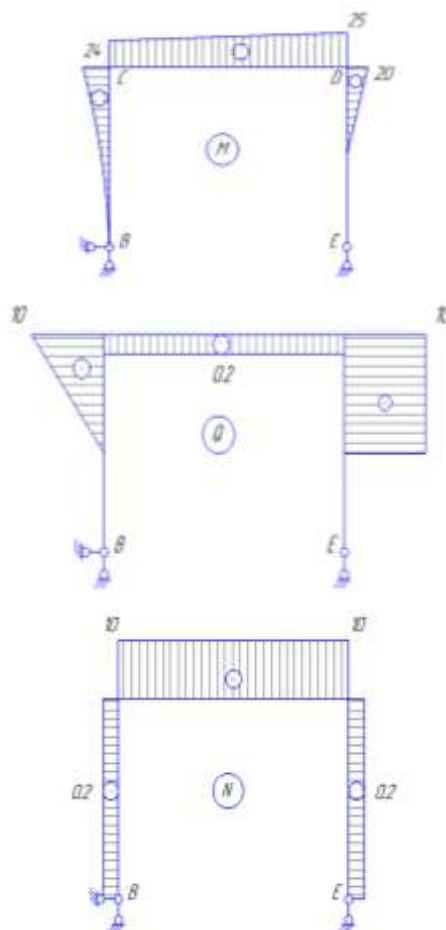
Продольная сила  $N = -R_e = -0,2 \text{ кН}$   
 Момент изгиба  $M_{изг} = 0$   
 Поперечная сила  $Q = 0$

Рассматриваем последний четвертый участок



Продольная сила  $N = -R_e = -0,2 \text{ кН}$   
 Момент изгиба  $M_{изг} = -F \cdot z = -20 \text{ кН} \cdot \text{м}$   
 Поперечная сила  $Q = F = 10 \text{ кН}$

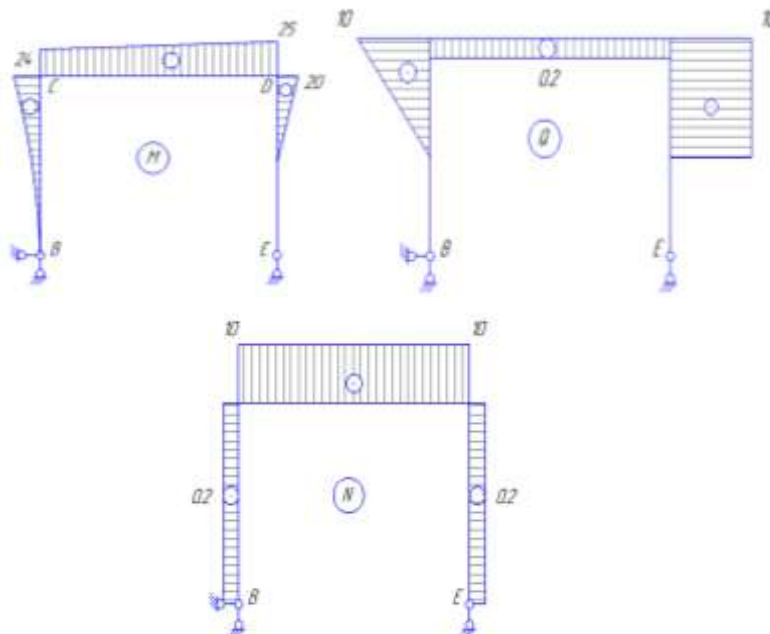
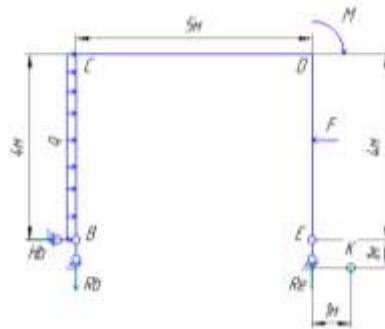
Строим эпюры  $N$ ,  $Q$ ,  $M_{изг}$ .



**Форма представления результата:**

Дано:	Решение:
$F = 10 \text{ кН}$	
$q = 2 \text{ кН/м}$	
$M = 5 \text{ кН} \cdot \text{м}$	

**Найти:** построить  
эпюры



**Критерии оценки:**

Оценка 3 – Верно построена одна из эпюр.

Оценка 4 – Верно построены две эпюры.

Оценка 5 – Верно построены все эпюры.

**Дополнительная оценка за защиту работы устно по списку вопросов:**

1. Правила построения эпюр изгибающего момента.
2. Правила построения эпюр поперечной силы.
4. Правила построения эпюр изгибающего момента при действии распределенной нагрузки.
5. Правила построения эпюр поперечной силы при действии распределенной нагрузки.



## Тема 3.5 Статически определимые плоские рамы

### Паретическая работа №15 Кинематический анализ ферм

**Цель:** уметь проводить кинематический анализ ферм.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- Выбирать материалы, детали и узлы, на основе анализа их свойств, для конкретного применения.

**Материальное обеспечение:**

Конспект лекций, учебники, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик.

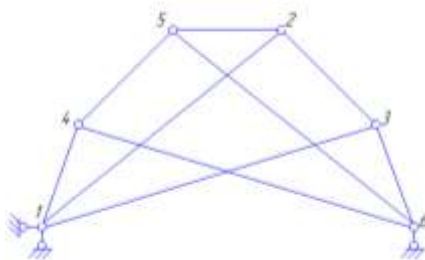
**Задание:**

1. Для фермы провести кинематический анализ.

**Порядок выполнения работы:**

1. Определить степень свободы фермы.
2. Проверить на геометрическую изменяемость.

**Ход работы:**



Степень свободы фермы можно определить по общей формуле, однако необходимо предварительно посчитать кратность шарниров. Обычно степень свободы фермы определяют по более простой формуле.

$$W = 2 * U - C_{\text{ш}} - C_{\text{оп}}$$

Где  $U$  – число шарнирных узлов,

$C_{\text{ш}}$  – число стержней,

$C_{\text{оп}}$  – число опорных стержней.

В данной ферме 6 шарнирных узлов  $U = 6$ , стержней 9  $C_{\text{ш}} = 9$ , опорных стержней 3  $C_{\text{оп}} = 3$ .

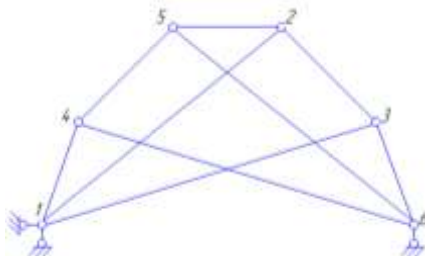
$$W = 2 * 6 - 9 - 3 = 0, \text{ значит ферма геометрически неизменяема.}$$

Выделим два диска треугольник 123 и треугольник 456. Эти диски соединены между собой тремя стержнями 1-4, 2-5 и 3-6, оси которых непараллельны и не пересекаются в одной точке. Следовательно, внутренняя структура образует геометрически неизменяемую систему (диск). Этот диск прикреплен тремя опорными стержнями, непараллельными и не пересекающимися в одной точке

**Форма представления результата:**

<b>Дано:</b> ферма	<b>Решение:</b>
-----------------------	-----------------

**Найти:** провести кинематический анализ



**Критерии оценки:**

Оценка 3 – Верно посчитана степень свободы.

Оценка 4 – Верно проведен анализ структуры.

Оценка 5 – Верно проведен кинематический анализ. Ответы на список вопросов.

**Список вопросов:**

1. Виды связей прикрепления дисков (3 вида).
2. Формула подвижности плоского сооружения.
4. Четыре правила соединения элементов для геометрической неизменяемости системы.
5. В каких случаях получается мгновенная изменяемость системы (4 способа).

## Тема 3.5 Статически определимые плоские рамы

### Паретическая работа №16 Аналитический анализ ферм

**Цель:** уметь проводить кинематический анализ ферм. Свободно владеть аналитическим расчетом ферм.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- Выбирать материалы, детали и узлы, на основе анализа их свойств, для конкретного применения.

**Материальное обеспечение:**

Конспект лекций, учебники, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик.

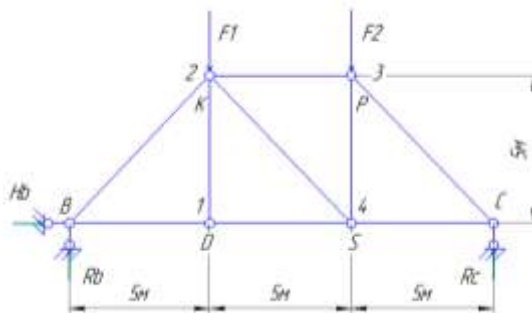
**Задание:**

1. Для фермы провести аналитический анализ.

**Порядок выполнения работы:**

1. Определить степень свободы фермы.
2. Проверить на геометрическую изменяемость.

**Ход работы:**



Степень свободы фермы можно определить по общей формуле, однако необходимо предварительно посчитать кратность шарниров. Обычно степень свободы фермы определяют по более простой формуле.

$$W = 2 \cdot Y - C_f - C_{оп}$$

Где  $Y$  – число шарнирных узлов,

$C_f$  – число стержней,

$C_{оп}$  – число опорных стержней.

В данной ферме 6 шарнирных узлов  $Y = 6$ , стержней 9  $C_f = 9$ , опорных стержней 3  $C_{оп} = 3$ .

$W = 2 \cdot 6 - 9 - 3 = 0$ , значит ферма геометрически неизменяема.

Выделим треугольник VKD он жестко прикреплен к земле двумя опорными стержнями к нему присоединен узел S двумя стержнями которые не параллельны, а значит закреплены жестко. Теперь рассматриваем уже треугольник VKS жестко закреплённый к земле (диск) к нему присоединен узел P двумя стержнями не параллельными. Объединяю фигуру VKSP в один диск к которому присоединен узел C двумя не параллельными стержнями. Значит система геометрически не изменяема.

Определим продольные силы в стержнях фермы. Для начала нужно найти опорные реакции.

$$\sum F_x = H_b = 0; H_b = 0$$

$$\sum M_B = -R_c \cdot 15 + F_1 \cdot 5 + F_2 \cdot 10 = 0, R_c = 12,5 \text{ кН}$$

$$\sum M_C = R_b \cdot 15 - F_1 \cdot 10 - F_2 \cdot 5 = 0, R_b = 15 \text{ кН}$$

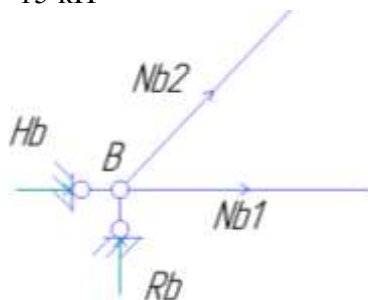
В данной ферме в опорных B и C узлах сходятся по два стержня, вначале вырежем один из них.

Узел B.

Составим уравнения равновесия относительно осей x и y.

$$\Sigma F_y = R_b + N_{b2} \cdot \sin 45^\circ = 0, N_{b2} = -21,21 \text{ кН}$$

$$\Sigma F_x = N_{b2} \cdot \cos 45^\circ + N_{b1} = 0, N_{b1} = 15 \text{ кН}$$



Узел 1.

$$\Sigma F_y = 0, N_{12} = 0$$

$$\Sigma F_x = -N_{1b} + N_{14} = 0, N_{14} = 15 \text{ кН}$$



Узел 2.

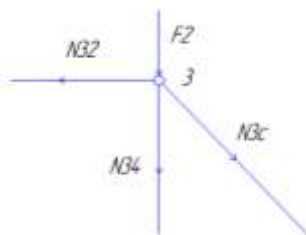
$$\Sigma F_y = -N_{b1} \cdot \cos 45^\circ - F_1 - N_{24} \cdot \cos 45^\circ = 0, N_{24} = -3,54 \text{ кН}$$

$$\Sigma F_x = -N_{b1} \cdot \sin 45^\circ + N_{24} \cdot \sin 45^\circ + N_{23} = 0, N_{23} = -12,5 \text{ кН}$$

Узел 3.

$$\Sigma F_x = -N_{32} + N_{3c} \cdot \sin 45^\circ = 0, N_{3c} = -17,68 \text{ кН}$$

$$\Sigma F_y = -N_{34} - F_2 - N_{3c} \cdot \sin 45^\circ = 0, N_{34} = 2,5 \text{ кН}$$



Узел 4.

$$\Sigma F_x = -N_{41} - N_{42} \cdot \sin 45^\circ + N_{4c} = 0, N_{4c} = 12,5 \text{ кН}$$

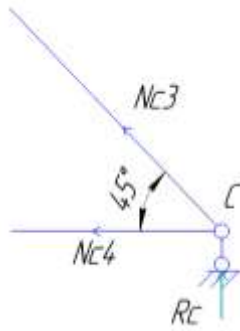


В качестве проверки возьмем узел C.

$$\Sigma F_y = N_{c3} \cdot \sin 45^\circ + R_c = 0$$

$$\Sigma F_x = -N_{c4} - N_{c3} \cdot \cos 45^\circ = 0$$

Проверка сошлась значит расчет фермы выполнен верно.



**Форма представления результата:**

<p><b>Дано:</b></p> <p><math>F1 = 17,5 \text{ кН}</math></p> <p><math>F2 = 10 \text{ кН}</math></p>	<p><b>Решение:</b></p> <p><b>Ответ:</b> <math>H_b = 0</math>, <math>R_c = 12,5 \text{ кН}</math>, <math>R_b = 15 \text{ кН}</math>, <math>N_{b2} = -21,21 \text{ кН}</math>, <math>N_{b1} = 15 \text{ кН}</math>, <math>N_{12} = 0</math>, <math>N_{14} = 15 \text{ кН}</math>, <math>N_{24} = -3,54 \text{ кН}</math>, <math>N_{23} = -12,5 \text{ кН}</math>, <math>N_{3c} = -17,68 \text{ кН}</math>, <math>N_{34} = 2,5 \text{ кН}</math>, <math>N_{4c} = 12,5 \text{ кН}</math>.</p>
<p><b>Найти:</b></p> <p>Определить усилия в стержнях фермы</p>	

**Критерии оценки:**

- Оценка 3 – Верно посчитана степень свободы.
- Оценка 4 – Верно проведен кинематический анализ структуры.
- Оценка 5 – Верно определены реакции стержней фермы.

**Список вопросов:**

1. Виды связей прикрепления дисков (3 вида).
2. Формула подвижности плоского сооружения.
4. Четыре правила соединения элементов для геометрической неизменяемости системы.
5. В каких случаях получается мгновенная изменяемость системы (4 способа).

## Тема 2.2 Растяжение и сжатие

### Лабораторная работа № 1

#### Испытание на растяжение образца из пластичной стали и хрупкой древесины в виртуальном пространстве Columbus-2005.

**Цель:** получение диаграммы растяжения стального образца для вычисления механических характеристик материала.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- выполнять расчеты на прочность, жесткость, устойчивость элементов сооружений.

**Материальное обеспечение:**

Испытательный стенд виртуальной лабораторной работы приближенный к реальной установке «Разрывная машина ГСМ-50», конспект лекций, линейка, карандаш, ластик.

**Задание:**

1 построить диаграмму растяжения материала.

**Порядок выполнения работы:**

1 Провести эксперимент на разрывной машине.

2.Перевести полученную диаграмму в координатные оси напряжение - относительная деформация.

**Ход работы:**

1.Проводя эксперимент снимать значения усилия  $P$  кН и абсолютного удлинения  $\Delta l$  для 12 характерных точек.

2.Перевести усилие  $P$  из кН в Н (кило  $10^3$ ). (см. столбик 4)

3.Посчитать относительную деформацию  $\varepsilon = \Delta l/l_0$  (см. столбик 5)

4.Посчитать напряжение  $\sigma(\text{МПа}) = P(\text{Н})/A(\text{мм}^2)$ , где  $A$  – площадь сечения образца, находим по формуле  $A = \pi d_0^2/4$ . (см. столбик 6)

5.Начертить диаграмму растяжения по результатам вычислений в координатных осях напряжение - относительная деформация.

6.Определить модуль упругости материала  $E(\text{МПа}) = \sigma/\varepsilon$ . (см. столбик 7)

1	2	3	4	5	6	7
№1	$P$ , кН	$\Delta l$ , м	$P$ , Н	$\varepsilon$	$\sigma$ , МПа	$E$ , МПа
1	19,9667	4,157e-006	19966,7	$\frac{4,57 * 10^{-3}(\text{мм})}{20(\text{мм})}$	$\frac{19966,7(\text{Н})}{314(\text{мм}^2)}$	$\frac{19966,7(\text{Н})}{0,00022}$

7. Чертим диаграмму.

**Форма представления результата:**

12 точек диаграммы переведены в координатные оси напряжение – относительная деформация и построена диаграмма.

**Критерии оценки:**

3 – четвертый и пятый столбик посчитаны верно.

4 – вся таблица посчитана верно.

5 – диаграмма построена верна на основании расчетов.

**Список вопросов:**

1. Что такое предел упругости?

2. Предел пропорциональности?

3. Предел текучести?

4. Предел прочности?

## Тема 2.2 Растяжение и сжатие

### Лабораторная работа № 2

#### Испытание на сжатие образцов из пластичной стали и хрупкой древесины в виртуальном пространстве Columbus-2005.

**Цель:** получение диаграммы сжатия для разных материалов для вычисления механических характеристик материалов.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- выполнять расчеты на прочность, жесткость, устойчивость элементов сооружений.

**Материальное обеспечение:**

Испытательный стенд виртуальной лабораторной работы приближенный к реальной установке «Пресс гидравлический ПГ-100», конспект лекций, линейка, карандаш, ластик.

**Задание:**

1 построить диаграмму сжатия стали и древесины.

**Порядок выполнения работы:**

1 Провести эксперименты на гидравлическом прессе для двух разных материалов.

2.Перевести полученные диаграммы в координатные оси напряжение - относительная деформация.

**Ход работы:**

1.Проводя эксперимент снимать значения усилия  $P$  кН и абсолютного удлинения  $\Delta l$  для 12 характерных точек.

2.Перевести усилие  $P$  из кН в Н (кило  $10^3$ ). (см. столбик 4)

3.Посчитать относительную деформацию  $\varepsilon = \Delta l/l_0$  (см. столбик 5)

4.Посчитать напряжение  $\sigma(\text{МПа}) = P(\text{Н})/A(\text{мм}^2)$ , где  $A$  – площадь сечения образца, находим по формуле  $A = \pi d_0^2/4$ . (см. столбик 6)

5.Начертить диаграмму сжатия по результатам вычислений в координатных осях напряжение - относительная деформация.

6.Определить модуль упругости материала  $E(\text{МПа}) = \sigma/\varepsilon$ . (см. столбик 7)

1	2	3	4	5	6	7
№1	$P$ , кН	$\Delta l$ , м	$P$ , Н	$\varepsilon$	$\sigma$ , МПа	$E$ , МПа
1	19,9667	4,157e-006	19966,7	$\frac{4,57 * 10^{-3}(\text{мм})}{20(\text{мм})}$	$\frac{19966,7(\text{Н})}{314(\text{мм}^2)}$	$\frac{19966,7(\text{Н})}{0,00022}$

7. Чертим диаграммы для двух экспериментов.

**Форма представления результата:**

Обе диаграммы построены верно для двух образцов.



**Критерии оценки:**

3 – одна из двух таблиц посчитана верно.

4 – все расчеты проведены верно.

5 – диаграммы для двух образцов на основании расчетов вычерчены верно.

**Список вопросов:**

1. Чем отличаются пластичные и хрупкие материалы?

2. Предел упругости при сжатии?

3. Предел пропорциональности при сжатии?

4. Предел текучести при сжатии?

5. Предел прочности при сжатии?

## Тема 2.6 Кручение

### Лабораторная работа № 3

#### Определение линейных и угловых перемещений при изгибе хрупких материалов в виртуальном пространстве Columbus-2005

##### Цель:

1. Определение модуля сдвига для материала.
2. Исследование зависимости между углом закручивания и крутящим моментом.

##### Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- выполнять расчеты на прочность, жесткость, устойчивость элементов сооружений.

##### Материальное обеспечение:

Виртуальный лабораторный стенд, имитирующий работу крутильной машины, конспект лекций, линейка, карандаш, ластик.

##### Задание:

1. рассчитать механические характеристики материала и сравнить с экспериментальными.

##### Порядок выполнения работы:

1. Провести эксперименты на крутильной установке.
2. Рассчитать значения модуля сдвига и угла закручивания и сравнить с опытом.

##### Ход работы:

1. Теоретическим путем рассчитываем модуль упругости  $G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$ , МПа
2. Полярный момент инерции круглого поперечного сечения  $I_p = \frac{\pi * d^2}{32}$ , см<sup>4</sup>
3. По Закону Гука определяем угол закручивания  $\varphi = \frac{M_{кр} * \ell}{G * I_p}$
4. Определим расхождение результат опыта и расчетный по формуле  $\delta = \frac{G_{оп} - G_{теор}}{G_{теор}} * 100\%$
5. Повторить расчет для 12 точек и занести данные в таблицу.

№1	G, МПа	G, МПа	δ, %	φ, °

##### Форма представления результата:

Вычертить полученную диаграмму кручения образца и заполнить таблицу.

##### Критерии оценки:

- 3 – шесть точек в таблице посчитаны верно.
- 4 – расчет по 12 точкам проведен верно.
- 5 – диаграмма построена верно.

##### Список вопросов:

1. Как определяется угол закручивания?
2. Напишите зависимость между модулем продольной упругости и модулем сдвига.
3. Напишите формулы, по которым определяются напряжения при кручении.

## Тема 2.7 Изгиб

### Лабораторная работа № 4

Испытание на изгиб в виртуальном пространстве Columbus-2005

**Цель:** Определение перемещений и напряжений в статически определимой балке при поперечном изгибе.

**Выполнив работу, Вы будете:**

уметь:

- выполнять расчеты на прочность, жесткость, устойчивость элементов сооружений.

**Материальное обеспечение:**

Виртуальный лабораторный стенд, имитирующий испытание на изгиб балки двутаврового сечения, конспект лекций, линейка, карандаш, ластик.

**Задание:**

Построить по данным испытания эпюры изгибающих моментов и напряжений.

**Порядок выполнения работы:**

1. Построить расчетную схему балки и эпюру изгибающих моментов.
2. Построить эпюру нормальных напряжений.

**Ход работы:**

1. Строим эпюру изгибающих моментов.
2. Определим перемещения по середине пролета правилу Верещагина

$$u_c = \frac{2}{EJ} * \left(\frac{1}{2} * \frac{Fl}{4} * \frac{\ell}{2}\right) * \frac{2}{3} * \frac{\ell}{4} = \frac{F\ell^3}{48EJ}$$

3. Определение прогиба на конце консоли  $u_k = \frac{1}{EJ} * \left(\frac{1}{2} * \frac{Fl}{4} * \ell\right) * \frac{a}{2} = \frac{Fa\ell^2}{16EJ}$

4. Заполнить таблицу 1.

Таблица 1

Нагрузка приложенная к балке F, кН	Прогибы		
	Метод определения прогиба	Середины пролета $u_c$	Конца консоли $u_k$
	Экспериментальный		
	Максвелла-Мора		

5. Определим нормальное напряжение в поперечном сечении балки по формуле Навье

$$\sigma = \frac{My}{J_n}$$

6. Вычислить напряжения по показаниям тензодатчиков по формуле  $\sigma = E\varepsilon = E \frac{d}{ks}$

7. Заполнить таблицу 2.

Таблица 2

Абсцисса сечения x, м	Изгибающий момент в сечении M, кН*м	Ордината точки y, м	$\sigma_{расч}$ , МПа	$\sigma_{эксп}$ , МПа

**Форма представления результата:**

Расчетная схема балки с эпюрами момента изгиба и напряжения, заполненные таблицы 1 и 2.

**Критерии оценки:**

3 – расчетная схема и эпюры построены верно.

4 – по эпюре заполнена таблица 1.

5 – по эпюре и результату эксперимента заполнена таблица 2.

**Список вопросов:**

1.Какая деформация стержня называется изгибом?

2.Что называется прогибом балки при изгибе?

3.Запишите формулу Максвелла-Мора для определения перемещений при изгибе.

4.Запишите формулу правила Верещагина при определении линейных и угловых перемещений.