

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 ДЛЯ СТУДЕНТОВ  
ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ**

**по учебной дисциплине**

**ОП.06 Техническая механика**

**для студентов**

**44.02.06 Профессиональное обучение (по отраслям)  
Строительство и эксплуатация зданий и сооружений  
(углубленной подготовки)  
наименование профиля**

Магнитогорск, 2017

**ОДОБРЕНО:**

Предметно-цикловой комиссией  
«Строительство и эксплуатация  
зданий и сооружений»  
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» Многопрофильный  
колледж Валерия Вячеславовна Радомская

Методические указания по самостоятельной работе разработаны  
на основе рабочей программы учебной дисциплины «Техническая  
механика»

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К современному специалисту общество предъявляет широкий перечень требований, среди которых важное значение имеет наличие определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через организацию самостоятельной работы. Процесс самостоятельной работы позволяет проявиться индивидуальным способностям личности. Только через самостоятельную работу обучающийся может стать высококвалифицированным компетентным специалистом, способным к постоянному профессиональному росту.

Задачи самостоятельной работы:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- формирование умений поиска информации в различных источниках;
- развитие познавательных способностей и активности: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании проектной работы, для эффективной подготовки к итоговым зачетам и экзаменам и последующего освоения программы подготовки специалистов среднего звена.

Самостоятельная работа является одним из видов учебных занятий и предполагает активную роль обучающегося в ее планировании, осуществлении и контроле.

Самостоятельная работа является обязательной для каждого обучающегося. Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами обучающихся в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений обучающихся.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы может осуществляться в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия и внеаудиторную самостоятельную работу обучающихся по учебной дисциплине, может проходить в письменной,

устной или смешанной форме, с представлением изделия или продукта творческой деятельности.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы могут быть использованы проверка выполненной работы преподавателем, семинарские занятия, самоотчеты, зачеты, экзамены.

Критериями оценки результатов внеаудиторной самостоятельной работы являются:

- уровень освоения учебного материала (предметных результатов);
- умение использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- сформированность универсальных учебных действий;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- оформление материала в соответствии с требованиями.

### ***Общие критерии оценки самостоятельной работы***

Самостоятельная работа студентов оценивается согласно следующим критериям:

Оценка «5» выставляется студенту, если:

- работа оформлена в соответствии с рекомендациями преподавателя;
- объем работы соответствует заданному;
- работа выполнена точно в срок, указанный преподавателем.

Оценка «4» выставляется студенту, если:

- содержание работы соответствует заданной тематике;
- студент допускает небольшие неточности или некоторые ошибки в данном вопросе;
- в оформлении работы допущены неточности;
- работа сдана в срок, указанный преподавателем, или позже, но не более чем на 1-2 дня.

Оценка «3» выставляется студенту, если:

- содержание работы соответствует заданной тематике, но в работе отсутствуют значительные элементы по содержанию работы или материал по теме изложен нелогично, нечетко представлено основное содержание вопроса;
- работа оформлена с ошибками в оформлении;
- объем работы значительно меньше заданного;
- работа сдана с опозданием в сроках на 5-6 дней.

Оценка «2» выставляется студенту, если:

- не раскрыта основная тема работы;
- оформление работы не соответствует требованиям преподавателя;
- объем работы не соответствует заданному;
- работа сдана с опозданием в сроках больше чем 7 дней.

## ВИДЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ

Все самостоятельные работы выполняются на листах формата А4.  
Первый лист титульный оформляется по примеру.

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

Расчетно-графическая работа «Определение реакций опор в двухопорной балке»

по учебной дисциплине  
Техническая механика

Выполнил (а):        Ф.И.О.  
Группа:         
Проверила: Радожская В.В.

Магнитогорск, 2017

## Тема 1.4 Плоская система произвольно расположенных сил

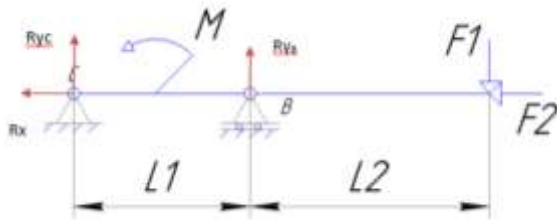
Расчетно-графическая работа, определение реакций опор в двухопорной балке

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.

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.

Рекомендации по выполнению задания:

Изображаем на схеме неизвестные реакции опор.



Составляем уравнения равновесия моментов относительно точки

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

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

и сумму проекций на ось  $x$

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

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

Форма контроля: Выполненная работа.

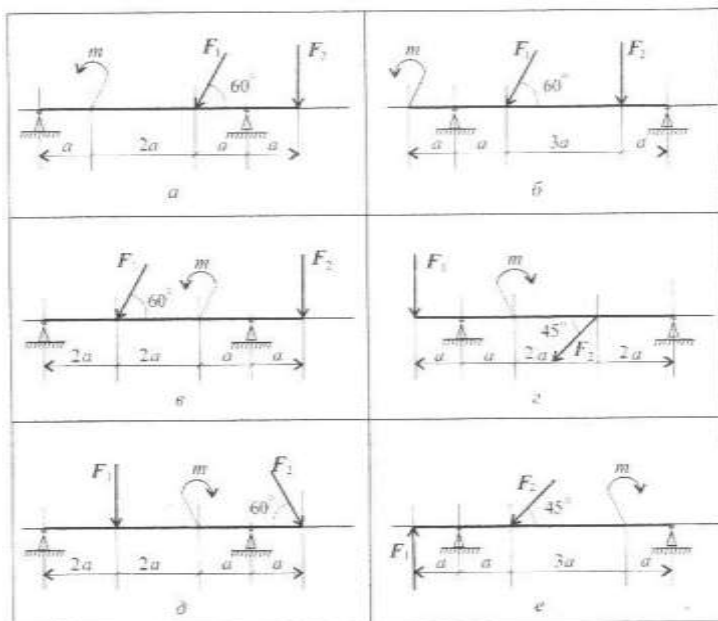
Критерии оценки:

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.

### №1 Определение реакций опор в двухопорной балке



Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F1, кН	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
F2, кН	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
m, кН*М	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
a, м	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2



## **Вопросы самоконтроля**

Проговорить названия опор изображенных на схеме.

Объяснить почему в каждой из них возникают именно такие реакции.

Составить уравнение моментов относительно произвольной точки выбранной преподавателем.

## Тема 1.6 Центр тяжести

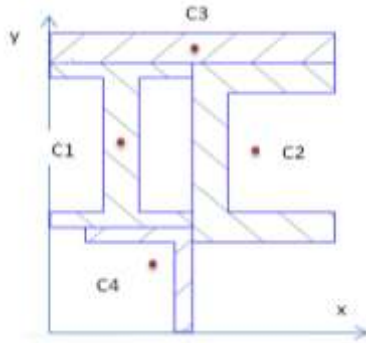
Расчетно-графическая работа, определение центра тяжести фигуры составленной из прокатных профилей

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 семе положение центра тяжести.

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.

Рекомендации по выполнению задания:

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 контроля: Выполненная работа.

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.

№2 Определить положение центра тяжести сечения, составленного из стандартных профилей.

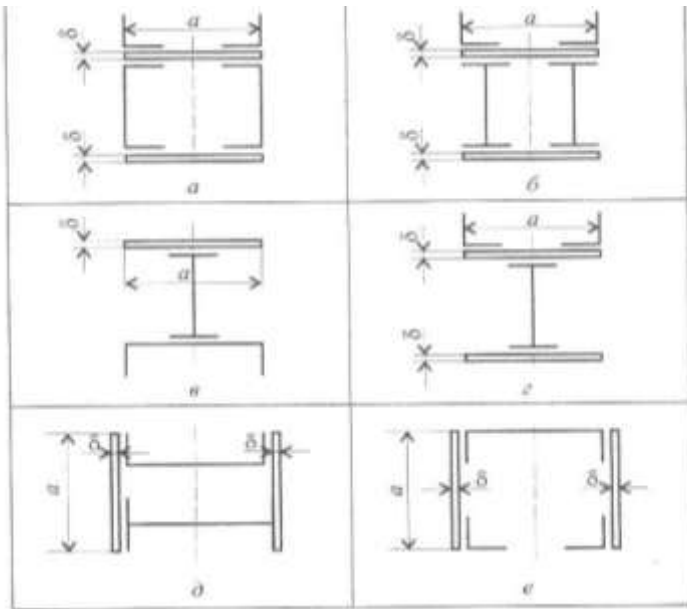


Рис. 5.2

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ швеллера	18	18а	20	20а	22	22а	24	24а	27	30
№ двутавра	18	18а	20	20а	22	22а	24	24а	27	30
№ уголка	8	8	9	9	10	10	11	11	12,5	14
a, мм	180	200	200	220	220	240	240	260	270	300
δ, мм	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6

### Вопросы самоконтроля

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 1.8 Кинематика точки**

Подготовка сообщения по основным понятиям кинематики точки.

Цель: иметь представление о пространстве, времени, траектории, пути, скорости и ускорении. Знать способы задания движения точки. Знать обозначения, единицы измерения, взаимосвязь кинематических параметров движения, формулы для определения скоростей и ускорений.

Рекомендации по выполнению задания:

Сообщение должно содержать не менее 2 страниц, соответствовать выбранной теме, иметь примеры.

Форма контроля: Выполненная работа.

Критерии оценки:

Оценка 3 – Объем текста 2-3 страницы.

Оценка 4 – Объем текста 3-4 страницы.

Оценка 5 – Объем текста 3-4 страницы, оформлено в качестве презентации.

№3 Сообщение на тему: основные кинематические параметры (траектория, путь, скорость, ускорение).

Сообщение на тему: анализ видов и кинематических параметров движений (равнопеременное, неравномерное, равномерное).

### **Вопросы самоконтроля**

1. Что называют траекторией?
2. Запишите формулы для определения касательного, нормального и полного ускорения.
3. Что характеризует и как направлено нормальное ускорение?

## Тема 1.9 Простейшие движения твердого тела

Подготовка сообщения по основным вопросам движения твердого тела.

Цель: иметь представление о поступательном движении, его особенностях и параметрах, о вращательном движении тела и его параметрах. Знать формулы для определения параметров поступательного и вращательного движения тела. Уметь определять кинематические параметры тела при поступательном и вращательном движениях, определять параметры любой точки тела.

Рекомендации по выполнению задания:

Сообщение должно содержать не менее 2 страниц, соответствовать выбранной теме, иметь примеры.

Форма контроля: Выполненная работа.

Критерии оценки:

Оценка 3 – Объем текста 2-3 страницы.

Оценка 4 – Объем текста 3-4 страницы.

Оценка 5 – Объем текста 3-4 страницы, оформлено в качестве презентации.

№4 Сообщение на тему: поступательное движение.

Сообщение на тему: вращательное движение.

### Вопросы самоконтроля

1. Какими кинематическими параметрами характеризуется поступательное движение и почему?
2. Запишите уравнение равномерного поступательного движения твердого тела.
3. Запишите уравнение равнопеременного поступательного движения твердого тела.
4. Запишите уравнение равномерного вращательного движения твердого тела.
5. Запишите уравнение равнопеременного вращательного движения твердого тела.

## Тема 2.2 Растяжение и сжатие

Подготовка к лабораторным работам № 1, 2.

1. Оформить отчеты для лабораторных работ.

Цель: подготовиться к проведению лабораторной работы на растяжение и на сжатие материалов.

Рекомендации по выполнению задания:

Оформить отчет для проведения лабораторных работ №1 и №2.

Лабораторная работа №1

The image shows a laboratory report template for the topic "Тема 2.2 Растяжение и сжатие". It is divided into three main sections:

- Top Left Section:** Contains the title "Лабораторная работа", the name of the laboratory, and the name of the student. Below this is a table for recording experimental data, with columns for "№", "d", "E", "F", "l", "Δl", "σ", and "ε".
- Top Right Section:** A large grid for drawing or calculations.
- Bottom Section:** A graph titled "Зависимость деформации от нагрузки" (Dependence of deformation on load). The vertical axis is labeled "σ" and the horizontal axis is labeled "ε". The graph shows a coordinate system with arrows at the ends of the axes.

## Лабораторная работа №2

**Название работы:**  
Построение на графике (плоская декартова координатная система) вертикального вектора (вектора-силы).

**Цели работы:**  
Получить векторные линии для векторов, для выполнения последовательной вертикальной операции.

**Цель:**  
Сформировать вертикальный вектор (силы, моменты).

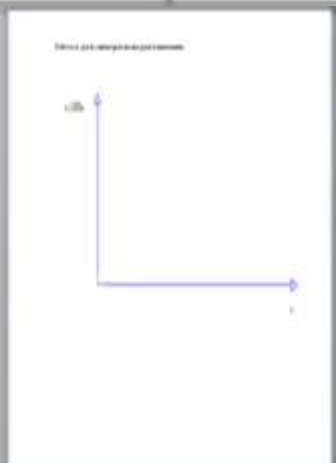
Длина вектора	$h = 100 \text{ мм}$	$h = 100$
Шаг	$1/1000 \text{ мм}$	$100$
Шаг	$1/1000 \text{ мм}$	$100$
Шаг	$1/1000 \text{ мм}$	$100$
Шаг	$1/1000 \text{ мм}$	$100$
Шаг	$1/1000 \text{ мм}$	$100$

**Таблица результатов работы (11 строк)**

№	h	h	h	h	h
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

**Шаг для вертикального вектора**



Форма контроля: Выполненная работа.

Критерии оценки:

Оценка 3 – оформлена первая лабораторная работа.

Оценка 4 – оформлена вторая лабораторная работа.

Оценка 5 – обе работы оформлены согласно требованиям.



№5 Лабораторная работа №1.

Лабораторная работа №2.

### **Вопросы самоконтроля**

1. Какие размеры стального образца приняли на растяжение?
2. Какие размеры деревянного образца приняли на сжатие?
3. Формула для определения нормального напряжения.
4. Формула для определения модуля упругости материала.

## Тема 2.3 Механические испытания материалов

Подготовка к защите лабораторных работ на растяжение и сжатие.

Цель: иметь представление о предельных и допускаемых напряжениях. Знать диаграммы растяжения и сжатия пластичных и хрупких материалов, порядок расчета на прочность.

Рекомендации по выполнению задания:

Для подготовки к защите лабораторных работ необходимо иметь конспект лекций по теме механические испытания материалов, отчеты по лабораторным работам №1 и №2.

Форма контроля: Выполненная работа.

Критерии оценки:

Оценка 3 – может объяснить как проводятся испытания на растяжение и сжатие.

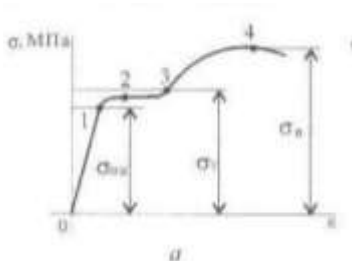
Оценка 4 – понимает значения точек на диаграммах растяжения и как они строятся.

Оценка 5 – знает механические характеристики материалов и как их найти.

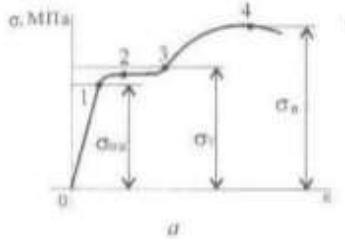
№6 Защита лабораторных работ №1 и №2.

### Вопросы самоконтроля

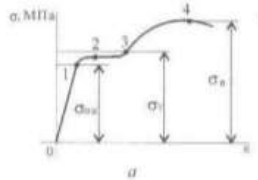
1. Точка 4 на диаграмме растяжения соответствует пределу \_\_\_\_\_ материала.



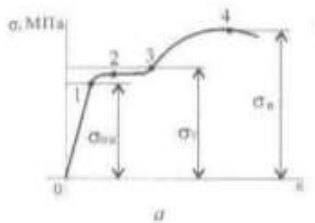
2. Площадь круга равна  $\pi * \text{_____}^2$
3. Напряжения перпендикулярные к сечению называют \_\_\_\_\_.
4. Модуль упругости E(МПа) характеризует \_\_\_\_\_ материала.
5. пределу \_\_\_\_\_ материала.



7. Относительная \_\_\_\_\_  $\varepsilon$  – это отношение изменения размера к соответствующим начальным размерам.
8. Площадка от точки 2 до точки 3 на диаграмме растяжения называется площадкой \_\_\_\_\_.



9.  $\Delta l$  – это абсолютное \_\_\_\_\_ образца.
10. Нормальные напряжения находят по формуле  $\sigma = \frac{\text{-----}}{A, \text{мм}^2}$
11. Материалы работающие одинаково на растяжение и на сжатие называют \_\_\_\_\_.
12. Точка 3 на диаграмме растяжения соответствует пределу \_\_\_\_\_ материала.



## Тема 2.4 Расчет на прочность при растяжении и сжатии

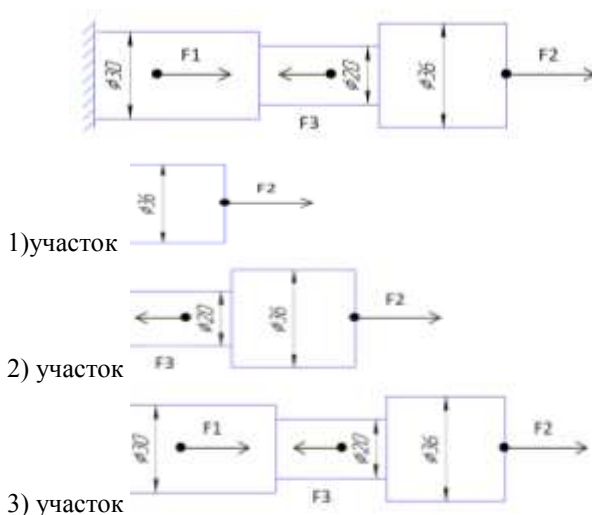
Расчетно-графическая работа, расчет на прочность при растяжении и сжатии

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.

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.

Рекомендации по выполнению задания:

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



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

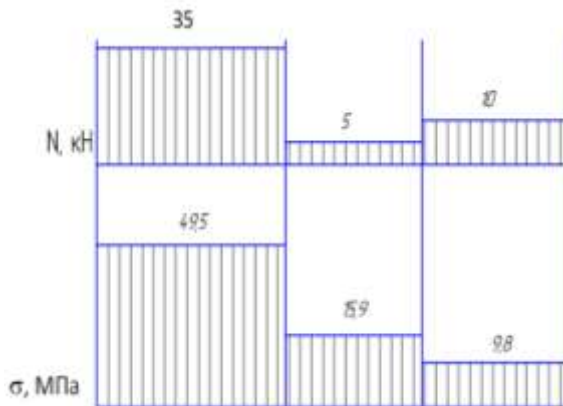
$$\sigma = \frac{N(\text{Н})}{A(\text{мм}^2)}, \text{ (Н/мм}^2 \text{ или МПа).}$$

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

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

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

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.

$$4. \text{ Уточненная } A_3 = \frac{N_3}{[\sigma]} = \frac{35 \times 10^3}{40} = 875, \text{ мм}^2$$

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

$$\text{Уточненная } A_1 = \frac{N_1}{[\sigma]} = \frac{10 \times 10^3}{40} = 250, \text{ мм}^2$$

$$\text{Уточненная } A_2 = \frac{N_2}{[\sigma]} = \frac{5 \times 10^3}{40} = 125, \text{ мм}^2$$

**Ответ:** Уточненные  $D_3 = 33,4$  мм,  $D_2 = 12,6$  мм,  $D_1 = 17,8$  мм.

Форма контроля: Выполненная работа.

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.

№7 Расчет на прочность при растяжении и сжатии

### Вопросы самоконтроля

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

### Подготовка к лабораторной работе

1. Оформить отчет для лабораторной работы №3

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

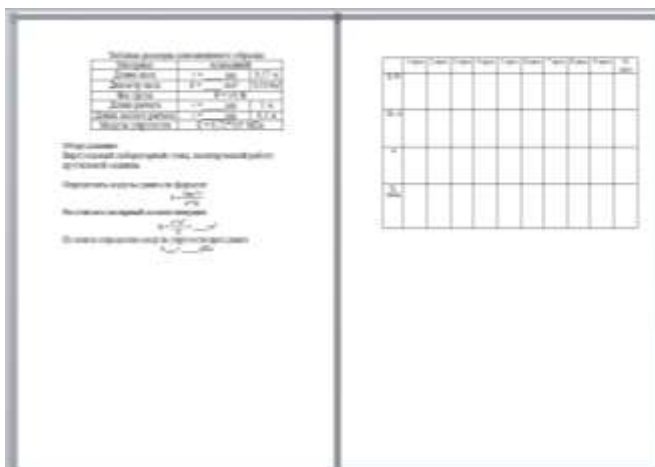
Рекомендации по выполнению задания:

Оформить отчет для лабораторной работы №3.

Лабораторная работа №3

<p><b>Назначение работы:</b> С целью изучения свойств и особенностей материалов Спальвин-100.</p> <p><b>Цели работы:</b> Определение модуля сдвига материала. Исследование зависимости между углом закручивания и крутящим моментом.</p> <p><b>Оборудование:</b></p> <table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Техническая характеристика образца</th></tr></thead><tbody><tr><td>Материал</td><td>Спальвин</td></tr><tr><td>Диаметр стержня</td><td><math>d = 10 \text{ мм}</math></td></tr><tr><td>Длина стержня</td><td><math>L = 100 \text{ мм}</math></td></tr><tr><td>Момент инерции</td><td><math>J = 7854 \text{ мм}^4</math></td></tr><tr><td>Момент сопротивления</td><td><math>W_p = 63695 \text{ мм}^3</math></td></tr><tr><td>Момент закручивания</td><td><math>M = 20 \text{ Нм}</math></td></tr></tbody></table> <p><b>Оборудование:</b> Механический прибор для измерения крутящего момента.</p> <p><b>Оборудование:</b> Механический прибор для измерения крутящего момента.</p> <p><b>Математическая модель:</b> <math display="block">\tau = \frac{M}{W_p}</math> <math display="block">\varphi = \frac{M L}{G J}</math> где <math>G</math> – модуль сдвига, <math>J</math> – момент инерции.</p>	Техническая характеристика образца		Материал	Спальвин	Диаметр стержня	$d = 10 \text{ мм}$	Длина стержня	$L = 100 \text{ мм}$	Момент инерции	$J = 7854 \text{ мм}^4$	Момент сопротивления	$W_p = 63695 \text{ мм}^3$	Момент закручивания	$M = 20 \text{ Нм}$	<table border="1"><thead><tr><th>№ опыта</th><th>Крутящий момент, Нм</th><th>Угол закручивания, град</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td></td><td></td></tr><tr><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td>3</td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td></tr><tr><td>5</td><td></td><td></td></tr><tr><td>6</td><td></td><td></td></tr><tr><td>7</td><td></td><td></td></tr><tr><td>8</td><td></td><td></td></tr><tr><td>9</td><td></td><td></td></tr><tr><td>10</td><td></td><td></td></tr></tbody></table>	№ опыта	Крутящий момент, Нм	Угол закручивания, град	1			2			3			4			5			6			7			8			9			10		
Техническая характеристика образца																																																
Материал	Спальвин																																															
Диаметр стержня	$d = 10 \text{ мм}$																																															
Длина стержня	$L = 100 \text{ мм}$																																															
Момент инерции	$J = 7854 \text{ мм}^4$																																															
Момент сопротивления	$W_p = 63695 \text{ мм}^3$																																															
Момент закручивания	$M = 20 \text{ Нм}$																																															
№ опыта	Крутящий момент, Нм	Угол закручивания, град																																														
1																																																
2																																																
3																																																
4																																																
5																																																
6																																																
7																																																
8																																																
9																																																
10																																																





Форма контроля: Выполненная работа.

Критерии оценки:

Оценка 3 – оформлена часть работы для стального образца.

Оценка 4 – оформлена вся работа для двух образцов.

Оценка 5 – защита по списку вопросов к лабораторной работе.

№8 Отчет Лабораторная работа №3

### Вопросы самоконтроля

1. Угол закручивания определяется по формуле  $\varphi = \frac{M_{кр} * \ell}{G * \underline{\hspace{2cm}}}$

2. Напряжение при кручении определяется по формуле

$$\tau_{\max} = \frac{M_{кр}}{\underline{\hspace{2cm}}}$$

3. При кручении внутри вала возникают \_\_\_\_\_ напряжения

4. Внутренний силовой фактор возникающий при кручении называется \_\_\_\_\_

5. Полярный момент инерции круглого сечения находится по

формуле  $J_p = \frac{\pi * \underline{\hspace{2cm}}^4}{32}$

6. Полярный момент сопротивления круглого сечения находится по

формуле  $W_p = \frac{\pi * \underline{\hspace{2cm}}^3}{16}$

7. Момент кручения равен произведению силы на \_\_\_\_\_

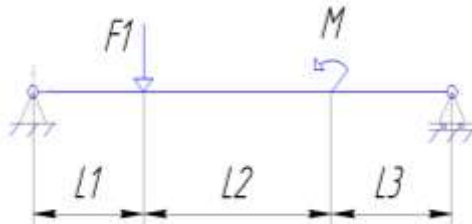
## Тема 2.7 Изгиб

Расчетно-графическая работа, выбор рационального сечения при изгибе

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.

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.

Рекомендации по выполнению задания:



1. Определяем реакции опор, составляя уравнения равновесия.

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

$$R_x = 0$$

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

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

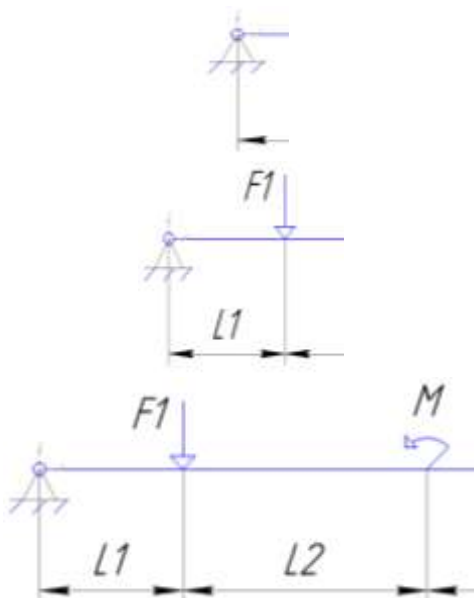
$$\sum F_y = R_a - R_b - F_1 = 0$$

$$R_a = F_1 + R_b = 30 + 6,25 = 36,25 \text{ кН}$$

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).

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

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

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

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

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

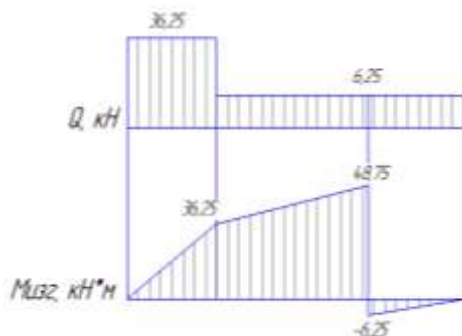
$$M_2 = 36,25 \times (1 + 2) - 30 \times 2 = 48,75, \text{ кН*м}$$

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

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

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

5. Строим эпюры Q и Mизг.



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.

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

По таблице сортамента проката определяем номер профиля подходящего №24.

Форма контроля: Выполненная работа.

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.

№9 Выбор рационального сечения при изгибе

### **Вопросы самоконтроля**

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

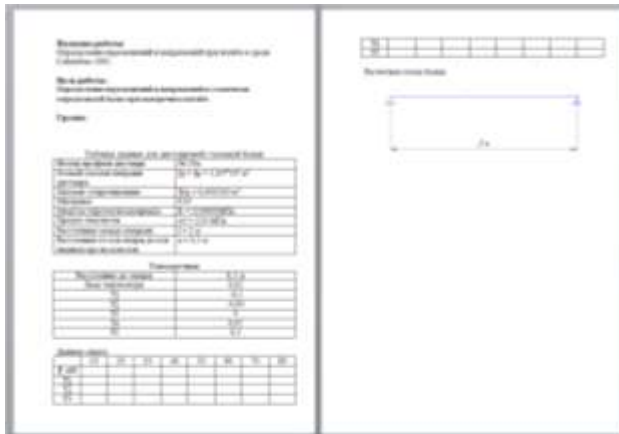
### Защита лабораторных работ

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.

Рекомендации по выполнению задания:

Оформить отчет для лабораторной работы №4.

Лабораторная работа №4





Форма контроля: Выполненная работа.

Критерии оценки:

Оценка 3 – оформлена лабораторная работа №4 и посчитана расчетная схема балки, построены эпюры.

Оценка 4 – рассчитаны прогибы по середине пролета для 8 точек.

Оценка 5 – рассчитаны напряжения по формуле Навье и данным тензодатчиков.

№10 Отчет Лабораторная работа №4

### Вопросы самоконтроля

1. Какая деформация стержня называется изгибом?
2. Правило Верещагина для определения прогиба балки имеет вид

$$y_c = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot J}$$

3. Какие напряжения возникают в балке при изгибе?
4. Принцип работы испытательного стенда.



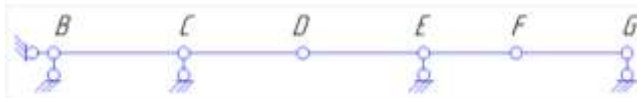
### Тема 3.3 Многопролетные статически определимые балки

Расчетно-графическая работа, кинематический анализ

Для многопролетной балки провести кинематический анализ.

Цель: уметь проводить кинематический анализ многопролетных балок.

Рекомендации по выполнению задания:



В данной балке 3 диска  $D = 3$ , два простых шарнира  $\Pi = 2$ , и 5 опорных стержней  $C_{оп} = 5$ .

Определяем степень свободы по формуле

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

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

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 контроля: Выполненная работа.

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.

№11 Кинематический анализ многопролетной балки.

#### Вопросы самоконтроля

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).

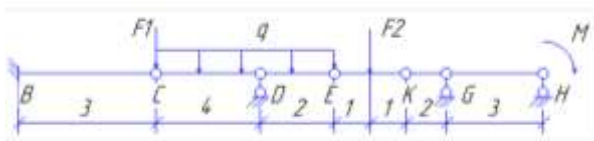
### Тема 3.3 Многопролетные статически определимые балки

Расчетно-графическая работа аналитический расчет многопролетной балки

Для многопролетной балки построить эпюры момента изгиба и поперечной силы.

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

Рекомендации по выполнению задания:



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 В к земле жесткой связью, т.е. она неизменяема. К этому неподвижному диску прикреплен диск CDE двумя стержнями в шарнире С 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.

Превоая формула изгибающий момент слева.

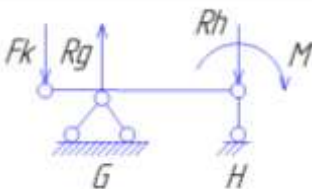
$$M_{изг_E} = R_e * z$$

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

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 направлено 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.

$$\text{Мизг}_G = -F_k * z + R_b * z$$

$$\text{Мизг}_G = -20 \text{ кН} * \text{м}, \text{Мизг}_{K2} = -5 \text{ кН} * \text{м}$$

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  $F_e = R_e = 10 \text{ кН}$  от вышележащей второстепенной балки EK.

Находим опорные реакции  $R_c$  и  $R_d$ .



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

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

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

Первая формула, вычисляем изгибающие моменты слева.

$$\text{Мизг}_C = -R_c * z - (q * z^2) / 2$$

$$\text{Мизг}_C = 0; \text{Мизг}_C = -24 \text{ кН} * \text{м}$$

Вторая формула.

$$\text{Мизг}_D = -R_c(4+z) - (q(z^2+4^2))/2 + R_d * z$$

$$\text{Мизг}_D = -24 \text{ кН} * \text{м}; \text{Мизг}_D = 0$$

Первая формула, вычисляем продольную силу слева.

$$Q_C = -R_c - q * z$$

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

Вторая формула.

$$Q_D = -R_c + R_d - q * (z+4)$$

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

Последней рассчитываем главную балку BC, которая представляет собой консоль, с жесткой опорой в сечении B. Балка нагружена в точке C сосредоточенной силой  $F_1$ . В эту же точку передается опорное давление от второстепенной балки CDE, равное  $F_c = 2 \text{ кН}$  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.

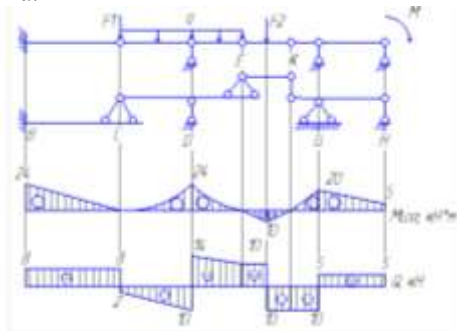
$$M_{изгB} = -F1 * z + Fc * z$$

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

$$Q_B = F1 - Fc$$

$$Q_B = 8 \text{ кН}$$

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



Форма контроля: Выполненная работа.

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.

№12 Аналитический расчет многопролетной балки

### Вопросы самоконтроля

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.

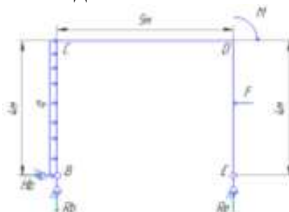
### Тема 3.5 Статически определимые плоские рамы

Расчетно-графическая работа кинематический анализ плоских рам

Для плоской рамы провести кинематический анализ и найти реакции опор.

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

Рекомендации по выполнению задания:



В данной балке 1 диска  $D = 1$ , нет простых шарниров  $Ш = 0$ , и 3 опорных стержней  $Соп = 3$ .

Определяем степень свободы по формуле

$$W = 3 \cdot D - 2 \cdot Ш - Соп$$

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

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.

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

Теперь составим уравнение моментов относительно точки В.

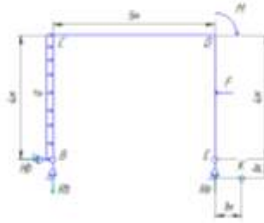
$$\Sigma M_B = G \cdot 2 + M - F \cdot 2 - R_e \cdot 5 = 0; R_e = 0.2 \text{ кН}$$

Последним относительно точки Е.

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

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 контроля: Выполненная работа.

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.

№13 Кинематический анализ плоской рамы.

### Вопросы самоконтроля

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).

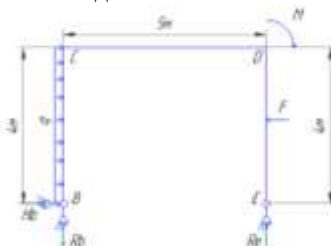
### Тема 3.5 Статически определимые плоские рамы

Расчетно-графическая работа аналитический расчет плоских рам

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

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

Рекомендации по выполнению задания:



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

Определяем степень свободы по формуле

$$W = 3 * D - 2 * \Pi - S_{оп}$$

$$W = 3 * 1 - 2 * 0 - 3 = 0$$

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.

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

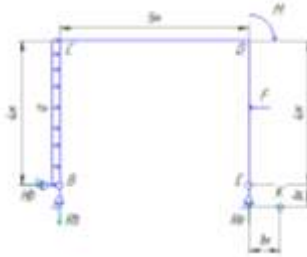
Теперь составим уравнение моментов относительно точки В.

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

Последним относительно точки Е.

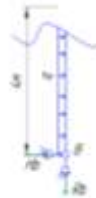
$$\Sigma M_E = -R_b * 5 + G * 2 + M - F * 2 = 0; R_b = 0.2 \text{ кН}$$

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



$\Sigma МК = - Rb \cdot 6 + Hb \cdot 1 + G \cdot 3 + M - F \cdot 3 + Re \cdot 1 = 0$   
 Проверка сошлась значит нашли реакции опор верно.

Разбиваем раму на участки по месту приложения сил.



Определяем на первом участке внутренние силовые факторы.

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

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

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

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

$Q = -2$ ;  $-10 \text{ кН}$

Переходим ко второму участку.



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

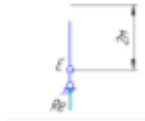
Продольная сила  $N = - Hb - q \cdot h = -10 \text{ кН}$

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

Мизг =  $-24 \text{ кН}$ ;  $-25 \text{ кН}$

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

Переходим к третьему участку.



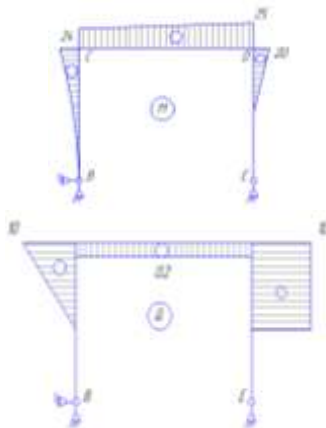
Продольная сила  $N = -Re = -0,2 \text{ кН}$   
 Момент изгиба  $M_{изг} = 0$   
 Поперечная сила  $Q = 0$

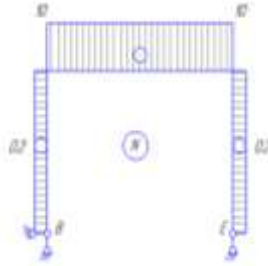
Рассматриваем последний четвертый участок



Продольная сила  $N = -Re = -0,2 \text{ кН}$   
 Момент изгиба  $M_{изг} = -F \cdot z_0 = -20 \text{ Кн} \cdot \text{м}$   
 Поперечная сила  $Q = F = 10 \text{ кН}$

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





Форма контроля: Выполненная работа.

Критерии оценки:

Оценка 3 – Верно построена одна из эпюр.

Оценка 4 – Верно построены две эпюры.

Оценка 5 – Верно построены все эпюры.

№14 Для плоской рамы провести кинематический анализ и построить эпюры внутренних силовых факторов.

### Вопросы самоконтроля

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.

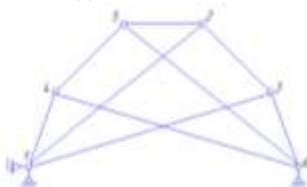
### Тема 3.6 Плоские статически определимые фермы

Расчетно-графическая работа, кинематический анализ ферм

Для фермы провести кинематический анализ.

Цель: уметь проводить кинематический анализ ферм.

Рекомендации по выполнению задания:



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

$$W = 2*U - Cф - Cоп$$

Где  $U$  – число шарнирных узлов,

$Cф$  – число стержней,

$Cоп$  – число опорных стержней.

В данной ферме 6 шарнирных узлов  $U = 6$ , стержней 9  $Cф = 9$ , опорных стержней 3  $Cоп = 3$ .

$W = 2*6 - 9 - 3 = 0$ , 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 контроля: Выполненная работа.

Критерии оценки:

Оценка 3 – Верно посчитана степень свободы.

Оценка 4 – Верно проведен анализ структуры.

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

№15 Для фермы провести кинематический анализ.

### **Вопросы самоконтроля**

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).

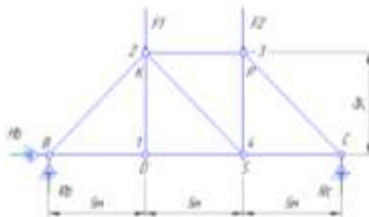
### Тема 3.6 Плоские статически определимые фермы

Расчетно-графическая работа, аналитический расчет ферм

Для фермы провести аналитический анализ.

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

Рекомендации по выполнению задания:



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

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

Где  $Y$  – число шарнирных узлов,

$C_{\text{ш}}$  – число стержней,

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

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

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

Выделим треугольник BKD 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 BKS жестко закреплённый к земле (диск) к нему присоединен узел P двумя стержнями не параллельными. Объединяю фигуру BKSP 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.

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

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

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



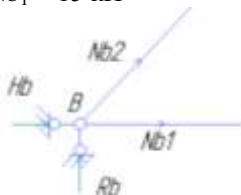
В данной ферме в опорных В и С узлах сходятся по два стержня, вначале вырежем один из них.

Узел В.

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.

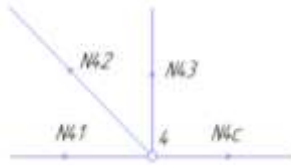
$$\Sigma F_x = -N_{32} + N_{3c} \cdot \sin 45^\circ = 0, N_{3c} = -17,68 \text{ кН}$$

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



Узел 4.

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

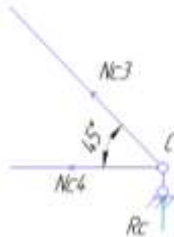


В качестве проверки возьмем узел С.

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

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

Проверка сошлась значит расчет фермы выполнен верно.



Форма контроля: Выполненная работа.

Критерии оценки:

Оценка 3 – Верно посчитана степень свободы.

Оценка 4 – Верно проведен кинематический анализ структуры.

Оценка 5 – Верно определены реакции стержней фермы.

№16 Для фермы провести аналитический анализ.

### Вопросы самоконтроля

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)