

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
"НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АРХИТЕКТУРЫ, ДИЗАЙНА И ИСКУССТВ имени А.Д. Крячкова"  
(НГУАДИ)

УТВЕРЖДАЮ

Ректор НГУАДИ

\_\_\_\_\_ Н.В. Багрова

\_\_\_\_\_ 2024 г.

## ОП.01 Техническая механика

### рабочая программа дисциплины

Закреплена за кафедрой **Строительного производства**  
Учебный план 07.02.01 Архитектура 9 кл\_2023.plx  
Специальность 07.02.01 АРХИТЕКТУРА

Квалификация **архитектор**  
Форма обучения **очная**  
Общая трудоемкость **72 часов**

Часов по учебному плану 72  
в том числе:  
аудиторные занятия 50  
самостоятельная работа 12  
часов на контроль 6

Виды контроля в семестрах:  
экзамен 3

#### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	3(2.1)		Итого	
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	16	16	16	16
Практические	32	32	32	32
Итого ауд.	50	50	50	50
Сам. работа	12	12	12	12
Часы на контроль	6	6	6	6
Итого	72	72	72	72

Разработчик(и):

доцент, Александров П.В. \_\_\_\_\_

Рецензент(ы):

канд.техн.наук, Зав. каф., Семикин П.В. \_\_\_\_\_

Рабочая программа дисциплины

Техническая механика

Разработана в соответствии с ФГОС СПО:

Федеральный государственный образовательный стандарт среднего профессионального образования по специальности 07.02.01 АРХИТЕКТУРА (приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 09.11.2023 г. № 843)

Составлена на основании учебного плана: "07.02.01 АРХИТЕКТУРА"  
утвержденного ученым советом вуза, протокол № 53 от 26.08.2024.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры Строительного производства

Протокол от 26.08.2024 № 1

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ П.В. Семикин

СОГЛАСОВАНО

Начальник УРО \_\_\_\_\_ Кузнецова Н.С.

Заведующий НТБ \_\_\_\_\_ Патрушева Н.А.

И.о. зам.директора Колледжа НГУАДИ \_\_\_\_\_ Кушнерук О.П.

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель - формирование у обучающихся знаний и умений в соответствии с планируемыми результатами освоения дисциплины.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Цикл (раздел) ОП:                      ОП

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций:

**ПК 1.1.: Подготавливать исходные данные для проектирования, в том числе для разработки отдельных архитектурных и объемно-планировочных решений.**

### знания

- - основные источники получения информации в архитектурно-строительном проектировании, включая нормативные, методические, справочные и реферативные источники;
- порядок комплектования и подготовки исходных данных, данных задания на проектирование объекта капитального строительства и данных задания на разработку архитектурного раздела проектной документации;
- средства и методы работы с библиографическими и иконографическими источниками;
- средства и методы архитектурно-строительного проектирования;

### умения

- - осуществлять сбор, обработку и комплектование данных, необходимых для проектирования архитектурного объекта, в том числе с использованием автоматизированных информационных систем;
- использовать средства и методы работы с библиографическими и иконографическими источниками

**3.1 Знать:**

**3.2 Уметь:**

## 4. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые компетенции (с учетом РПВ)	Формы контроля
<b>Раздел 1. Раздел 1. Теоретическая механика</b>					
1.1	Тема 1.1. Основные понятия и аксиомы статики. Теоретическая механика и её разделы: статика, кинематика, динамика. Краткий обзор развития теоретической механики. Материальная точка. Абсолютно твёрдое тело. Сила как вектор. Единица силы. Система сил. Эквивалентная система сил. Равнодействующая и уравнивающая системы сил. Внешние и внутренние силы. Аксиомы статики. Свободное и несвободное тело. Степень свободы. Связи. Реакции связей. Идеальные связи и правило определения их направления. /Лек/	3	2	ПК 1.1.	- наблюдение за деятельностью обучающихся в процессе освоения программы
1.2	Тема 1.2. Плоская система сходящихся сил. Система сходящихся сил. Силовой многоугольник. Геометрическое условие равновесия системы. Теорема о равновесии трёх непараллельных сил. Определение равнодействующей сходящихся сил графическим образом. Определение усилий в двух шарнирно-соединённых стрелках. Проекция силы на оси	3	2	ПК 1.1.	- наблюдение за деятельностью обучающихся в процессе освоения программы

	<p>координат. Аналитическое определение равнодействующей системы. Аналитические уравнения равновесия системы. Методика решения задач на равновесие плоской системы сходящихся сил с использованием геометрического и аналитического условий равновесия./Лек/</p>				
1. 3	<p>Тема 1.2. Плоская система сходящихся сил. Определение равнодействующей плоской системы сходящихся сил. Определение равнодействующей системы сходящихся сил аналитическим способом. Определение усилий в стержнях фермы методом вырезания узлов./Пр/</p>	3	6	ПК 1.1.	- наблюдение за деятельностью обучающихся в процессе освоения программы
1. 4	<p>Тема 1.3. Пара сил. Понятие пары сил. Вращающее действие пары на тело. Момент пары сил, величина, знак. Свойства пар. Условие равновесия пар сил. /Лек/</p>	3	2	ПК 1.1.	- наблюдение за деятельностью обучающихся в процессе освоения программы
1. 5	<p>Тема 1.4. Плоская система произвольно расположенных сил. Момент силы относительно точки; величина, знак, условие равенства нулю. Приведение силы и системы сил к данному центру. Главный вектор и главный момент. Частные случаи приведения плоской системы сил. Теорема Вариньона. Уравнения равновесия плоской системы произвольно расположенных сил (три вида). Равновесие плоской системы параллельных сил (два вида). Классификация нагрузок – сосредоточенные силы, моменты, равномерно распределённые нагрузки и их интенсивность. Балки, плоские фермы, рамы. Опоры: шарнирно-подвижная, шарнирно-неподвижная, жёсткое защемление (заделка) и их реакции. Аналитическое определение опорных реакций балок, рам, ферм. Определение усилий в стержнях плоских ферм методом сквозного сечения. Связи с трением. Сила трения, угол и коэффициент трения. Условие самоторможения./Лек/</p>	3	2	ПК 1.1.	- наблюдение за деятельностью обучающихся в процессе освоения программы
1. 6	<p>Тема 1.4.1. Плоская система произвольно расположенных сил. Определение главного вектора и главного момента плоской произвольной системы сил. Определение реакций в опорах балок. Определение опорных реакций консольных и однопролётных балок.</p>	3	6	ПК 1.1.	- наблюдение за деятельностью обучающихся в процессе освоения программы

	/Пр/				
1. 7	Тема 1.4.2. Плоская система произвольно расположенных сил. 1. Проработка конспектов занятий и учебной литературы 2. Подготовка к практическим занятиям по темам «Определение главного вектора и главного момента плоской произвольной системы сил», «Определение реакций в опорах балок», «Определение опорных реакций ферм и плоских рам» и «Определение усилий в стержнях фермы методом сквозных сечений» /СР/	3	2	ПК 1.1.	

## Раздел 2. Раздел 2. Сопротивление материалов

2. 1	Тема 2.1. Основные положения. Краткие сведения об истории развития «Сопротивления материалов». Упругие и пластические деформации. Основные допущения и гипотезы о свойствах материалов и характере деформирования. Нагрузки и их классификация. Геометрическая схематизация элементов сооружений. Метод сечений. Внутренние силовые факторы в общем случае нагружения бруса. Основные виды деформации бруса. Напряжение: полное, нормальное, касательное, единицы измерения напряжения./Лек/	3	2	ПК 1.1.	- наблюдение за деятельностью обучающихся в процессе освоения программы
2. 2	Тема 2.2. Растяжение и сжатие. Продольная сила, величина, знак, эпюры продольных сил. Нормальные напряжения в поперечных сечениях стержня. Эпюра нормальных напряжений по длине стержня. Гипотеза плоских сечений. Понятие о концентрации напряжения. Коэффициент концентрации. Продольные и поперечные деформации при растяжении (сжатии). Коэффициент Пуассона. Закон Гука. Модуль продольной упругости. Формула Гука. Определение перемещений поперечных сечений стержня. Механические испытания материалов. Диаграммы растяжения и сжатия пластичных и хрупких материалов, их механические характеристики. Понятие о наклёпе. /Лек/	3	4	ПК 1.1.	- наблюдение за деятельностью обучающихся в процессе освоения программы
2. 3	Тема 2.2.1. Растяжение и сжатие. Построение эпюр продольных	3	8	ПК 1.1.	- наблюдение за деятельностью обучающихся

	сил, напряжений и перемещений для ступенчатого бруса, закреплённого одним концом, при осевом растяжении (сжатии). /Пр/				в процессе освоения программы; - оценка выполнения практической работы
2. 4	Тема 2.2.2. Растяжение и сжатие.1. Проработка конспектов занятий и учебной технической литературы 2. Подготовка к практическим занятиям по темам «Построение эпюр продольных сил, нормальных напряжений и определение абсолютной и относительной деформаций стержня» и «Расчёты на прочность при растяжении и сжатии по предельному состоянию»  /СР/	3	4	ПК 1.1.	
2. 5	Тема 2.2.3. Геометрические характеристики плоских сечений. Определение моментов инерции сложных фигур, составленных из простых геометрических фигур и стандартных прокатных профилей. /Пр/	3	2	ПК 1.1.	- наблюдение за деятельностью обучающихся в процессе освоения программы
2. 6	Тема 2.4. Поперечный изгиб прямого бруса. Основные понятия и определения. Внутренние силовые факторы в поперечном сечении бруса: поперечная сила и изгибающий момент. Дифференциальные зависимости между интенсивностью распределённой нагрузки, поперечной силой и изгибающим моментом. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов для наиболее часто встречающихся и для различных видов нагружений статически определимых балок. Чистый изгиб. Эпюры нормальных напряжений в поперечном сечении. Наибольшие нормальные напряжения при изгибе, осевой момент сопротивления; единицы измерения. Касательные напряжения при изгибе. Формула Журавского для касательных напряжений в поперечных сечениях балок. Эпюры касательных напряжений для балок прямоугольного и двутаврового поперечных сечений по высоте сечения. Моменты сопротивления для простых сечений. Расчёты балок на прочность по нормальным, касательным, эквивалентным напряжениям. Расчёт балок на жёсткость. Понятие о линейных и угловых перемещениях при прямом	3	2	ПК 1.1.	- наблюдение за деятельностью обучающихся в процессе освоения программы

	изгибе./Лек/				
2. 7	Тема 2.4.1. Поперечный изгиб прямого бруса. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов по длине балки. /Пр/	3	10	ПК 1.1.	- наблюдение за деятельностью обучающихся в процессе освоения программы; - оценка выполнения практической работы
2. 8	Тема 2.4.2. Поперечный изгиб прямого бруса. 1. Расчёт балок на прочность. 2. Расчёт балок на прочность по нормальным, касательным напряжениям. /СР/	3	6	ПК 1.1.	
2. 9	Подготовка к экзамену./СРЭ/	3	4	ПК 1.1.	
2. 10	Консультация к экзамену./КЭ/	3	2	ПК 1.1.	
2. 11	Промежуточная аттестация: экзамен./ЭК/	3	6	ПК 1.1.	

## 5. КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация проводятся в соответствии с Положением об организации текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по образовательным программам среднего профессионального образования, программ высшего образования, программ магистратуры в ФГБОУ ВО НГУАДИ имени А.Д. Крячкова

Порядок и периодичность текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в фонде оценочных средств дисциплины.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Информационное обеспечение реализации программы

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Кол-во экз
<b>6.1.1. Основная литература</b>				
Л1.1	Джамай Виктор Валентинович, Самойлов Евгений Алексеевич	Техническая механика	Москва: Юрайт, 2023	ЭБС
Л1.2	Гребенкин Владимир Захарович, Заднепровский Рэм Петрович	Техническая механика	Москва: Юрайт, 2023	ЭБС
<b>6.1.2. Дополнительная литература</b>				
Л2.1	Королев П. В.	Техническая механика	Саратов: Профобразование, Ай Пи Ар Медиа, 2020	ЭБС
Л2.2	Каюмов, Р. А.	Техническая механика	Москва: Ай Пи Ар Медиа, 2022	ЭБС
Л2.3	Зиомковский Владислав	Техническая механика	Москва: Юрайт, 2023	ЭБС

	Мечиславович, Троицкий Игорь Витальевич			
--	---	--	--	--

## 6.2. Электронные информационные ресурсы

1	Электронная образовательная среда НГУАДИ (ЭИОС) - Режим доступа: [https://portal.nsuada.ru/
2	Электронно-библиотечная система "Юрайт" – Режим доступа: https://urait.ru/
3	Электронная библиотечная система «IPRbooks» – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/
4	Электронная библиотечная система «Лань» – Режим доступа: https://lanbook.com/

## 6.3. Перечень программного обеспечения

Windows 7 – операционная система, LibreOffice, Adobe Acrobat Reader DC, PowerPoint Viewer, Kaspersky Endpoint Security 107-Zip x64

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебная аудитория, для проведения учебных занятий всех видов, в том числе групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащённая специальным оборудованием: рабочее место преподавателя, посадочные места по количеству обучающихся, комплект учебно-методических материалов, компьютер с программным обеспечением и возможностью подключения к сети "Интернет".

Аудитория для самостоятельной работы, оснащённая комплектом учебной мебели и мультимедийным оборудованием с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом к электронной информационно-образовательной среде НГУАДИ.

## 8. ТРЕБОВАНИЯ К ПЕДАГОГИЧЕСКИМ РАБОТНИКАМ

Реализация дисциплины обеспечивается работниками университета относящимися к профессорско-преподавательскому составу и иными педагогическими работниками, а также лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на условиях гражданско-правового договора, в том числе из числа руководителей и работников организаций, направление деятельности которых соответствует области профессиональной деятельности 10. Архитектура, проектирование, геодезия, топография и дизайн (имеющих стаж работы в данной профессиональной области не менее трех лет).

Требования к квалификации. Высшее профессиональное образование или среднее профессиональное образование по направлению подготовки "Образование и педагогика" или в области, соответствующей преподаваемой дисциплине, без предъявления требований к стажу работы либо высшее профессиональное образование или среднее профессиональное образование и дополнительное профессиональное образование по направлению деятельности в образовательном учреждении без предъявления требований к стажу работы.

Педагогические работники, привлекаемые к реализации образовательной программы, должны получать дополнительное профессиональное образование по программам повышения квалификации не реже одного раза в три года с учетом расширения спектра профессиональных компетенций, в том числе в форме стажировки в организациях, направление деятельности которых соответствует области профессиональной деятельности 10. Архитектура, проектирование, геодезия, топография и дизайн, а также в других областях профессиональной деятельности и (или) сферах профессиональной деятельности при условии соответствия полученных компетенций требованиям к квалификации педагогического работника



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
"НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АРХИТЕКТУРЫ, ДИЗАЙНА И ИСКУССТВ имени А.Д. Крячкова"  
(НГУАДИ)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации**

Учебная дисциплина: Техническая механика.  
Специальность: 07.02.01 АРХИТЕКТУРА

Составитель: Александров П.В., доцент

Рассмотрен и рекомендован  
для использования в учебном процессе  
на заседании кафедры Строительного  
производства  
Протокол от 26.08.2024 № 1  
Зав. кафедрой СП Семикин П.В.

Новосибирск 2024

## 1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Фонд оценочных средств (ФОС) включает материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

Целью текущего контроля (ТК) и промежуточной аттестации (ПА) является контроль освоения запланированных по учебному предмету знаний и умений, направленных на формирование у обучающихся компетенций в соответствии с рабочей программой дисциплины.

Настоящий ФОС по дисциплине «Техническая механика» является неотъемлемым приложением к рабочей программе дисциплины «Техническая механика» (РПД). На данный ФОС распространяются все реквизиты утверждения, представленные в РПД по данной дисциплине.

### Распределение заданий по компетенциям

Код компетенции	Наименование компетенции	Наименование индикатора сформированности компетенции	Семестр	Номер задания	Тип задания	Уровень сложности*
ПК 1.1	Подготавливать исходные данные для проектирования, в том числе для разработки отдельных архитектурных и объемно-планировочных решений	Знать основные источники получения информации в архитектурно-строительном проектировании, включая нормативные, методические, справочные и реферативные источники;	3	9,16	Закрытого типа с выбором правильного ответа.	Базовый
		Знать порядок комплектования и подготовки исходных данных, данных задания на проектирование объекта капитального строительства и данных задания на разработку архитектурного раздела проектной документации;	3	3,18	Закрытого типа с выбором правильного ответа.	Базовый
			3	35	Открытого типа с развернутым ответом	Высокий
		Знать средства и методы работы с библиографическими и иконографическими источниками; Уметь использовать средства и методы работы с библиографическими и иконографическими источниками	3	1, 20-22	Закрытого типа с выбором правильного ответа.	Базовый

	Знать средства и методы архитектурно-строительного проектирования;	3	26-33	Закрытого типа с выбором правильного ответа.	Базовый
	Уметь осуществлять сбор, обработку и комплектование данных, необходимых для проектирования архитектурного объекта, в том числе с использованием автоматизированных информационных систем.	3	34	Закрытого типа на соответствие	Повышенный
		3	6,7,10,	Закрытого типа с выбором правильного ответа.	Базовый

\*Время, затрачиваемое на выполнение заданий, зависит от уровня сложности задания

- задания базового уровня сложности: 1-3 мин;
- задания повышенного уровня сложности: 3-5 мин;
- задания высокого уровня сложности: 5-10 мин.

## 2. КОМПЛЕКТ ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

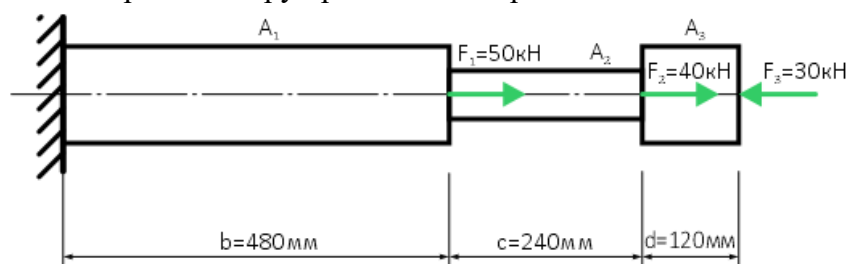
**Тема 2.2.1. Растяжение и сжатие. Построение эпюр продольных сил, напряжений и перемещений для ступенчатого бруса, закреплённого одним концом, при осевом растяжении (сжатии).**

*Построение эпюр продольных сил, нормальных напряжений и перемещений сечений стержня*

### Практическое задание 1.

Для прямого ступенчатого стального стержня, испытывающего деформации растяжения-сжатия, изображенного на расчетной схеме при заданных осевых нагрузках  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$ , площадях поперечного сечения  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$  и продольных размерах  $b$ ,  $c$  и  $d$ , требуется:

1. Определить внутренние продольные силы  $N$  по участкам и построить их эпюру,
2. Вычислить величину нормальных напряжений на каждом участке, построить их эпюру по длине стержня,
3. Определить продольную деформацию отдельных участков и всего стержня в целом и построить эпюру продольных перемещений.



Дано: продольные осевые силы:  $F_1=50\text{ кН}$ ,  $F_2=40\text{ кН}$  и  $F_3=30\text{ кН}$ ;

Площади поперечного сечения участков стержня:  $A_1=400\text{мм}^2$ ,  $A_2=64\text{мм}^2$  и  $A_3=400\text{мм}^2$ ;  
Длина участков:  $b=480\text{мм}$ ,  $c=240\text{мм}$  и  $d=120\text{мм}$ .

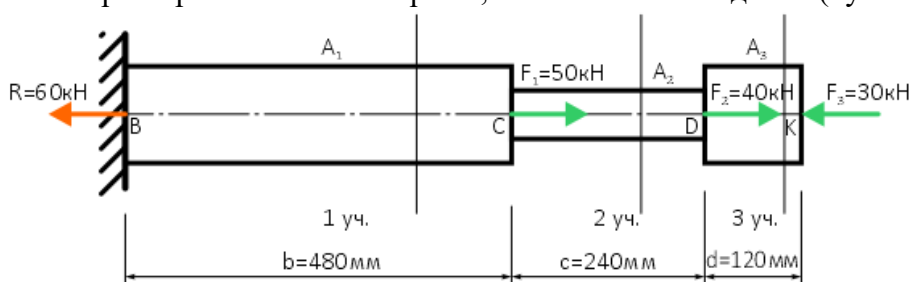
Принять: модуль продольной упругости материала стержня  $E=2\cdot 10^5\text{МПа}$

### Решение

Вычерчиваем заданную расчетную схему растяжения-сжатия в масштабе, указываем числовые значения приложенных нагрузок и продольных размеров.

Обозначаем:

- силовые участки стержня;
- площади поперечного сечения буквой  $A$  с соответствующим индексом;
- характерные сечения стержня, начиная от его заделки (буквами  $B$ ,  $C$ ,  $D$  и  $K$ ).



Определим опорную реакцию стержня в заделке, направив её произвольно, например, влево.

$$\sum F_i = F_1 + F_2 - F_3 - R = 0$$
$$R = F_1 + F_2 - F_3 = 50 + 40 - 30 = 60\text{кН}$$

Положительное значение реакции означает, что выбранное направление оказалось верным.

### Построение эпюры продольных сил $N$

Стержень имеет 3 силовых участка.

Рассчитаем величину внутренних продольных сил  $N$  по каждому участку стержня методом сечений, рассматривая его правую отсеченную часть.

По правилу знаков при растяжении и сжатии, продольные силы и нагрузки, которые стремятся растянуть рассматриваемую часть стержня, записываются положительными, а сжимающие силы со знаком «минус».

1 участок (BC)

$$N_1 = \sum_{\text{Прав}} F_i = F_1 + F_2 - F_3 = 50 + 40 - 30 = 60\text{кН}$$

(растяжение)

2 участок (CD)

$$N_2 = \sum_{\text{Прав}} F_i = F_2 - F_3 = 40 - 30 = 10\text{кН}$$

(растяжение)

3 участок (DK)

$$N_3 = \sum_{\text{Прав}} F_i = -F_3 = -30\text{кН}$$

(сжатие)

Ровно такие же значения и знаки внутренних продольных сил  $N$  можно получить, рассматривая левые от проведенного сечения части стержня

1 участок (BC)

$$N_1 = \sum_{\text{Лес}} F_i = R = 60 \text{ кН}$$

(растяжение)

2 участок (CD)

$$N_2 = \sum_{\text{Лес}} F_i = R - F_1 = 60 - 50 = 10 \text{ кН}$$

(растяжение)

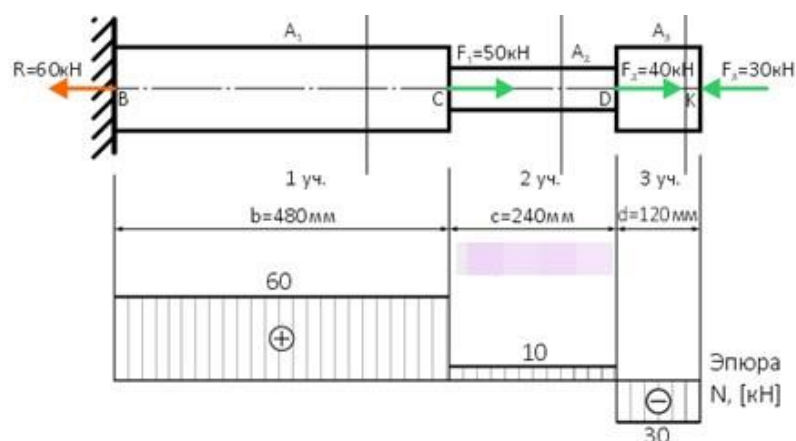
3 участок (DK)

$$N_3 = \sum_{\text{Лес}} F_i = R - F_1 - F_2 = 60 - 50 - 40 = -30 \text{ кН}$$

(сжатие)

Поэтому при расчете величины внутренних силовых факторов для каждого участка можно выбирать для рассмотрения ту часть стержня, к которой приложено меньше нагрузок (при условии, что ранее была определена реакция опоры R).

По полученным данным строим эпюру внутренних продольных сил N



По построенной эпюре видно, что участки стержня 1 и 2 растягиваются (т.к. внутренние силы N положительны), а участок 3 сжимается (продольные силы отрицательны).

Так же на эпюре видны скачки значений внутренней продольной силы в сечениях стержня, где приложены внешние силы, включая реакцию в опоре.

Эти скачки равны величине соответствующих сил.

Значит реакция в опоре и внутренние продольные силы определены верно, а эпюра построена правильно.

### **Построение эпюры нормальных напряжений**

Расчет величины нормальных напряжений по участкам стержня выполняется по формуле

$$\sigma_i = \frac{N_i}{A_i}$$

Знак нормальных напряжений зависит от знака внутренних сил N.

Рассчитаем их значения

Участок 1

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{60 \cdot 10^3}{400 \cdot 10^{-6}} = 150 \cdot 10^6 \text{ Па} = 150 \text{ МПа}$$

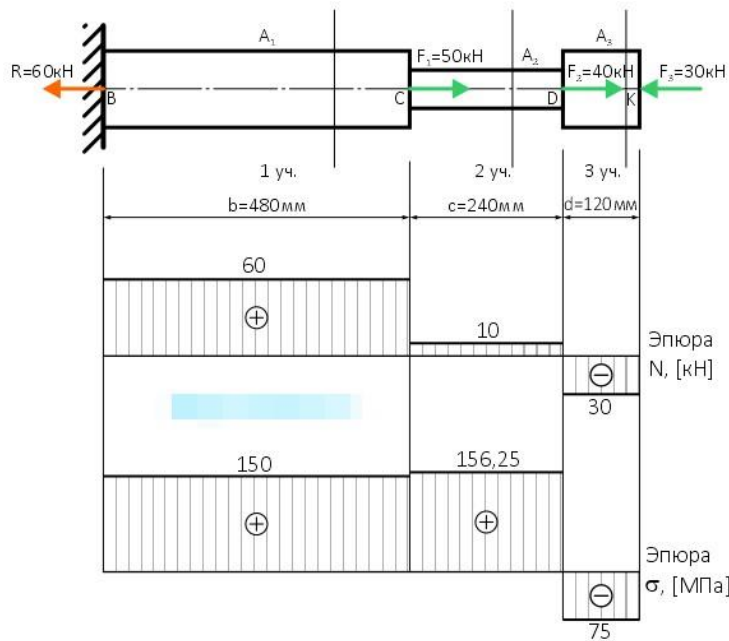
Участок 2

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = \frac{10 \cdot 10^3}{64 \cdot 10^{-6}} = 156,25 \cdot 10^6 \text{ Па} = 156,25 \text{ МПа}$$

Участок 3

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{A_3} = \frac{-30 \cdot 10^3}{400 \cdot 10^{-6}} = -75 \cdot 10^6 \text{ Па} = -75 \text{ МПа}$$

По полученным данным строим эпюру нормальных напряжений  $\sigma$



По эпюре можно проверить прочность заданного стержня, для этого все напряжения  $\sigma$  по модулю не должны превышать допустимых значений  $[\sigma]$ .

Построение эпюры продольных перемещений поперечных сечений

Расчет продольных деформаций  $\Delta l$  участков стержня выполняется по формулам

$$\Delta l_i = \frac{N_i \cdot l_i}{E \cdot A_i} = \frac{\sigma_i \cdot l_i}{E}$$

где:

$l$  – длина рассматриваемого участка;

$E$  – модуль продольной упругости материала, из которого выполнен стержень.

Участок 1

$$\Delta l_1 = \frac{\sigma_1 \cdot b}{E} = \frac{150 \cdot 10^6 \cdot 0,48}{2 \cdot 10^{11}} = 0,36 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,36 \text{ мм}$$

Участок 2

$$\Delta l_2 = \frac{\sigma_2 \cdot c}{E} = \frac{156,25 \cdot 10^6 \cdot 0,24}{2 \cdot 10^{11}} = 0,188 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,188 \text{ мм}$$

Участок 3

$$\Delta l_3 = \frac{\sigma_3 \cdot d}{E} = \frac{-75 \cdot 10^6 \cdot 0,12}{2 \cdot 10^{11}} = -0,045 \cdot 10^{-3} \text{ м} = -0,045 \text{ мм}$$

Расчет перемещений  $\delta$  характерных сечений стержня проводится согласно выражения

$$\delta_i = \delta_{i-1} + \Delta l_i$$

где

$\delta_i$  — перемещение рассматриваемого сечения;

$\delta_{i-1}$  — перемещение предыдущего сечения;

$\Delta l_i$  — изменение длины участка, расположенного между этими сечениями.

В данной задаче сечение В является неподвижным, так как находится в заделке, т.е. его перемещение равно нулю

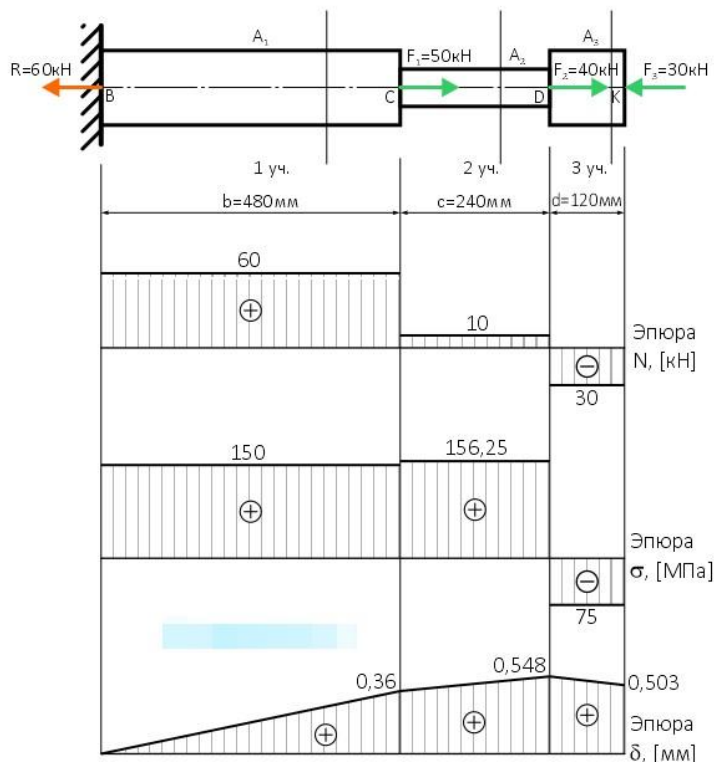
$$\delta_B = 0$$

$$\delta_C = \delta_B + \Delta l_1 = 0 + 0,36 = 0,36 \text{ мм};$$

$$\delta_D = \delta_C + \Delta l_2 = 0,36 + 0,188 = 0,548 \text{ мм};$$

$$\delta_K = \delta_D + \Delta l_3 = 0,548 + (-0,045) = 0,503 \text{ мм}.$$

По этим данным строим эпюру продольных перемещений  $\delta$  сечений стержня.



Полное изменение длины стержня можно определить, сложив с учётом знаков, деформации всех участков стержня.

$$\begin{aligned} \Delta l &= \sum \Delta l_i = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 = \\ &= 0,36 + 0,188 + (-0,045) = 0,503 \text{ мм} \end{aligned}$$

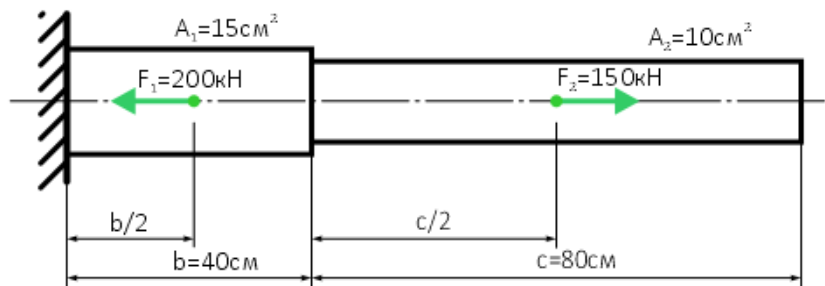
Это значение должно совпадать с перемещением крайнего правого сечения стержня.

Построение эпюр внутренних сил, напряжений и линейных перемещений бруса

Рассмотрим пример, в котором на одном из участков продольные силы и напряжения будут равны нулю, и, следовательно, соответствующие эпюры для этих частей бруса будут нулевыми.

## Практическое задание 2.

Для расположенного горизонтально ступенчатого бруса, нагруженного силами  $F_1$  и  $F_2$ , приложенными к середине участков длиной  $b$  и  $c$ , требуется построить эпюры продольной силы, напряжений и линейных перемещений точек поперечных сечений.



Исходные данные для решения задачи:

Нагрузки  $F_1=200\text{кН}$ ;  $F_2=150\text{кН}$ ;

Размеры сечения  $A_1=15\text{см}^2$ ;  $A_2=10\text{см}^2$ ;

Длина участков  $b=40\text{см}$ ;  $c=80\text{см}$ ;

Модуль Юнга:  $E=200\text{ГПа}$ ;

Помощь с решением задач

### Пример решения

При заданных нагрузках в опорном сечении бруса возникает только осевая составляющая реакции –  $R$ .

Из уравнения равновесия:

$$\sum F(z) = 0 = R - F_1 + F_2$$

откуда

$$R = F_1 - F_2 = 200 - 150 = 50\text{кН}$$

Вообще говоря, для решения поставленной задачи величину реакции  $R$  можно не определять, так как продольную силу в любом сечении можно вычислить, рассматривая только правую отсеченную часть бруса.

Расчет эпюры внутренних сил

Рассматриваемый брус имеет три силовых участка – ВС, СК и КМ.

Для определения величины  $N$  по участкам воспользуемся методом сечений.

Вычисляем значения продольной силы на участках:

1 участок ВС

$$N_{BC} = \sum_{\text{лев}} F_{iz} = -R = -50\text{кН}$$

(сжатие)

или

$$N_{BC} = \sum_{\text{прав}} F_{iz} = F_2 - F_1 = 150 - 200 = -50\text{кН}$$

(сжатие)

2 участок СК



$$N_{CK} = \sum_{\text{лев}} F_{iz} = -R + F_1 = -50 + 200 = 150 \text{ кН}$$

(растяжение)

или

$$N_{CK} = \sum_{\text{прав}} F_{iz} = F_2 = 150 \text{ кН}$$

(растяжение)

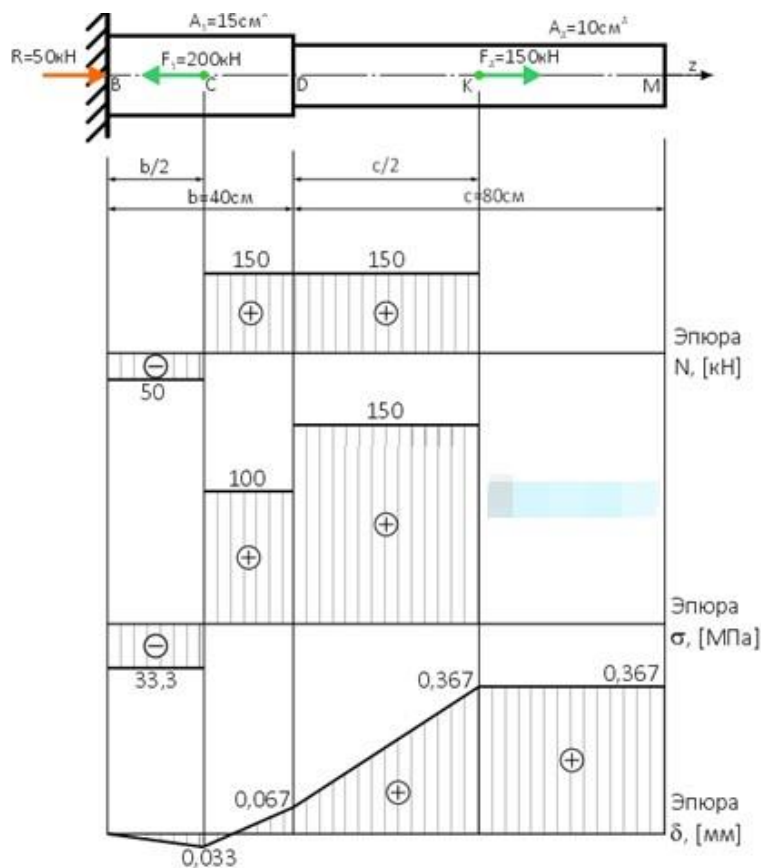
3 участок КМ

$$N_{KM} = \sum_{\text{лев}} F_{iz} = -R + F_1 - F_2 = -50 + 200 - 150 = 0$$

или

$$N_{KM} = \sum_{\text{прав}} F_{iz} = 0.$$

По полученным данным строим эпюру N бруса при его растяжении и сжатии



Штриховка эпюр обычно производится перпендикулярно к базовой линии, ордината эпюры указывает значение продольной силы в соответствующем сечении бруса. В поле эпюры, в круге проставляется её знак, а рядом с эпюрой — её обозначение и размерность.

Как видно из построенной эпюры N, в местах приложения сосредоточенных сил R, F1 и F2 (сечения B, C и K) имеют место скачки по модулю на величину этих сил.

Так же заметим, что участки бруса, где значения  $N$  положительны (часть бруса СК) — растянуты, а где величина  $N$  отрицательна (BC) — сжаты. Участок КМ в данном случае не деформируется.

Расчет значений эпюры напряжений

Характер изменения нормальных напряжений по длине бруса будет таким же, как для продольной силы. Только в месте резкого изменения формы бруса (сечение D) на эпюре  $\sigma$ , в отличие от эпюры  $N$ , возникает скачок значений из-за изменения площади сечения  $A$ .

Вычислим напряжения на участках:

$$\sigma_{BC} = \frac{-50 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^{-4}} = -33,3 \cdot 10^6 \frac{H}{M^2} = -33,3 МПа;$$

$$\sigma_{CD} = \frac{150 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^{-4}} = 100 \cdot 10^6 \frac{H}{M^2} = 100 МПа;$$

$$\sigma_{DK} = \frac{150 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^{-4}} = 150 \cdot 10^6 \frac{H}{M^2} = 150 МПа;$$

$$\sigma_{KM} = 0.$$

По рассчитанным значениям строим эпюру  $\sigma$

Расчеты для построения эпюры перемещений

Определяем абсолютные деформации отдельных участков бруса по формуле

$$\Delta l_i = \frac{\sigma_i l_i}{E_i}$$

$$\Delta l_{BC} = \frac{-33,3 \cdot 10^6 \cdot 0,2}{2 \cdot 10^{11}} = -0,033 \cdot 10^{-3} M = -0,033 мм;$$

$$\Delta l_{CD} = \frac{100 \cdot 10^6 \cdot 0,2}{2 \cdot 10^{11}} = 0,1 \cdot 10^{-3} M = 0,1 мм;$$

$$\Delta l_{DK} = \frac{150 \cdot 10^6 \cdot 0,4}{2 \cdot 10^{11}} = 0,3 \cdot 10^{-3} M = 0,3 мм;$$

$$\Delta l_{KM} = \frac{0 \cdot 0,4}{2 \cdot 10^{11}} = 0.$$

Вычисляем перемещения характерных сечений

$$\delta_B = 0;$$

$$\delta_C = \delta_B + \Delta l_{BC} = 0 + (-0,033) = -0,033 мм;$$

$$\delta_D = \delta_C + \Delta l_{CD} = -0,033 + 0,1 = 0,067 мм;$$

$$\delta_K = \delta_D + \Delta l_{DK} = 0,067 + 0,3 = 0,367 мм;$$

$$\delta_M = \delta_K + \Delta l_{KM} = 0,367 + 0 = 0,367 мм.$$

По результатам этих расчетов строим эпюру продольных перемещений

Как видно по эпюре, на участках бруса с нулевыми эпюрами продольных сил и напряжений, эпюра перемещений имеет постоянное значение.

Т.е. все точки данного участка перемещаются на одну и ту же величину.

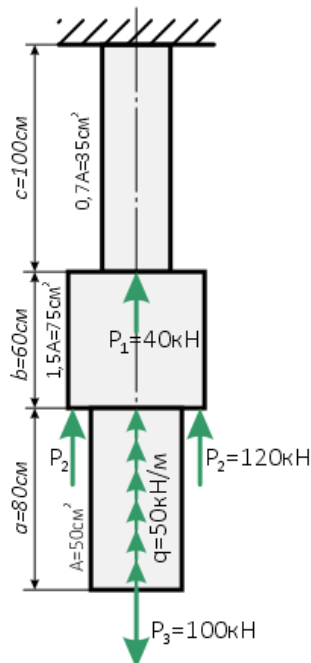
Построение эпюр при действии продольной равномерно распределенной нагрузки

В случаях, когда на одном или нескольких участках стержня действует равномерно распределенная нагрузка  $q$ , эпюры внутренних сил и напряжений на этих участках будут ограничиваться прямой наклонной линией, а эпюра перемещений — параболой.

### Практическое задание 3.

Для данного стержня, закрепленного вертикально, требуется:

- 1) построить эпюру продольных усилий –  $N$ ;
- 2) построить эпюру нормальных напряжений –  $\sigma$ ;
- 3) построить эпюру перемещений точек, лежащих на оси стержня –  $\Delta$ ;



Данные для решения задачи:

Внешние силы:  $P_1=40\text{ кН}$ ,  $P_2=120\text{ кН}$  (удвоенная сила) и  $P_3=100\text{ кН}$ ;

Продольная равномерно распределенная нагрузка  $q=50\text{ кН/м}$ ;

Базовая площадь сечения участков бруса:  $A=50\text{ см}^2$ ;

Длина участков:  $a=80\text{ см}$ ,  $b=60\text{ см}$  и  $c=100\text{ см}$ .

Принять: модуль Юнга материала бруса  $E=1\cdot 10^5\text{ МПа}$

#### Решение

Вычерчиваем заданную расчетную схему вертикального стержня в масштабе, указываем числовые значения приложенных нагрузок, площади поперечного сечения и продольные размеры.

Обозначаем силовые участки бруса цифрами 1, 2 и 3, а характерные сечения стержня, начиная от его заделки (буквами В, С, D и К).

Определим опорную реакцию стержня в заделке, направив её вниз.

Уравнение равновесия стержня

$$\sum F_i = P_1 + 2P_2 + q \cdot a - P_3 - R = 0$$

$$\begin{aligned} R &= P_1 + 2P_2 + q \cdot a - P_3 = \\ &= 40 + 2 \cdot 120 + 50 \cdot 0,8 - 100 = 220\text{ кН} \end{aligned}$$

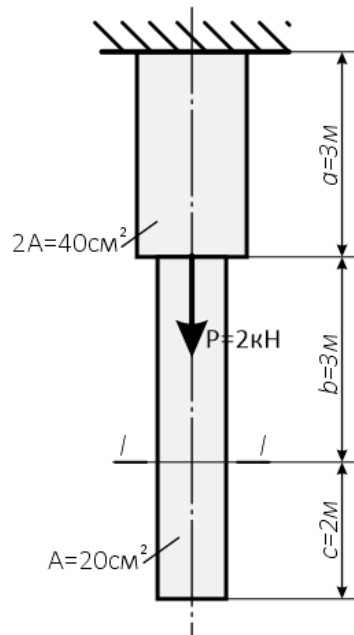
Положительное значение реакции означает, что выбранное направление оказалось верным.

Построение эпюр нормальных сил и напряжений при растяжении и сжатии с учетом собственного веса стержней

В задачах данного типа, собственный вес учитывается в виде распределенной нагрузки, с интенсивностью равной произведению удельного веса материала и площади поперечного сечения.

#### Практическое задание 4.

Стальной стержень (модуль упругости  $E=200\text{ГПа}$ ) находится под действием продольной силы  $P$  и собственного веса ( $\gamma=7,8\text{т/м}^3$ ).



Требуется построить эпюры внутренних продольных усилий  $N$  и напряжений.

Найти полное перемещение сечения I-I.

$A=20\text{см}^2$ ;  $a=3,0\text{м}$ ;  $b=3,0\text{м}$ ;  $c=2,0\text{м}$ ;  $P=2\text{кН}$ .

#### Решение задачи

Переведем собственный (удельный) вес материала  $\gamma$  из  $\text{т/м}^3$  в  $\text{Н/м}^3$

$$\gamma = 7,8 \text{ т/м}^3 = 76491 \text{ Н/м}^3 \approx 76,5 \text{ кН/м}^3$$

Расчет и построение эпюры нормальных сил

Определяем нормальные силы  $N$  по участкам стержня:

1 участок (AC)

$$0 \leq X_1 \leq c + b$$

$$N_1 = \gamma \cdot A X_1;$$

$$\text{при } X_1 = 0 \quad N_1 = 0;$$

$$\text{при } X_1 = c + b = 2 + 3 = 5 \text{ м}$$

$$N_1 = 76491 \cdot 20 \cdot 10^{-4} \cdot 5 = 765 \text{ Н};$$

2 участок (CD)

$$c + b \leq X_2 \leq c + b + a$$

$$N_2 = \gamma \cdot A(c + b) + P + \gamma \cdot 2A[X_2 - (c + b)];$$

$$\text{при } X_2 = c + b = 5 \text{ м}$$

$$N_2 = 765 + 2 \cdot 10^3 = 2765 \text{ Н};$$

$$\text{при } X_2 = c + b + a = 8 \text{ м}$$

$$N_2 = 765 + 2 \cdot 10^3 + 76491 \cdot 40 \cdot 10^{-4} \cdot 3 = 3683 \text{ Н};$$

Расчет продольных напряжений для построения их эпюры

Определяем значения нормальных напряжений  $\sigma$  по участкам:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A}$$

при  $X_1 = 0$ ,  $\sigma_1 = 0$

при  $X_1 = c + b = 5\text{ м}$ ,

$$\sigma_1 = \frac{765}{20 \cdot 10^{-4}} = 382,5 \text{ кПа (растяжение)}$$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A}$$

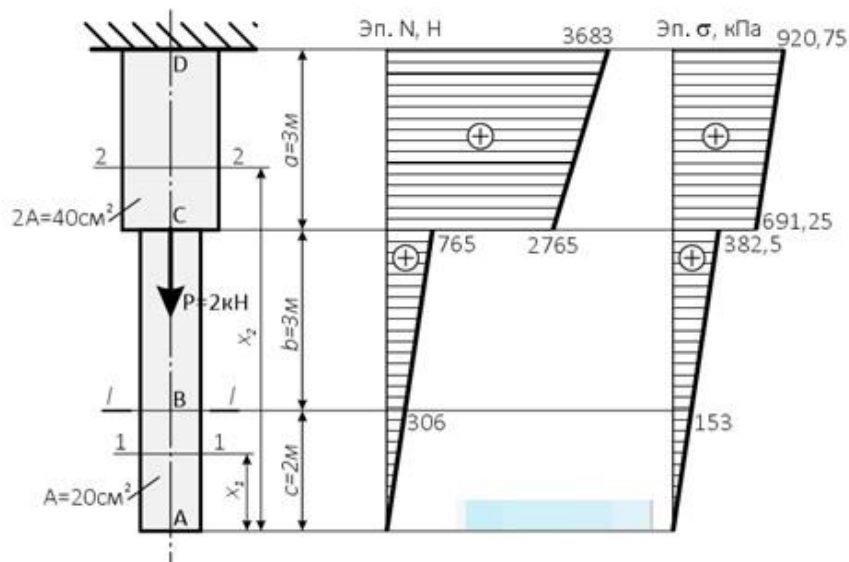
при  $X_2 = c + b = 5\text{ м}$ ,

$$\sigma_2 = \frac{2765}{40 \cdot 10^{-4}} = 691,25 \text{ кПа (растяжение)}$$

при  $X_2 = c + b + a = 8\text{ м}$ ,

$$\sigma_2 = \frac{3683}{40 \cdot 10^{-4}} = 920,75 \text{ кПа (растяжение)}$$

Строим эпюры нормальных сил и напряжений.



Рассчитаем значения нормальных сил  $N$  и напряжений  $\sigma$  в сечении I-I

$$N_{I-I} = \frac{765 \cdot 2}{5} = 306 \text{ Н};$$

$$\sigma_{I-I} = \frac{382,5 \cdot 2}{5} = 153 \text{ кПа}.$$

Определяем перемещение сечения I-I:

$$\Delta l = \sum \int \frac{N \cdot dX}{EA},$$

За начало отсчета перемещений принимаем сечение D, так как оно закреплено в жесткой заделке.

Все сечения стержня перемещаются вниз, т.к. согласно эпюры  $N$  все участки стержня растягиваются.

Перемещение сечения C:

$$\Delta l_{DC} = \int_0^a \frac{N_z dX}{EA} = \frac{(\gamma \cdot A(c+b) + P)a}{2EA} + \frac{\gamma \cdot 2AX^2}{4EA} \Big|_0^a =$$

$$= \frac{(76491 \cdot 20 \cdot 10^{-4} \cdot (2+3) + 2 \cdot 10^3) \cdot 3}{2 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} + \frac{76491 \cdot 2 \cdot 20 \cdot 10^{-4} \cdot 3^2}{4 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} =$$

$$= 12,1 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0,0121 \text{ мм}$$

Перемещение сечения I-I является алгебраической суммой перемещения сечения C ( $\Delta l_{DC}$ ) и удлинения части стержня СВ длиной b.

$$\Delta l_{DB} = \Delta l_{DC} + \Delta l_{BC} = \Delta l_{DC} + \frac{(\gamma \cdot Ac)b}{EA} + \frac{\gamma \cdot AX^2}{EA} \Big|_0^b =$$

$$= 12,1 \cdot 10^{-6} + \frac{76491 \cdot 20 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 3}{200 \cdot 10^9 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} + \frac{76491 \cdot 20 \cdot 10^{-4} \cdot 3^2}{200 \cdot 10^9 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} =$$

$$= 16,1 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0,0161 \text{ мм}$$

Таким образом, сечение I-I переместилось вниз на 0,0161 мм.

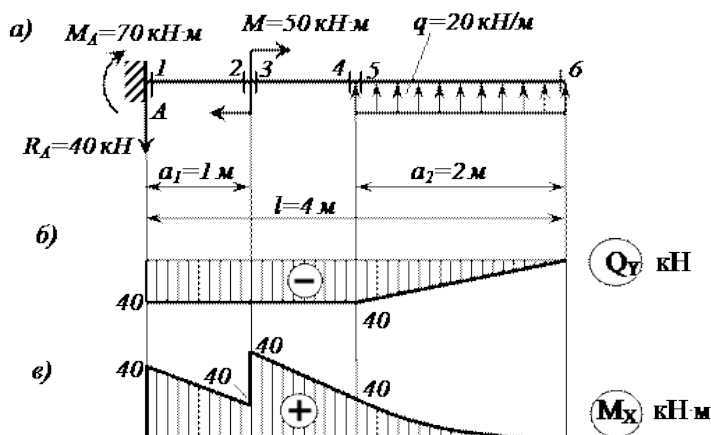
#### Тема 2.4.1. Поперечный изгиб прямого бруса. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов по длине балки.

##### Практическое задание.

##### Условие примера задачи на прямой поперечный изгиб

Для консольной балки, нагруженной распределенной нагрузкой интенсивностью  $q = 20$  кН/м и сосредоточенным моментом  $M = 50$  кН·м (рис. 3.12), требуется: построить эпюры перерезывающих сил  $Q_z$  и изгибающих моментов  $M_z$ , подобрать балку круглого поперечного сечения при допуске нормальном напряжении  $[\sigma] = 16$  кН/см<sup>2</sup> и проверить прочность балки по касательным напряжениям при допуске касательном напряжении  $[\tau] = 8$  кН/см<sup>2</sup>. Размеры балки  $a_1 = 1$  м;  $a_2 = 2$  м;  $l = 4$  м.

##### Расчетная схема для задачи на прямой поперечный изгиб



## Решение задачи

### Определяем опорные реакции

Горизонтальная реакция в заделке  $H_A$  равна нулю, поскольку внешние нагрузки в направлении оси  $z$  на балку не действуют.

Выбираем направления остальных реактивных усилий, возникающих в заделке: вертикальную реакцию  $R_A$  направим, например, вниз, а момент  $M_A$  – по ходу часовой стрелки. Их значения определяем из уравнений статики:

$$\sum M_A = 0; \quad \sum Y = 0.$$

Составляя эти уравнения, считаем момент положительным при вращении против хода часовой стрелки, а проекцию силы положительной, если ее направление совпадает с положительным направлением оси  $y$ .

Из первого уравнения находим момент в заделке  $M_A$ :

$$\sum M_A = -M_A - M + qa_2 \left( l - \frac{a_2}{2} \right) = 0;$$

$$M_A = -M + qa_2 \left( l - \frac{a_2}{2} \right) = -50 + 20 \cdot 2 \cdot \left( 4 - \frac{2}{2} \right) = 70 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Из второго уравнения – вертикальную реакцию  $R_A$ :

$$\sum Y = -R_A + qa_2 = 0; \quad R_A = qa_2 = 20 \cdot 2 = 40 \text{ кН}.$$

Полученные нами положительные значения для момента  $M_A$  и вертикальной реакции  $R_A$  в заделке свидетельствуют о том, что мы угадали их направления.

### Строим эпюры перерезывающих сил $Q_x$ и изгибающих моментов $M_x$

В соответствии с характером закрепления и нагружения балки, разбиваем ее длину на два участка. По границам каждого из этих участков наметим четыре поперечных сечения (см. рис. 3.12), в которых мы и будем методом сечений (РОЗУ) вычислять значения перерезывающих сил и изгибающих моментов.

**Сечение 1.** Отбросим мысленно правую часть балки. Заменим ее действие на оставшуюся левую часть перерезывающей силой  $Q_{N1}$  и изгибающим моментом  $M_{N1}$ . Для удобства вычисления их значений закроем отброшенную нами правую часть балки листком бумаги, совмещая левый край листка с рассматриваемым сечением.

Напомним, что перерезывающая сила, возникающая в любом поперечном сечении, должна уравновесить все внешние силы (активные и реактивные), которые действуют на рассматриваемую (то есть видимую) нами часть балки. Поэтому перерезывающая сила должна быть равна алгебраической сумме всех сил, которые мы видим.

Приведем и правило знаков для перерезывающей силы: внешняя сила, действующая на рассматриваемую часть балки и стремящаяся «повернуть» эту часть относительно сечения по ходу часовой стрелки, вызывает в сечении положительную перерезывающую силу. Такая внешняя сила входит в алгебраическую сумму для определения  $Q_x$  со знаком «плюс».

В нашем случае мы видим только реакцию опоры  $R_A$ , которая вращает видимую нами часть балки относительно первого сечения (относительно края листка бумаги) против хода часовой стрелки. Поэтому

$$Q_{N1} = -R_A = -40 \text{ кН}.$$

Изгибающий момент в любом сечении должен уравновесить момент, создаваемый видимыми нами внешними усилиями, относительно рассматриваемого сечения. Следовательно, он равен алгебраической сумме моментов всех усилий, которые действуют на рассматриваемую нами часть балки, относительно рассматриваемого сечения (иными словами, относительно края листка бумаги). При этом внешняя нагрузка, изгибающая рассматриваемую часть балки выпуклостью вниз, вызывает в сечении положительный изгибающий момент. И момент, создаваемый такой нагрузкой, входит в алгебраическую сумму для определения  $M_x$  со знаком «плюс».

Мы видим два усилия: реакцию  $R_A$  и момент в заделке  $M_A$ . Однако у силы  $R_A$  плечо относительно сечения 1 равно нулю. Поэтому

$$M_{x_1} = +M_A = 70 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Знак «плюс» нами взят потому, что реактивный момент  $M_A$  изгибает видимую нами часть балки выпуклостью вниз.

Напомним, что при определении знака изгибающего момента мы мысленно освобождаем видимую нами часть балки от всех фактических опорных закреплений и представляем ее как бы защемленной в рассматриваемом сечении (то есть левый край листка бумаги нами мысленно представляется жесткой заделкой).

**Сечение 2.** По-прежнему будем закрывать листком бумаги всю правую часть балки. Теперь, в отличие от первого сечения, у силы  $R_A$  появилось плечо:  $a_1 = 1$  м. Поэтому

$$Q_{x_2} = -R_A = -40 \text{ кН}; \quad M_{x_2} = +M_A - R_A a_1 = +70 - 40 \cdot 1 = 30 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

**Сечение 3.** Закрывая правую часть балки, найдем

$$Q_{x_3} = -R_A = -40 \text{ кН};$$

$$M_{x_3} = +M_A - R_A a_1 + M = +70 - 40 \cdot 1 + 50 = 80 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

**Сечение 4.** Закроем листком левую часть балки. Тогда

$$Q_{x_4} = -q a_2 = -20 \cdot 2 = -40 \text{ кН};$$

$$M_{x_4} = +q a_2 \frac{a_2}{2} = 20 \cdot 2 \cdot \frac{2}{2} = 40 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

**Сечение 5.** По-прежнему закроем левую часть балки. Будем иметь

$$Q_{x_5} = -q a_2 = -20 \cdot 2 = -40 \text{ кН};$$

$$M_{x_5} = +q a_2 \frac{a_2}{2} = 20 \cdot 2 \cdot \frac{2}{2} = 40 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

**Сечение 6.** Опять закроем левую часть балки. Получим

$$Q_{x_6} = M_{x_6} = 0.$$

По найденным значениям строим эпюры перерезывающих сил  $Q_x$  (рис. 3.12, б) и изгибающих моментов  $M_x$  (рис. 3.12, в).

Под незагруженными участками эпюра перерезывающих сил идет параллельно оси балки, а под распределенной нагрузкой  $q$  – по наклонной прямой вверх. Под опорной реакцией  $R_A$  на эпюре  $Q_x$  имеется скачок вниз на величину этой реакции, то есть на 40 кН.



На эпюре изгибающих моментов мы видим излом под опорной реакцией  $R_A$ . Угол излома направлен навстречу реакции опоры. Под распределенной нагрузкой  $q$  эпюра изменяется по квадратичной параболе, выпуклость которой направлена навстречу нагрузке. В сечении 6 на эпюре  $M_x$  – экстремум, поскольку эпюра перерезывающей силы в этом месте проходит здесь через нулевое значение.

**Определяем требуемый диаметр поперечного сечения балки**

Условие прочности по нормальным напряжениям имеет вид:

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

где  $W_x$  – момент сопротивления балки при изгибе. Для балки круглого поперечного сечения он равен:

$$W_x = \frac{\pi d^3}{32} \approx 0,1d^3$$

Наибольший по абсолютному значению изгибающий момент возникает в третьем сечении балки:  $M_{x\max} = |M_{x3}| = 8000$  кН·см.

Тогда требуемый диаметр балки определяется по формуле

$$d_{\text{треб}} \geq \sqrt[3]{\frac{|M_{x3}|}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{8000}{0,1 \cdot 16}} = 17,1 \text{ см.}$$

Принимаем  $d = 170$  мм. Тогда

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{x\max}}{W_x} = \frac{8000}{\frac{\pi \cdot 17^3}{32}} = 16,6 \text{ кН/см}^2 > [\sigma] = 16 \text{ кН/см}^2.$$

«Перенапряжение» составляет

$$\frac{16,6 - 16}{16} \cdot 100\% = 3,75\% < 5\%$$

что допускается.

**Проверяем прочность балки по наибольшим касательным напряжениям**

Наибольшие касательные напряжения, возникающие в поперечном сечении балки круглого сечения, вычисляются по формуле

$$\tau_{\max} = \frac{4Q_{F\max}}{3F},$$

где  $F = \pi d^2/4$  – площадь поперечного сечения.

Согласно эпюре  $Q_F$ , наибольшее по алгебраической величине значение перерезывающей силы равно  $Q_{F\max} = |Q_{F1}| = 40$  кН. Тогда

$$\tau_{\max} = \frac{4Q_{F\max}}{3F} = \frac{4 \cdot 40}{3 \cdot \frac{\pi \cdot 17^2}{4}} = 0,235 \text{ кН/см}^2 < [\tau] = 8 \text{ кН/см}^2,$$

то есть условие прочности и по касательным напряжениям выполняется, причем, с большим запасом.

### **Вопросы для устного опроса к разделу 1. Теоретическая механика.**

1. Назвать разделы теоретической механики и указать, какие вопросы в них изучают.
2. Дать определение материальной точки и абсолютно твердого тела. В чем общность и в чем их различие.
3. Дать определение силы, системы сил. Какие системы сил называют статически эквивалентными?
4. Что такое равнодействующая система сил, уравнивающая сила?
5. Сформулировать аксиомы статики.
6. Какие тела называются свободными, а какие не свободными?
7. Что называется связью? Что такое реакция связи?
8. Перечислите виды связей и укажите направление соответствующих им реакций.
9. Геометрический способ нахождения равнодействующей плоской системы сходящихся сил.
10. Что называется проекцией силы на ось? В каком случае проекция силы на ось равна нулю?
11. Определение равнодействующей системы сходящихся сил методом проекций.
12. Сформулировать аналитическое условие равновесия системы сходящихся сил.
13. Что такое пара сил, момент пары сил, плечо пары сил, знак момента? Свойства пары сил.
14. Условия равновесия тела и уравнения равновесия.
15. Момент силы относительно точки. Плечо силы, знак момента. Условие равенства нулю.

### **Вопросы для устного опроса к разделу 2. Сопротивление материалов.**

1. Дайте определения прочности и жесткости конструкции.
2. Сформулируйте допущения о свойствах материалов в сопротивлении материалов.
3. Какие силы называют внешними и внутренними?
4. Перечислите виды внутренних силовых факторов.
5. В чем заключается сущность метода сечений?
6. Что такое напряжение в деформируемом теле?
7. Какие напряжения называются нормальными, касательными, полными?
8. Растяжение, сжатие: какие возникают внутренние силовые факторы в сечениях? Сформулируйте для них правило знаков.
9. Построение эпюр продольных сил и нормальных напряжений
10. Что такое абсолютная и относительная продольная (поперечная) деформации?
11. Как определяется напряжение при растяжении и сжатии?
12. Диаграмма растяжения малоуглеродистой стали, ее характерные участки
13. Дайте определения геометрическим характеристикам плоских сечений: статический момент сечения относительно оси, осевые, полярные и центробежные моменты инерции сечения, укажите их размерность.
14. Как определяют крутящий момент в сечении вала? Сформулируйте правило знаков для крутящих моментов.
15. Что такое чистый и поперечный изгибы?

### 3. КОМПЛЕКТ ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Промежуточная аттестация: экзамен\*. Экзамен проводится преподавателем в виде ответов на вопросы (тестирования).

Максимальное количество вопросов в одном варианте теста 20 (в случайном порядке).

К ПА допускаются студенты, выполнившие программу по учебной дисциплине в полном объеме.

\*По решению преподавателя не сдавать промежуточную аттестацию (получить «автомат») имеют право обучающиеся, выполнившие программу по учебной дисциплине в полном объеме и в установленные сроки, имеющие среднее арифметическую всех оценок не менее 4,7.

#### Критерии выставления оценки ПА:

Оценка (ПА)	Оценки текущего контроля	Оценка тестирования
5	Все работы сданы среднее арифметическое всех оценок не менее 4,6 балла	«4» или «5»
4	Все работы сданы среднее арифметическое всех оценок от 3,6 до 4,6 балла	«3», «4» и «5»
3	Не сданы 2 работы среднее арифметическое всех оценок от 2,6 до 3,6 балла	«3»
2	Не сданы более 2-х работ среднее арифметическое всех оценок менее 2,6 балла	«2»

#### Критерии оценивания тестирования

Оценка	Количество правильных ответов на вопросы
5	17 -20
4	13 -16
3	10-12
2	0-9

#### Банк тестовых заданий для проведения промежуточной аттестации

**Задание 1.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Что изучает техническая механика?

- А) Движение жидкости и газов
- Б) Законы равновесия и движения твердых тел, а также принципы расчета на прочность, жесткость и устойчивость элементов конструкций
- В) Взаимодействие элементарных частиц
- Г) Процессы передачи и преобразования энергии в тепловых машинах

**Задание 2.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Какого способа не существует для задания движения точки (тела)?

- А) Векторного

- Б) Естественного
- В) Тригонометрического
- Г) Координатного

**Задание 3.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Что такое прочность?

- А) Способность конструкции выдерживать заданную нагрузку, не разрушаясь и без появления остаточных деформаций.
- Б) Способность конструкции сопротивляться упругим деформациям.
- В) Способность конструкции сохранять первоначальную форму упругого равновесия.
- Г) Способность конструкции не накапливать остаточные деформации.

**Задание 4.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Как называется брус, работающий на изгиб?

- А) Массив
- Б) Пластина
- В) Консоль
- Г) Опора

**Задание 5.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Какого вида изгиба не существует?

- А) Поперечного
- Б) Косого
- В) Чистого
- Г) Нелинейного

**Задание 6.** Для наиболее наглядного представления о характере изменения внутренних силовых факторов при нагрузках на брус принято строить...

- А) Графики
- Б) Эпюры
- В) Диаграммы
- Г) Фигуры

**Задание 7.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Что называется силой?

- А) Скорость, с которой движется тело
- Б) Мера взаимосвязи между телами
- В) Мера расстояния между двумя точками
- Г) Мера воздействия одного тела на другое

**Задание 8.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Назовите единицу измерения силы?

- А) Паскаль
- Б) Ньютон
- В) Герц
- Г) Джоуль

**Задание 9.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Какой прибор служит для измерения силы?

- А) Барометр
- Б) Гироскоп
- В) Динамометр
- Г) Термометр

**Задание 10.** Выберите правильный ответ, закончите предложение:  
Равнодействующей двух сил, приложенных в одной точке будет...

- А) Сторона параллелограмма
- Б) Диагональ параллелограмма
- В) Высота треугольника
- Г) Медиана

**Задание 11.** Выберите правильный ответ на место пропуска и дайте обоснование.  
Допускаемое напряжение это \_\_\_\_\_ напряжение, при котором материал должен нормально работать. Выберите ответ и обоснуйте его.

- А) среднее
- Б) минимальное
- В) небольшое
- Г) максимальное

**Задание 12.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Как называется тело, у которого одно измерение размера много меньше двух других?

- А) Брус
- Б) Массив
- В) Тонкое
- Г) Пластина

**Задание 13.** Выберите правильный ответ, закончите предложение. Плоская система сходящихся сил находится в равновесии, если алгебраические суммы проекций всех сил на оси ОХ и ОУ равны...

- А) нулю
- Б) единице
- В) минус единице
- Г) имеют переменное значение

**Задание 14.** Выберите правильный ответ, закончите предложение. Систему из двух параллельных сил равных по значению и противоположно направленных называют...

- А) моментом сил
- Б) парой сил
- В) удвоенными силами
- Г) направленными силами

**Задание 15.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Может ли быть момент силы отрицательным числом?

- А) Может
- Б) Всегда положителен

- В) Не может
- Г) Нет, т.к. равен нулю

**Задание 16.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. В каких случаях проекция вектора равна по значению самому вектору?

- А) Если вектор перпендикулярен оси
- Б) Если вектор расположен под углом к оси
- В) Если вектор параллелен оси
- Г) Если вектор и ось составляют острый угол

**Задание 17.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Что такое материальная точка?

- А) Тело, размерами которого в данной задаче можно пренебречь
- Б) Тело, состояние которого учитывается в данной задаче
- В) Физическое тело, движущееся равномерно и прямолинейно
- Г) Тело, равновесие которого рассматривается в данной задаче

**Задание 18.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Что понимают под равновесием?

- А) Состояние равномерного прямолинейного движения
- Б) Состояние абсолютного покоя или состояние равномерного прямолинейного движения
- В) Состояние абсолютного покоя
- Г) Состояние покоя

**Задание 19.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Что изучает теоретическая механика?

- А) Основные законы механического движения физических тел
- Б) Законы равновесия физических тел
- В) Законы движения тел
- Г) Любые движения тел

**Задание 20.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Что изучает статика?

- А) Состояние равновесия тел в покое
- Б) Состояние покоя тел
- В) Равномерное прямолинейное движение
- Г) Условия равновесия физических тел под действием приложенных сил

**Задание 21.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Что изучает кинематика?

- А) Состояние покоя
- Б) Причины возникновения механического движения
- В) Механическое движение тел без учета причин, вызывающих эти движения
- Г) Все виды движения физических тел

**Задание 22.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Что изучает динамика?

- А) Основные законы механического движения физических тел
- Б) Движения материальной точки без учета причин, вызывающих движение
- В) Состояние равновесия тела
- Г) Различные виды механического движения

**Задание 23.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Что такое абсолютно твердое тело?

- А) Физическое тело, равновесие которого рассматривается в задаче
- Б) Тело, находящееся в равновесии под действием приложенных сил
- В) Физическое тело, в котором расстояние между двумя его любыми точками всегда остается неизменным
- Г) Тело, движение которого рассматривается в задаче

**Задание 24.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Что называется системой сил?

- А) Совокупность нескольких сил, приложенных к одному телу
- Б) Несколько сил, приложенных к разным телам
- В) Силы, расположенные в одной плоскости
- Г) Силы, расположенные и действующие в разных плоскостях

**Задание 25.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Что такое пара сил?

- А) Это две силы одинаковой величины, направленные в одну сторону
- Б) Это две равные по величине силы, направленные в противоположные стороны и приложенные к одному телу
- В) Это две силы одинаковой величины, действующих на разные тела
- Г) Это одна сила, действующая на тело

**Задание 26.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Какое из следующих утверждений верно описывает момент пары сил и её влияние на тело?

- А) Момент пары сил всегда равен нулю, если силы равны.
- Б) Момент пары сил определяется произведением величины одной из сил на расстояние между их приложениями и всегда направлен в сторону большей силы.
- В) Пара сил вызывает вращение тела вокруг оси, и её момент равен произведению сил на плечо, разделённое на два.
- Г) Момент пары сил является величиной, которая зависит только от расстояния между силами и их направлений.

**Задание 27.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Какие из следующих утверждений верны о моменте силы относительно точки?

- А) Момент силы зависит от величины силы и расстояния до точки.
- Б) Момент силы всегда равен нулю, если сила направлена вверх.
- В) Момент силы может быть равен нулю, если сила приложена в точке, относительно которой мы его вычисляем.
- Г) Знак момента силы зависит от направления вращения, которое вызывает эта сила.

**Задание 28.** Прочитайте вопрос и выберите все верные ответы. Какие из следующих утверждений верны об упругих и пластических деформациях?

- А) Упругие деформации исчезают после снятия нагрузки.
- Б) Пластические деформации всегда приводят к разрушению материала.
- В) Упругие деформации происходят при небольших нагрузках.
- Г) Пластические деформации остаются даже после снятия нагрузки.

**Задание 29.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Какую из следующих категорий нагрузок можно отнести к статическим нагрузкам?

- А) Ударные нагрузки от падения предметов.
- Б) Нагрузки от собственного веса конструкции.
- В) Ветер, действующий на здание.
- Г) Сейсмические нагрузки от землетрясений.

**Задание 30.** Прочитайте вопрос и выберите все верные ответы. Какие из следующих утверждений верны о классификации нагрузок в сопротивлении материалов?

- А) Нагрузки могут быть статическими и динамическими.
- Б) Все нагрузки всегда приводят к разрушению материала.
- В) Нагрузки могут быть равномерно распределенными и сосредоточенными.
- Г) Нагрузки прикладываются только к твердым телам.

**Задание 31.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Какое из следующих утверждений верно о растяжении и сжатии в материалах?

- А) Растяжение вызывает увеличение длины материала, а сжатие — уменьшение длины.
- Б) Растяжение всегда приводит к разрушению материала.
- В) Сжатие не влияет на форму материала.
- Г) Растяжение и сжатие — это одно и то же.

**Задание 32.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Какое из следующих определений верно для продольной деформации?

- А) Это изменение формы материала в результате внешнего давления.
- Б) Это изменение длины материала вдоль направления приложенной силы.
- В) Это изменение объема материала при нагревании.
- Г) Это изменение цвета материала при воздействии света.

**Задание 33.** Прочитайте вопрос и выберите правильный ответ. Какое из следующих определений верно для поперечного изгиба бруса?

- А) Это изменение длины бруса вдоль его оси.
- Б) Это деформация бруса, вызванная приложением нагрузки, которая приводит к его изгибу.
- В) Это изменение объема бруса при нагревании.
- Г) Это процесс разрушения бруса при сильном ударе.

**Задание 34.** Установите соответствие между терминами и их определениями, связанными с поперечным изгибом прямого бруса:

1. Изгиб
2. Нагрузка



3. Момент изгиба

4. Сопротивление изгибу

А) Сила, приложенная к брусу, которая вызывает его деформацию.

Б) Деформация бруса, вызванная приложением нагрузки, которая приводит к изгибу.

В) Величина, определяющая способность бруса противостоять изгибу.

Г) Произведение силы на плечо, определяющее степень изгиба бруса.

**Задание 35.** Прочитайте вопрос и дайте развернутый ответ. Что такое уравнивающая сила?