

КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЧИНСКИЙ ФИЛИАЛ

**Ю. Н. Макеева**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА»**

Учебно-методическое пособие

Ачинск 2019

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
АЧИНСКИЙ ФИЛИАЛ

**Ю.Н. Макеева**

***МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА»***

Учебно-методическое пособие

Ачинск 2019

ДК 621

М 156

***Рецензенты:***

**Селиванов Н.И.** – доктор технических наук, профессор кафедры тракторы и автомобили ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»;

**Фомина Л.Ю.** – кандидат педагогических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и городских сооружений Инженерно-строительного института СФУ.

***Автор:***

**Макеева Ю.Н.** – кандидат технических наук, доцент кафедры агроинженерии Ачинского филиала ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

М 156 **Макеева Ю.Н.**

**Методические рекомендации по выполнению контрольной работы по дисциплине «Техническая механика»:** учебно-методическое пособие / Ю.Н. Макеева; Краснояр. гос. аграр. ун-т. Ачинский ф-л. – Ачинск, 2019. –133 с.

Представлены общие требования, структура и содержание дисциплины «Техническая механика», изложены методические указания по выполнению контрольной работы, формирующей профессиональные компетенции и практические навыки по сбору и анализу исходных данных для расчета и проектирования новой техники. Приведено решение типовых задач.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия (профиль Электрооборудование и электротехнологии)

© Макеева Н.И., 2019 г.

© Ачинский филиал ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ.....	6
1.1 Требования к дисциплине.....	6
1.2 Структура и содержание дисциплины.....	7
1.3 Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины .....	17
2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ .....	20
2.1 Теоретическая механика.....	20
2.1.1 Основные понятия и аксиомы статики .....	20
2.1.2 Связи и их реакции .....	23
2.1.3 Плоская система сходящихся сил .....	28
2.1.4 Краткие методические указания по самостоятельному изучению раздела «Теоретическая механика» .....	31
2.1.5 Пример решения задач .....	33
2.2 Сопротивление материалов .....	38
2.2.1 Общие сведения по сопротивлению материалов.....	38
2.2.2 Расчет соединений .....	43
2.2.3 Краткие методические указания по самостоятельному изучению раздела «Сопротивление материалов» .....	47
2.2.4 Примеры решения задач.....	50
3 ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ.....	64
4 ОЦЕНКА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....	72
4.1 Требования по оформлению контрольной работы .....	72
4.2 Критерии оценивания контрольной работы .....	73
4.3 Примерный перечень вопросов к зачету .....	74
4.4 Критерии оценивания зачета .....	77
4.5 Банк тестовых заданий .....	78
4.5.1 Теоретическая механика .....	78
4.5.2 Сопротивление материалов .....	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	129
СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	130
ЛИТЕРАТУРА.....	132

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие народного хозяйства предусматривает развитие науки и техники, предъявляя высокие требования к качеству инженерных кадров. Специалист, работающий в области электрификации сельского хозяйства должен быть знаком с принципами и особенностями работы машин и механизмов, уметь проводить необходимые расчеты, связанные с определением основных механических параметров машин, иметь необходимые навыки в основах проектирования элементов и отдельных узлов машин и механизмов.

Учебная программа дисциплины «Техническая механика» предусматривает выполнение контрольной работы. Основной задачей контрольной работы является закрепление, углубление и обобщение знаний, полученных студентами во время изучения теоретического курса, а также применение полученных знаний при решении конкретных инженерных задач. Кроме того, в процессе выполнения контрольной работы студенты приобретают навыки пользования справочной литературой, ГОСТами, таблицами, монограммами и типовыми проектами.

Учебно-методические указания разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) 35.03.06 Агроинженерия.

Изучать курс технической механики необходимо в строгом порядке, предусмотренном программой. Это обеспечит систематичность получаемых знаний и логическую связь между различными разделами и темами предмета.

Изучение учебного материала должно предшествовать выполнению контрольной работы. Следует придерживаться такой последовательности изучения материала: ознакомиться с содержанием программы и подобрать рекомендуемую учебную литературу; изучить материал каждой темы задания, разобраться в основных понятиях, определениях, законах, правилах, следствиях и их логической взаимосвязи.

Содержание методических указаний не предусматривает конкретные ссылки на страницы конкретной литературы. Студент-заочник самостоятельно выполняет поиск необходимого материала для решения задач в рекомендуемой литературе.

После того, как материал задания изучен, можно приступить к выполнению контрольной работы. Задачи контрольной работы даны в последовательности тем программы и поэтому должны решаться постепенно, по мере изучения материала.

Непонимание и трудности усвоения отдельных вопросов механики объясняются тем, что студенты, как правило, плохо подготовлены по математике и физике.

Что делать студенту, которому трудно дается решение задач и понимание различных разделов курса? Во-первых, ему надо вернуться к ранее пройденному и вновь прочитать соответствующие места в пособии, подробно разобрать предлагаемый пример решения задачи. Во-вторых, обратиться к учебникам, хотя бы к тем, которые рекомендованы в предлагаемом списке литературы.

# 1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

## 1.1 Требования к дисциплине

### *Внешние и внутренние требования*

Дисциплина «Техническая механика» включена в ОПОП, в вариативную часть Блока 1 Дисциплины (модули).

Реализация в дисциплине «Техническая механика» требований ФГОС ВО, ОПОП ВО и Учебного плана по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия (профиль Электрооборудование и электротехнологии) должна формировать следующие компетенции:

- способностью осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования (ПК-4);
- готовностью к участию в проектировании новой техники и технологии (ПК-7).

### *Место дисциплины в учебном процессе*

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Техническая механика» являются «Высшая математика», «Физика».

Дисциплина «Техническая механика» является основополагающим для изучения следующих дисциплин: «Гидравлика», «Теплотехника».

Контроль знаний студентов проводится в форме текущей и промежуточной аттестации.

Целью дисциплины «Техническая механика» является обеспечение студентов знаниями общих методов исследования и проектирования схем механизмов, необходимых для создания машин, приборов, автоматических устройств и комплексов, отвечающих современным требованиям эффективности, точности, надежности и экономичности.

В результате изучения дисциплины студент должен:

**Знать:**

- основные законы, понятия, теоремы механики и вытекающие из них методы решений задач;

- методы изучения равновесия твердых тел и механических систем;

- способы изучения движения материальной точки, твердого тела и механической системы;

- общие положения и принципы расчетов на прочность, жесткость и устойчивость элементов конструкций;

**Уметь:**

- применять полученные знания при решении практических инженерных задач;

- выбирать алгоритм решения;

- проводить анализ полученных результатов;

**Владеть:**

- методами силового и кинематического анализа механических систем;

- необходимыми приемами решения технических противоречий;

- принципами аналитической механики;

- алгоритмом решения инженерных задач;

- принципами выбора оптимальных конструктивных решений.

## 1.2 Структура и содержание дисциплины

Таблица 1.1 – Тематический план

№	Раздел дисциплины	Всего часов	В том числе			Формы контроля
			лекции	ЛЗ/ЛЗ/С	СРС	
1	Теоретическая механика	44	2	2	40	Зачет, контрольная работа
2	Сопротивление материалов	50	2	4	44	Зачет, контрольная работа
3	Теория механизмов и машин	48	2	4	42	Экзамен, КР
4	Детали машин	51	2	4	45	Экзамен, КР

Таблица 1.2 – Трудоемкость модулей и модульных единиц дисциплины

Наименование модулей и модульных единиц дисциплины	Всего часов на модуль	Контактная работа		Внеаудиторная работа (СРС)
		Л	ЛЗ/ПЗ/С	
<b>Модуль 1 Теоретическая механика</b>	<b>44</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>40</b>
Модульная единица 1.1 Статика	14,5	0,5	1	13
Модульная единица 1.2 Кинематика	14,5	0,5	1	13
Модульная единица 1.3 Динамика	15	1	-	14
<b>Модуль 2 Сопротивление материалов</b>	<b>50</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>44</b>
Модульная единица 2.1 Общие сведения по сопротивлению материалов	4,25	0,25	-	4
Модульная единица 2.2 Растяжение и сжатие	9,25	0,25	1	8
Модульная единица 2.3 Сдвиг и кручение	9,35	0,35	1	8
Модульная единица 2.4 Моменты инерции площадей	9,35	0,35	1	8
Модульная единица 2.5 Кручение	9,4	0,4	1	8
Модульная единица 2.6 Поперечный изгиб	8,4	0,4	-	8
<b>Модуль 3 Теория механизмов и машин</b>	<b>48</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>42</b>
Модульная единица 3.1 Введение	2,1	0,2		4
Модульная единица 3.2 Основные понятия ТММ.	2,1	0,2		5
Модульная единица 3.3 Кинематические пары. Кинематические цепи	7,1	0,2	2	6
Модульная единица 3.4 Структурный анализ механизмов	6,1	0,2	-	7
Модульная единица 3.5 Структурные группы звеньев. Структурный синтез	6,2	0,4	-	8
Модульная единица 3.6 Основные понятия кинематики механизмов	2,2	0,4		4
Модульная единица 3.7	8,2	0,4	2	8

Наименование модулей и модульных единиц дисциплины	Всего часов на модуль	Контактная работа		Внеаудиторная работа (СРС)
		Л	ЛЗ/ПЗ/С	
Кинематическое исследование методов (методом планов)				
<b>Модуль 4. Детали машин и основы конструирования</b>	<b>51</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>45</b>
<b>Модульная единица 4.1</b> Основы проектирования деталей машин	5,2	0,2	-	5
<b>Модульная единица 4.2</b> Соединения деталей машин	10,3	0,3	-	10
<b>Модульная единица 4.3</b> Передачи	12,5	0,5	2	10
<b>Модульная единица 4.4</b> Валы, оси, подшипники, муфты	10,5	0,5	2	10
<b>Модульная единица 4.5</b> Редукторы	10,5	0,5	-	10
<b>ИТОГО</b>	<b>203</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>181</b>

Таблица 1.3 – Содержание лекционного курса

№ модуля и модульной единицы дисциплины	№ и тема лекции	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
<b>Модуль 1. Теоретическая механика</b>		<b>зачет</b>	<b>2</b>
<b>Модульная единица 1.1</b> Статика	Лекция № 1. Введение. Аксиомы статики. Связи и их реакции. Вектор силы, операции над силами. Сходящиеся системы сил к равнодействующей. Моменты сил. Теория пар. Произвольная пространственная система сил. Произвольная плоская система сил. Центр тяжести	зачет	0,5
<b>Модульная единица 1.2</b> Кинематика	Лекция № 2. Кинематика точки. Простейшие виды движения твердого тела. Плоскопараллельное движение твердого тела. Сложное движение точки	зачет	0,5
<b>Модульная единица 1.3</b> Динамика	Лекция № 3. Основные законы механики. Динамика материальной точки. Общие теоремы динамики точки.	зачет	1

№ модуля и модульной единицы дисциплины	№ и тема лекции	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
	<p>Моменты инерции тела и механической системы. Теоремы об изменении кинематического момента.</p> <p>Мощность и работа сил. Теорема об изменении кинетической энергии.</p> <p>Потенциальное и силовое поле.</p>		
<b>Модуль 2. Сопротивление материалов</b>		<b>зачет</b>	<b>2</b>
<b>Модульная единица 2.1</b> Общие сведения по сопротивлению материалов	Лекция № 4. Общие сведения по сопротивлению материалов	зачет	0,25
<b>Модульная единица 2.2</b> Растяжение и сжатие	Лекция № 5. Понятие о деформации растяжения и сжатия. Напряжения при растяжении и сжатии. Модуль продольной упругости. Диаграмма растяжения для пластичных материалов и ее характерные точки. Выбор допускаемых напряжений и запаса прочности	зачет	0,25
<b>Модульная единица 2.3</b> Сдвиг и кручение	Лекция № 6. Сдвиг и кручение	зачет	0,35
<b>Модульная единица 2.4</b> Моменты инерции площадей	Лекция № 7. Статические моменты площади. Определение положения центра тяжести. Осевые моменты инерции площади.	зачет	0,35
<b>Модульная единица 2.5</b> Кручение	Лекция № 8. Понятие о деформации кручения.	зачет	0,4
<b>Модульная единица 2.6</b> Поперечный изгиб	Лекция № 9. Сущность поперечного изгиба	зачет	0,4
<b>Модуль 3. Теория механизмов и машин</b>		<b>экзамен</b>	<b>2</b>
<b>Модульная единица 3.1</b> Введение	Лекция № 10. Введение	экзамен	0,2

№ модуля и модульной единицы дисциплины	№ и тема лекции	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
Модульная единица 3.2 Основные понятия ТММ.	Лекция № 11. Основные понятия ТММ.	экзамен	0,2
Модульная единица 3.3 Кинематические пары. Кинематические цепи	Лекция № 12. Кинематические пары. Кинематические цепи	экзамен	0,2
Модульная единица 3.4 Структурный анализ механизмов	Лекция № 13. Структурный анализ механизмов	экзамен	0,2
Модульная единица 3.5 Структурные группы звеньев. Структурный синтез	Лекция № 14. Структурные группы звеньев. Структурный синтез	экзамен	0,4
Модульная единица 3.6 Основные понятия кинематики механизмов	Лекция № 15 Основные понятия кинематики механизмов	экзамен	0,4
Модульная единица 3.7 Кинематическое исследование методов (методом планов)	Лекция № 16. Кинематическое исследование методов (методом планов)	экзамен	0,4
<b>Модуль 4. Детали машин и основы конструирования</b>		<b>экзамен</b>	<b>2</b>
Модульная единица 4.1 Основы проектирования деталей машин	Лекция № 17. Основы проектирования деталей машин. Основные термины и определения. Этапы и стадии проектирования. Конструирование. Типы и комплектность конструкторских документов	экзамен	0,2

№ модуля и модульной единицы дисциплины	№ и тема лекции	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
Модульная единица 4.2 Соединения деталей машин	Лекция № 18. Неразъемные соединения деталей. Разъемные соединения деталей	экзамен	0,3
Модульная единица 4.3 Передачи	Лекция № 19. Фрикционные передачи. Зубчатые передачи. Конические передачи. Червячная передача. Планетарные передачи	экзамен	0,5
Модульная единица 4.4 Валы, оси, подшипники, муфты	Лекция № 20. Оси и валы. Подшипники. Муфты.	экзамен	0,5
Модульная единица 4.5 Редукторы	Лекция № 21. Редукторы	экзамен	0,5
<b>ИТОГО</b>			<b>8</b>

Таблица 1.4 – Содержание занятий и контрольных мероприятий

№ модуля и модульной единицы дисциплины	№ и название лабораторных/ практических занятий с указанием контрольных мероприятий	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
<b>Модуль 1 Теоретическая механика</b>		<b>отчет</b>	<b>2</b>
Модульная единица 1.1 Статика	Занятие № 1. Произвольная плоская система сил.	решение индивидуальных заданий	1
Модульная единица 1.2 Кинематика	Занятие № 2. Определение уравнений движения, траектории, скорости и ускорения точки.	решение индивидуальных заданий	1
<b>Модуль 2. Сопротивление материалов</b>		<b>отчет</b>	<b>4</b>
Модульная единица 2.2 Растяжение и сжатие	Занятие № 3. Растяжение и сжатие	решение индивидуальных заданий	1
Модульная единица 2.3 Сдвиг и кручение	Занятие № 4. Сдвиг и кручение	решение индивидуальных заданий	1
Модульная единица 2.4 Моменты	Занятие № 5. Моменты инерции площадей	решение индивидуальных	1

№ модуля и модульной единицы дисциплины	№ и название лабораторных/ практических занятий с указанием контрольных мероприятий	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
инерции площадей		заданий	
<b>Модульная единица 2.5 Кручение</b>	Занятие № 6. Кручение	решение индивидуальных заданий	1
<b>Модуль 3. Теория механизмов и машин</b>		<b>отчет</b>	<b>4</b>
<b>Модульная единица 3.3</b> Кинематические пары. Кинематические цепи	Занятие № 7. Определение степени подвижности различных типов плоских, и пространственных механизмов по формуле Чебышева и формуле Малышева.	отчет	2
<b>Модульная единица 3.7</b> Кинематическое исследование методов (методом планов)	Занятие № 8. Кинематический анализ механизмов методом планов и кинематических диаграмм.	отчет	2
<b>Модуль 4. Детали машин и основы конструирования</b>		<b>отчет</b>	<b>4</b>
<b>Модульная единица 4.3</b> Передачи	Занятие № 9. Изучение механических передач	отчет.	2
<b>Модульная единица 4.4</b> Валы, оси, подшипники, муфты	Занятие № 10. Изучение конструкции валов и осей	отчет.	2
<b>ИТОГО</b>			<b>14</b>

Таблица 1.5 – Перечень вопросов для самостоятельного изучения и видов самоподготовки к текущему контролю знаний

№ модуля и модульной единицы	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения и видов самоподготовки к текущему контролю знаний	Кол-во часов
<b>Модуль 1 Теоретическая механика</b>		<b>40</b>
<b>Модульная единица 1.1</b> Статика	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Введение. Аксиомы статики. Связи и их реакции. Плоская система сходящихся сил. Проекция силы на ось. Пара сил. Момент силы относительно точки. Произвольная плоская система сил. Пространственная система сил. Центр тяжести тела. Контрольная работа	13
<b>Модульная единица 1.2</b> Кинематика	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Кинематика точки. Простейшие виды движения твердого тела. Движение материальной точки. Метод кинестатики. Плоскопараллельное движение твердого тела. Сложное движение точки	13
<b>Модульная единица 1.3</b> Динамика	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Основные законы механики. Динамика материальной точки. Общие теоремы динамики точки. Моменты инерции тела и механической системы. Теоремы об изменении кинематического момента. Мощность и работа сил. Теорема об изменении кинетической энергии. Потенциальное и силовое поле.	14
<b>Модуль 2. Сопротивление материалов</b>		<b>44</b>
<b>Модульная единица 2.1</b> Общие сведения по сопротивлению материалов	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Основные положения, метод сечений, напряжения»	4
<b>Модульная единица 2.2</b> Растяжение и сжатие	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Растяжение и сжатие стержней. Основные механические характеристики. Расчеты на прочность. Геометрические характеристики плоских сечений. Контрольная работа	8
<b>Модульная единица 2.3</b> Сдвиг и кручение	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Сдвиг и кручение. Контрольная работа	8
<b>Модульная единица 2.4</b>	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Моменты инерции площадей	8

№ модуля и модульной единицы	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения и видов самоподготовки к текущему контролю знаний	Кол-во часов
Моменты инерции площадей		
<b>Модульная единица 2.5</b> Кручение	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Кручение. Контрольная работа	8
<b>Модульная единица 2.6</b> Поперечный изгиб	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Поперечный изгиб. Совместное действие изгиба и кручения. Устойчивость сжатых стержней	8
<b>Модуль 3. Теория механизмов и машин</b>		<b>45</b>
<b>Модульная единица 3.1</b> Введение	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Введение	4
<b>Модульная единица 3.2</b> Основные понятия ТММ.	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Основные понятия ТММ.	5
<b>Модульная единица 3.3</b> Кинематические пары. Кинематические цепи	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Кинематические пары. Кинематические цепи. Курсовая работа	6
<b>Модульная единица 3.4</b> Структурный анализ механизмов	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Структурный анализ механизмов. Курсовая работа	7
<b>Модульная единица 3.5</b> Структурные группы звеньев. Структурный синтез	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Структурные группы звеньев. Структурный синтез. Курсовая работа	8
<b>Модульная единица 3.6</b> Основные понятия кинематики механизмов	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Основные понятия кинематики механизмов.	4

№ модуля и модульной единицы	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения и видов самоподготовки к текущему контролю знаний	Кол-во часов
<b>Модульная единица 3.7</b> Кинематическое исследование методов (методом планов)	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Кинематическое исследование методов (методом планов). Курсовая работа	8
<b>Модуль 4. Детали машин и основы конструирования</b>		<b>45</b>
<b>Модульная единица 4.1</b> Основы проектирования деталей машин	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Введение. Классификация механизмов, узлов и деталей машин. Требования к машинам и деталям. Критерии работоспособности и влияющие на них факторы. Понятия о надежности машин. Основы проектирования механизмов. Стадии разработки проекта.	5
<b>Модульная единица 4.2</b> Соединения деталей машин	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Резьбовые соединения. Расчеты резьбовых соединений на прочность. Соединения с натягом. Шпоночные соединения. Расчеты соединений на прочность. Заклепочные соединения. Сварные соединения. Паяные и клеевые соединения. Курсовая работа	10
<b>Модульная единица 4.3</b> Передачи	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Общие сведения: Классификация механизмов. Назначение и классификация механических передач. Основные параметры механических передач. Фрикционные передачи: Общие сведения. Цилиндрическая и коническая фрикционные передачи. Вариаторы. Зубчатые передачи: Достоинства, недостатки, области применения, классификация зубчатых передач. Конические зубчатые передачи: Планетарные и волновые передачи. Червячные передачи: Классификация, достоинства, недостатки, области применения червячных передач Ременные передачи: Классификация, достоинства, недостатки, области применения. Цепные передачи. Преимущества, недостатки, области применения. Курсовая работа	10

№ модуля и модульной единицы	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения и видов самоподготовки к текущему контролю знаний	Кол-во часов
<b>Модульная единица 4.4</b> Валы, оси, подшипники, муфты	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Валы и оси: Общие сведения. Ориентировочный расчет валов. Конструирование валов. Подшипники скольжения: Принцип работы и классификация подшипников скольжения. Смазывание и расчет подшипников. Подшипники качения: Принцип работы и классификация подшипников качения. Курсовая работа	10
<b>Модульная единица 4.5</b> Редукторы	Работа с опорным конспектом и специальной литературой. Редукторы: Классификация редукторов. Особенности расчета цилиндрических редукторов; редукторов с коническими колесами; червячных редукторов. Курсовая работа	10
<b>ВСЕГО</b>		<b>181</b>

### 1.3 Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины

На изучение дисциплины «Техническая механика» в соответствии с Учебным планом отводится 216 часов. В общий объем включены часы, отводимые как на контактную, так и на самостоятельную работу.

**Контактная работа** студента предполагает посещение лекций и лабораторных занятий.

**Самостоятельная работа** ориентирована на изучение студентом литературы (учебника, справочных материалов, специальных источников, монографий, статей из периодических изданий и т.п.), выполнение домашних заданий 3-х видов сложности: репродуктивного уровня (сделать конспект по учебному материалу), эвристического уровня (заполнить таблицы, задание на сравнения, рецензия научной статьи) и творческого уровня (сделать презентацию, доклад).

**Лекция** – основная форма контактной работы студента. Цель лекции – ознакомить студентов с основными теоретическими вопросами дисциплины в логически выдержанной форме. Студентам рекомендуется вести конспект лекций в отдельной тетради. Каждая лекция оформляется соответствующим образом: указывается тема, выделяются вопросы, которые лектор предлагает в качестве основных, «узловых» пунктов, раскрывающих тему.

Необходимо внимательно слушать лектора, следить за логикой изложения материала и записывать теоретические положения, в которых содержится важная смысловая информация. Не следует записывать подряд все услышанное, это рассеивает внимание и затрудняет понимание главного. Детали, примеры, конкретизирующие основные теоретические идеи, можно и нужно почерпнуть в ходе самостоятельного знакомства с рекомендованной литературой по учебному курсу в целом.

Работа студента на лекциях не должна ограничиваться пассивной записью лекционного материала. Студент на лекции должен не просто присутствовать, а работать (не отвлекаясь на посторонние разговоры), следить за логикой изложения материала, участвовать в предлагаемом преподавателем диалоге. Запись лекции вести не «от случая к случаю» и не тогда только, когда лектор дает под диктовку теоретические выводы, а постоянно, сохраняя логическую последовательность излагаемого материала.

К материалам лекций следует периодически обращаться, не откладывая работу с конспектом на период подготовки к экзамену. Перед очередной лекцией необходимо восстановить в памяти уже пройденный материал для лучшего усвоения новой информации. В лекционной тетради должны быть поля, на которых студент делает самостоятельные отметки, выделяя при работе с лекционным материалом важное, значимое, проблемное. Поля в тетради – это пространство для выражения индивидуально-творческого отношения к услышанному и записанному, прочитанному и законспектированному, без которого учебный процесс не может быть полноценным.

Конспектирование лекций – дело сугубо индивидуальное, творческое и в нем возможны различные варианты оформления и разный объем текста лекций. Но одно, несомненно: ведение конспекта помогает студенту логично и в системе осваивать учебный материал, обретать навыки в письменной форме грамотно фиксировать устную речь, что может оказаться необходимым и в будущей профессиональной деятельности.

**Лабораторные занятия** – составная часть учебного процесса, групповая форма учебных занятий, позволяющая студентам развить навыки самостоятельной работы с научной литературой, получить опыт публичных выступлений, применить полученные теоретические знания при решении практических задач. Занятие может проходить в разных формах, но при любой его форме, обязательной для студента является предшествующая ему и последующая за ним, самостоятельная работа с литературой.

## 2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### 2.1 Теоретическая механика

*Теоретическая механика* – это наука, которая изучает механическое движение тел и устанавливает общие законы этого движения. Теоретическая механика подразделяется на статику, кинематику и динамику.

*Статика* – это раздел теоретической механики, в котором изучаются законы приведения и условия равновесия сил, действующих на материальные точки. Встречающиеся в природе материальные тела обладают способностью под действием приложенных сил в той или иной мере деформироваться, т.е. менять форму вследствие изменения взаимного расположения образующих их частиц. Однако у большинства твердых тел (изготовленных из металлов, дерева) в нормальных условиях эти деформации пренебрежимо малы. В связи с этим в механике вводится понятие «абсолютно твердое тело».

*Кинематикой* называется раздел механики, в котором изучается движение материальных тел в пространстве с геометрической точки зрения вне связи с силами, вызывающими это движение.

В теоретической механике изучается простейшая форма движения – *механическое движение*. Механическое движение всегда рассматривается относительно выбранной системы отсчета, которая может быть подвижной или условно неподвижной. Например, при рассмотрении механического движения тел, находящихся на Земле, за *неподвижную систему осей координат* выбирают систему осей, неизменно связанных с Землей.

*Динамикой* называется раздел механики, в котором изучается движение материальных тел под действием приложенных к ним сил. В основе динамики лежат законы, сформулированные Ньютоном.

#### 2.1.1 Основные понятия и аксиомы статики

*Абсолютно твердым телом* называется тело, расстояние между любыми двумя точками которого всегда остается неизменным.

Другим основным понятием в статике является понятие силы. *Силой* называется векторная величина, представляющая собой меру механического воздействия одних тел на другие.

*Механическим воздействием* называется такое взаимодействие материальных тел, в результате которого с течением времени происходит изменение взаимного положения этих тел в пространстве (механическое движение) или изменение взаимного положения частиц этих тел (деформация).

Сила есть величина векторная, т.е. она имеет числовое значение (модуль), точку приложения и направление.

Введем следующие определения.

*Материальной точкой* называется абсолютно твердое тело, размерами которого можно пренебречь, мысленно сосредоточив всю массу этого тела в одной точке.

*Системой сил* называется совокупность нескольких сил, действующих на данное тело.

Две системы сил называются *эквивалентными*, если, действуя на одно и то же твердое тело, они производят одинаковое механическое воздействие.

Силы, действующие на тело со стороны других материальных тел, называются *внешними силами*. Силы, действующие на части данного тела со стороны других частей этого же тела, называются *внутренними силами*.

Если под действием данной системы сил свободное тело находится в покое, то такая система сил называется *уравновешенной*, или *системой, эквивалентной нулю*.

Если система сил эквивалентна одной силе, то эта сила называется *равнодействующей* данной системы сил.

Сила, приложенная к телу в какой-нибудь одной точке, называется *сосредоточенной* силой. Силу, действующую на определенную часть поверхности тела, называют *распределенной*.

Все теоремы и уравнения статики базируются на нескольких исходных положениях, принимаемых без математических доказательств и называемых аксиомами.

**Аксиома 1 (Равновесия двух сил).** Две, равные по величине силы, приложенные к одному телу и действующие по одной прямой в противоположные стороны, взаимно уравновешиваются (рис. 2.1).

**Аксиома 2 (Добавления или отбрасывания уравновешенных сил).** Состояние тела не изменится, если к нему приложить или от него отнять уравновешенную систему сил (рис. 2.2).

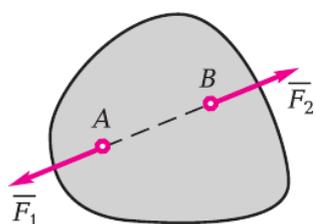


Рисунок 2.1

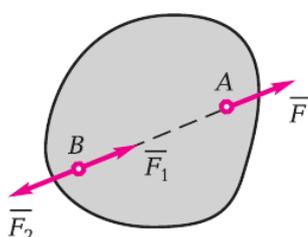


Рисунок 2.2

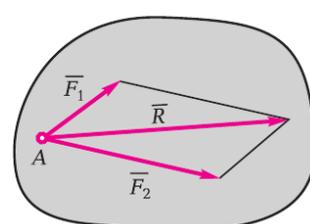


Рисунок 2.3

**Следствие** из аксиом 1 и 2: точку приложения силы, действующей на абсолютно твердое тело, можно переносить вдоль ее линии действия в любую другую точку тела. Предположим, что в точке  $A$  твердому телу приложена сила  $\vec{F}$  (рис. 2.2). Приложим в точке  $B$  две силы  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$ , равные по модулю силе  $\vec{F}$  и направленные по ее линии действия в противоположные стороны. По аксиоме 2 можно отбросить уравновешенную систему сил  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$ . В результате на тело теперь действует сила  $\vec{F}_1$ , равная силе  $\vec{F}$ , но приложенная в точке  $B$ .

**Аксиома 3 (Параллелограмма сил).** Равнодействующая двух сходящихся сил выражается по величине и направлению диагональю параллелограмма, построенного на этих силах (рис. 2.3).

*Сходящимися* называются силы, линии действия которых пересекаются в одной точке.

*Геометрическая сумма сил* называется равнодействующей.

*Равнодействующая* есть сила, действие которой равно действию всех данных (составляющих) сил:  $\bar{R} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2$ .

**Аксиома 4 (Действия и противодействия).** Два тела действуют друг на друга с силами, равными по величине и направленными по одной прямой в противоположные стороны (рис. 2.4). Такая система сил не является уравновешенной, так как силы приложены к разным телам.

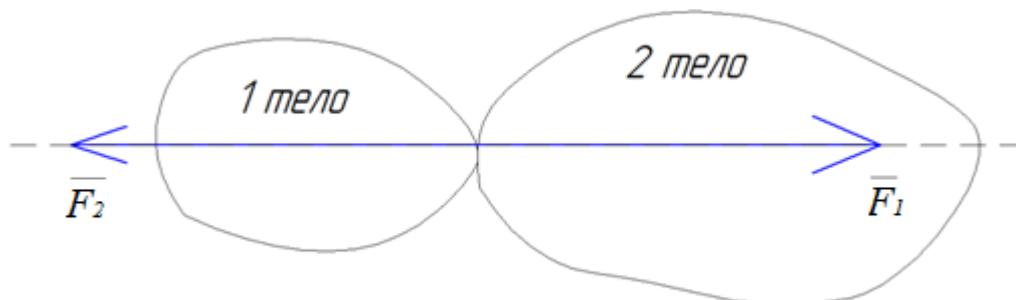


Рисунок 2.4

### 2.1.2 Связи и их реакции

Тело, которое может совершать любые перемещения в пространстве, называется *свободным*. Примерами свободного тела могут служить самолет и снаряд, летящие в воздухе. В различного рода сооружениях и конструкциях мы обычно встречаемся с телами, на перемещение которых наложены ограничения. Такие тела называются *несвободными*. Тело, ограничивающее свободу движения твердого тела, является по отношению к нему *связью*. Связь действует на несвободное тело (точку) силой, называемой *реакцией связи*.

Из изложенного следует *принцип освобожденности* твердого тела от связи или *аксиома связи*: всякое несвободное тело (рис. 2.5а) можно рассматривать как свободное, если мысленно отбросить наложенные на тело связи и приложить вместо них силы реакции этих связей (рис. 2.5б).



Рисунок 2.5

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся типы связей.

1. *Гладкая поверхность или плоскость.* Гладкой будем называть такую поверхность, на которой в первом приближении можно пренебречь трением. Связь в виде гладкой поверхности не дает телу перемещаться только в одном направлении – перпендикулярном к этой поверхности. Поэтому реакция гладкой поверхности  $\bar{N}$  направлена по нормали к этой поверхности и приложена к телу в точке касания (см. рис. 2.5б). На рисунке 1.5б тело изображено освобожденным от связи.

2. *Гладкая опора.* Связь, осуществленная в виде гладкой опоры, не дает телу перемещаться в направлении, перпендикулярном к поверхности тела в точке опоры (рис. 2.6). Реакция гладкой опоры направлена по нормали к опирающейся поверхности и приложена к телу в точках касания  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$ .

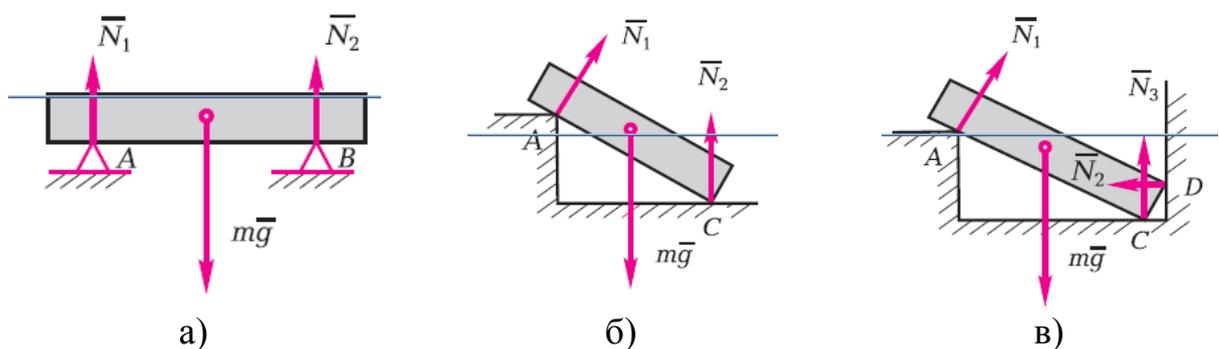


Рисунок 2.6

3. *Нить.* Связь, осуществляемая в виде гибкой нити (рис. 2.7), не позволяет телу удаляться от точки привеса  $A$ , поэтому реакция связи  $T$  всегда направлена вдоль нити к точке ее закрепления.

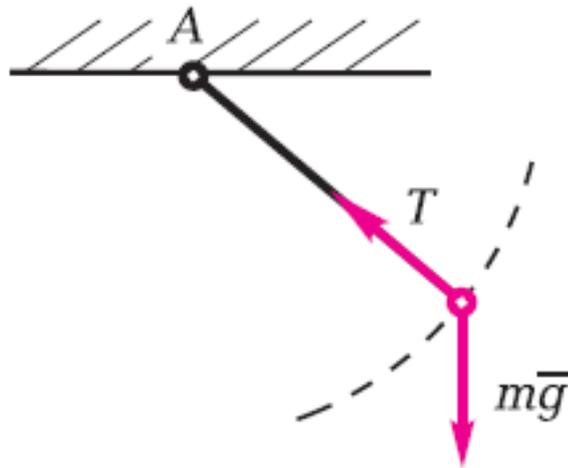


Рисунок 2.7

4. *Цилиндрический шарнир.* На рисунке 2.8 изображена шарнирно неподвижная опора балки, ось которой проходит через шарнир  $A$  перпендикулярно к плоскости чертежа. Цилиндрический шарнир  $A$  допускает вращение балки, но препятствует ее перемещению в плоскости  $xOy$ , поэтому реакция цилиндрического шарнира  $\bar{R}$  расположена в плоскости, перпендикулярной оси возможного вращения, и ее направление определяют две взаимно-перпендикулярные проекции на оси  $Ox$  и  $Oy$ .

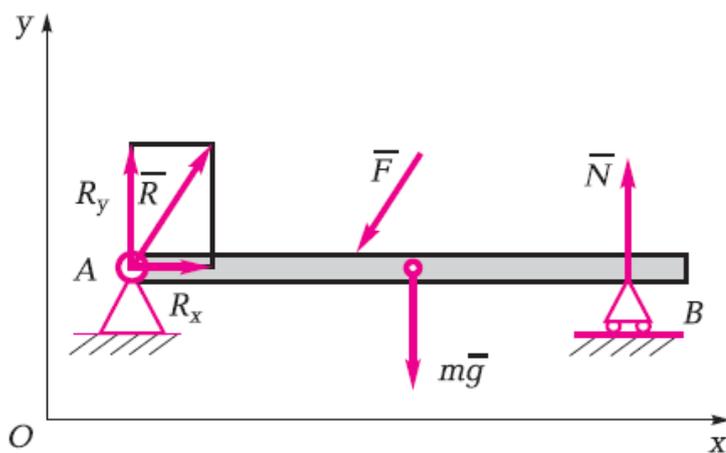


Рисунок 2.8

5. *Жесткая заделка.* Заделка (рис. 2.9) исключает возможность любых перемещений вдоль осей  $Ox$  и  $Oy$ , а также поворот в плоскости  $xOy$ ,

поэтому такую связь заменяют реакцией  $\bar{R}$  (или ее проекциями  $R_x$  и  $R_y$ ) и моментом в заделке  $M_A$ .

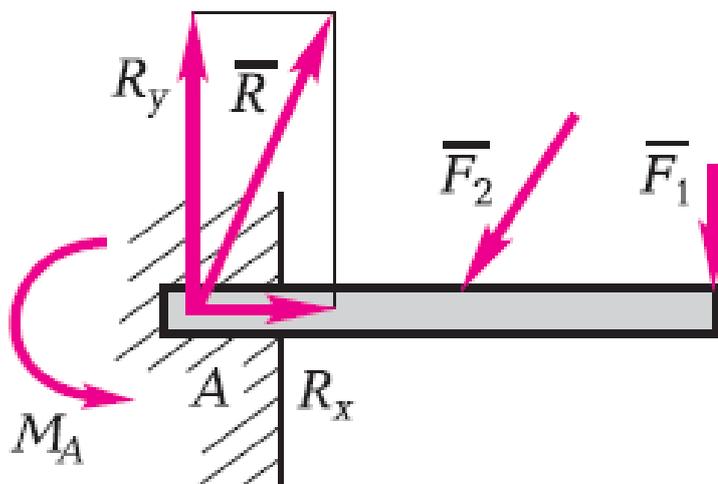


Рисунок 2.9

Решение задач статики заключается в определении реакции связи.

Следует знать, что реакции связей всегда направлены так, что мешают перемещаться несвободному телу (точке) в том или ином направлении.

Три случая определения значений проекций:

1. Сила перпендикулярная к оси. В этом случае она проецируется в точку и ее проекция равна нулю (рис. 2.10).

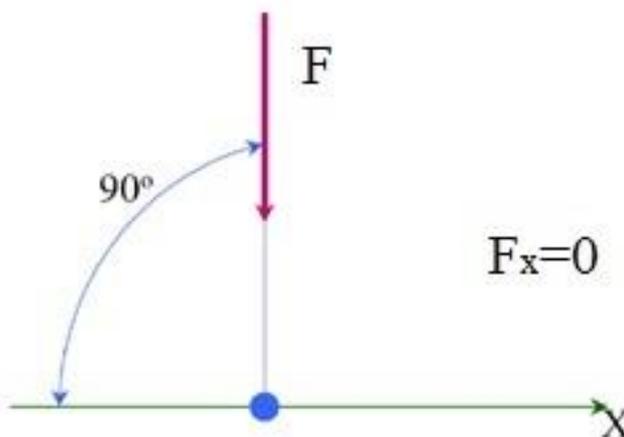


Рисунок 2.10 – Сила вертикальная

2. Если сила параллельна к оси или расположена на оси. В этом случае ее проекция равна по величине модулю силы (рис. 2.11).

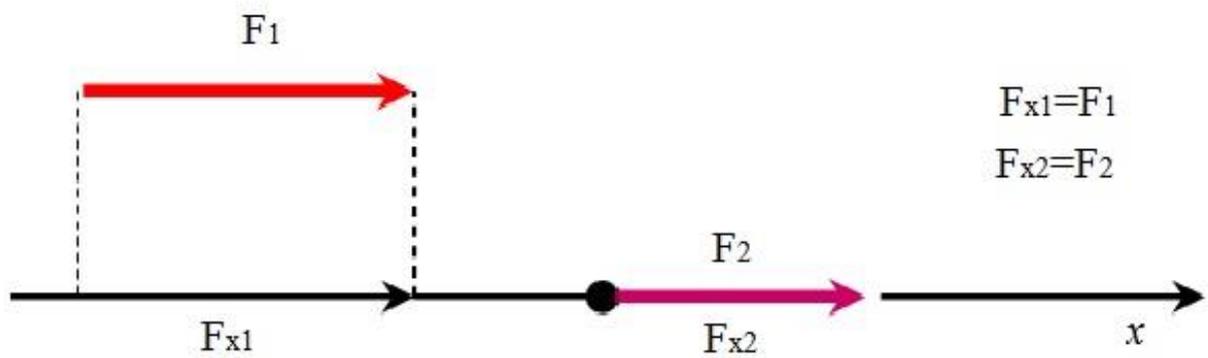


Рисунок 2.11 – Силы параллельные оси  $X$

3. Сила расположена под углом к оси. В этом случае проекция силы определяется из прямоугольного треугольника  $ABC$  (рис. 2.12): а) если задан угол  $\beta$ , то проекция является противолежащим катетом и величина проекции равна произведению модуля силы  $\bar{F}$  (гипотенузы) на синус угла  $\beta$ :  $F_x = F \cdot \sin\beta$ ; б) если задан угол  $\alpha$ , то проекция является принадлежащим к углу катетом и ее величина определяется произведением модуля силы  $\bar{F}$  (гипотенузы) на косинус угла  $\alpha$ :  $F_x = F \cdot \cos\alpha$ .

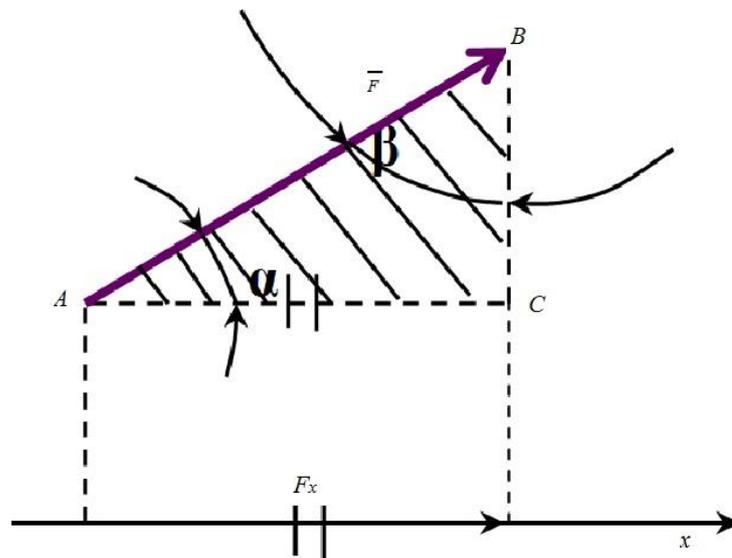


Рисунок 2.12 – Сила  $F$  под углом к оси  $x$

### 2.1.3 Плоская система сил

Система сил, линии действия которых лежат в одной плоскости, называется *плоской*.

*Сходящимися* называются силы, линии действия которых пересекаются в одной точке (рис. 2.13а). Существует два способа сложения сходящихся сил: геометрический (рис. 2.13б) и аналитический (рис. 2.13в).

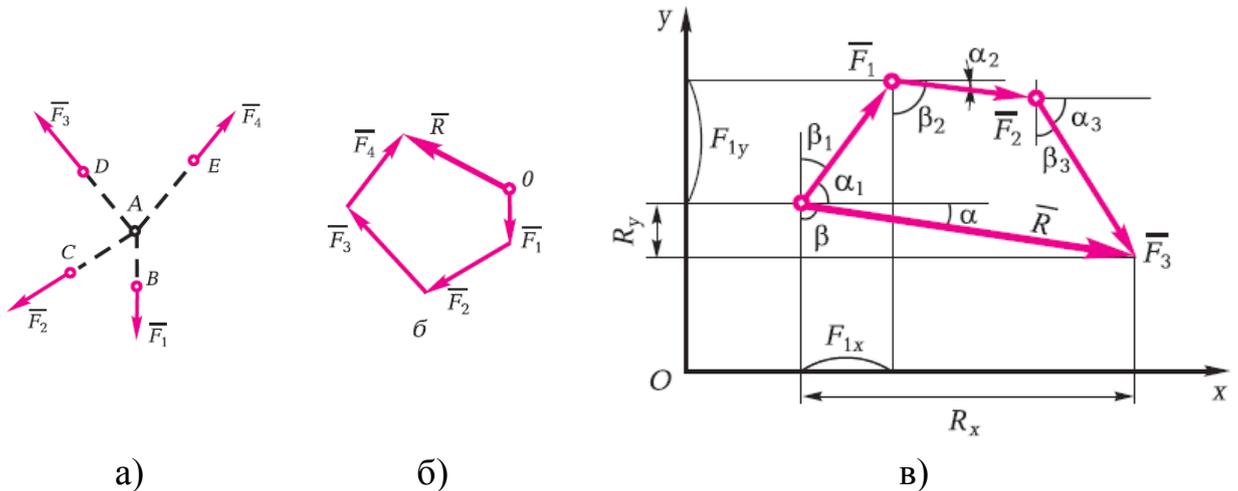


Рисунок 2.13

*Графический способ сложения сходящихся сил.* Чтобы графически сложить сходящиеся силы нужно, выбрав произвольную точку  $O$  приложить к ней первую силу, в конце первой силы пристроить вторую силу, в конце второй силы построить третью силу и т.д. (рис. 2.13б).

Вектор, направленный из начала первой силы ( $O$ ) в конец последней силы будет равнодействующей всех сил. Построенная фигура называется *силовым многоугольником*.

Особый случай: если конец последней силы силового многоугольника совпадает с началом первой силы, то ломанная замыкается и вектор равнодействующей будет равен нулю.  $\bar{R} = 0$ .

*Аналитический способ сложения сходящихся сил.* Проецируя векторное равенство  $\bar{F}_1 + \bar{F}_2 + \bar{F}_3 = \bar{R}$  на оси координат (рис. 2.13в), получим два алгебраических равенства:

$$\bar{F}_{1x} + \bar{F}_{2x} + \bar{F}_{3x} = \bar{R}_x;$$

$$\bar{F}_{1y} + \bar{F}_{2y} + \bar{F}_{3y} = \bar{R}_y,$$

или

$$F_1 \cdot \cos\alpha_1 + F_2 \cdot \cos\alpha_2 + F_3 \cdot \cos\alpha_3 = R \cdot \cos\alpha;$$

$$F_1 \cdot \cos\beta_1 - F_2 \cdot \cos\beta_2 - F_3 \cdot \cos\beta_3 = -R \cdot \cos\beta.$$

Отсюда определим значение равнодействующей всех сходящихся сил

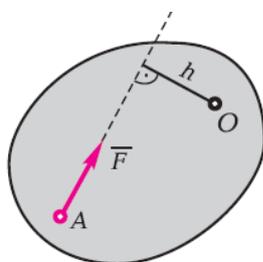
$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

и направление вектора  $\bar{R}$

$$\cos\alpha = \frac{R_x}{R}; \quad \cos\beta = \frac{R_y}{R}.$$

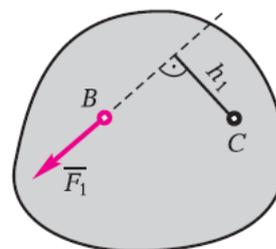
*Момент силы относительно точки*

Сила, действующая на тело, может не только поступательно смещать его, но и поворачивать вокруг какой-нибудь точки. Пусть сила  $\bar{F}$ , приложенная в точке  $A$ , стремится повернуть тело вокруг точки  $O$  (рис. 2.14). Поскольку силу можно переносить по линии ее действия, то вращательный эффект этой силы не зависит от того, в какой точке эта сила приложена, а определяется расстоянием  $h$  от точки  $O$  до линии действия силы.



$$m_o(\bar{F}) = -h \cdot F$$

а)



$$m_c(\bar{F}_1) = h_1 \cdot F_1$$

б)

Рисунок 2.14

*Моментом силы  $F$  относительно некоторого центра  $O$*  называется величина, равная произведению силы на кратчайшее расстояние от точки  $O$  до линии действия силы и взятая с соответствующим знаком. Знак «+» соответствует моменту силы, которая стремится повернуть тело вокруг точки  $O$  против хода часовой стрелки, а знак «-» – если сила стремится повернуть

тело по направлению движения часовой стрелки. Если линия действия силы проходит через точку, то момент силы относительно этой точки равен нулю.

Перпендикуляр, опущенный из точки  $O$  на линию действия силы  $\vec{F}$ , называется ее *плечом относительно центра  $O$* .

Система двух равных по модулю, параллельных и противоположно направленных сил, приложенных к телу (рис. 2.15а), называется *парой сил*.

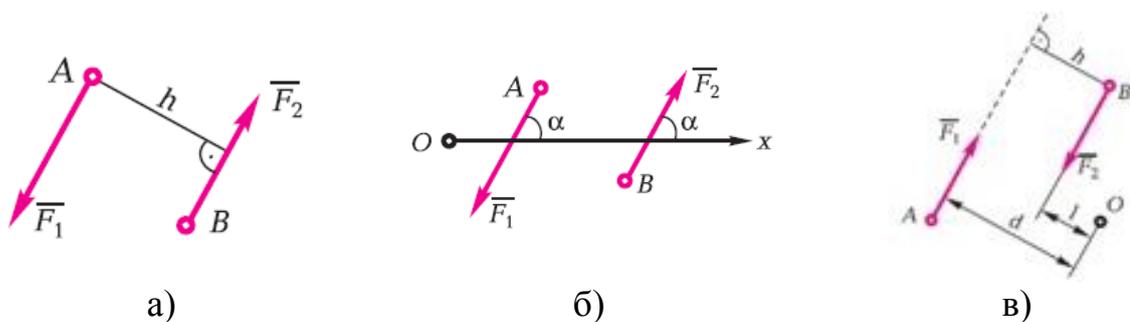


Рисунок 2.15

*Плечом пары  $h$*  (см. рис. 2.15а) называется кратчайшее расстояние между линиями действия сил, составляющих пару. *Моментом пары сил* называется взятое со знаком «+» или «-» произведение модуля одной из сил на плечо пары.

*Свойство пары сил.*

1. Сумма проекций на любую ось сил, образующих пару, равняется нулю (рис. 2.15б):

$$F_2 \cos \alpha - F_1 \cos \alpha = 0.$$

Следовательно, пару нельзя заменить равнодействующей.

2. Сумма моментов сил, образующих пару, относительно любой точки плоскости, в которой расположена пара, равняется моменту пары (рис. 2.15в):

$$m_o(\vec{F}_1) = -F_1 \cdot d = -F \cdot d;$$

$$m_o(\vec{F}_2) = F_2 \cdot l = F \cdot l;$$

$$m_o(\vec{F}_1) + m_o(\vec{F}_2) = -F \cdot d + F \cdot l = -F \cdot (d - l) = -F \cdot h.$$

#### **2.1.4 Краткие методические указания по самостоятельному изучению раздела «Теоретическая механика»**

Тема «Плоская система сходящихся сил»: знать свойства силовых треугольников и многоугольников и уметь их строить; уметь определять направление и величину вектора по его проекциям, уметь записывать уравнение равновесия плоской системы сходящихся сил.

Тема «Проекции сил на оси»: усвоить определение проекции силы на ось и понятие знака проекции. Проекция считается положительной, если направление проецируемой силы на ось совпадает с положительным направлением оси; знать аналитический способ определения равнодействующей плоской системы сходящихся сил.

Тема «Пара сил. Момент силы относительно точки»: знать определения момента пары сил и момента силы относительно точки, знать, как определяется знак момента.

Тема «Произвольная плоская система сил»: изучить типы опор и опорные реакции, приведение плоской системы произвольно расположенных сил к данному центру; знать способы определения главного вектора и главного момента и разницу между понятиями «главный вектор» и «равнодействующая системы сил», аналитические условия равновесия плоской системы произвольно расположенных сил и уметь составить уравнение равновесия для несложного случая; уметь заменить распределенную нагрузку сосредоточенной.

Тема «Пространственная система сил»: уметь проецировать силу на ось в пространстве; знать, что если вектор силы параллелен оси, он проецируется в натуральную величину, а если вектор лежит в плоскости, перпендикулярной оси, его проекция на эту ось равна нулю; уметь рассчитать момент силы относительно оси. Знать, что если вектор силы параллелен оси или пересекает ось, момент силы относительно этой оси равен нулю. Знать аналитические условия равновесия пространственной

системы сил и уметь записать условия равновесия для несложной системы сил.

Тема «Центр тяжести тела»: знать формулы для определения центра тяжести тела для неоднородных тел, однородных тел и тонких однородных пластин - «плоских сечений». Знать методы нахождения положения центра тяжести и уметь ими пользоваться: разбивать тело на части, центры тяжести которых определяются с помощью готовых формул, представлять полости и вырезы как части, имеющие отрицательную массу. Ознакомиться с таблицами сортамента стандартных прокатных профилей.

Тема «Кинематика точки»: знать обозначения и формулы для определения основных кинематических параметров движения: времени, пути, скорости и ускорения; различать среднюю скорость и истинную скорость движения. Знать виды движения в зависимости от ускорения, формулы и графики равномерного и равнопеременного движений; уметь определять кинематические параметры при поступательном движении.

Тема «Простейшие движения твердого тела» проверяется знание законов и кинематических графиков поступательного и вращательного движений. Необходимо изучить обозначения и формулы для расчетов основных параметров вращательного движения, а также различные случаи вращательного движения; уметь решать несложные задачи по определению кинематических параметров поступательного и вращательного движений, пользуясь формулами и кинематическими графиками.

При анализе условий задач обращать внимание на единицы измерений угловой скорости – рад/с и угловой частоты вращения – обороты/мин; знать формулы, связывающие угловую скорость с частотой вращения:  $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ ,  $\varphi = 2\pi N$  (рад.):  $N$ - число оборотов вала.

Тема «Движение материальной точки. Метод кинестатики»: знать аксиомы динамики, основной закон динамики в векторной и

дифференциальной форме, при решении задач обращать внимание на единицы измерения величин ( $m$  [кг],  $F$  [кН],  $G$  - сила тяжести [кН]).

Тема «Трение. Работа и мощность»: знать особенность расчета работы силы тяжести, знать формулы для расчета работы и мощности при поступательном и вращательном движении, уметь ими пользоваться.

Необходимо различать полезную работу (мощность) и работу (мощность), затраченную на движение и преодоление сил сопротивлений. Для определения затраченной мощности (мощности электродвигателя) пользуются величиной коэффициента полезного действия.

### 2.1.5 Примеры решения задач

#### Пример 1.

Определить усилие  $R_1$  и  $R_2$  в стержнях кронштейна, если стержни  $AC$  и  $BC$  соединены между собой и опорой  $AB$  при помощи шарниров (рисунок 2.16). На шарнир  $C$  действуют нагрузки  $F_1 = 30$  кН и  $F_2 = 15$  кН, согласно схеме. Углы, составляемые стержнями с опорой соответственно равны  $\alpha = 45^\circ$  и  $\beta = 30^\circ$ .

**Дано:**

$$F_1 = 30 \text{ кН}$$

$$F_2 = 15 \text{ кН}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$\beta = 30^\circ$$

**Найти:**

$$R_1 = ?$$

$$R_2 = ?$$

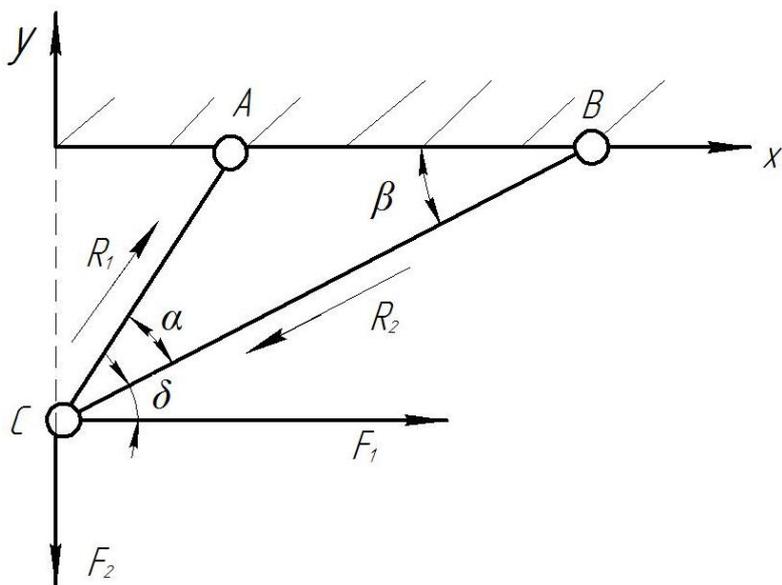


Рисунок 2.16 – Расчетная схема кронштейна

**Решение**

Составляем расчетную схему с осями координат.

Предположим, что реакция  $R_2$  направлена вдоль стержня от точки  $B$  к точке  $C$ , а  $R_1$  – вдоль стержня от точки  $C$  к точке  $A$ .

Составляем уравнения проекций всех приложенных усилий на соответствующие оси из условий равновесия:

$$\Sigma F_y = 0; \quad R_1 \cdot \cos(90^\circ - \alpha - \beta) - R_2 \cdot \sin\beta - F_2 = 0;$$

$$\Sigma F_x = 0; \quad R_1 \cdot \sin(90^\circ - \alpha - \beta) - R_2 \cdot \cos\beta + F_1 = 0.$$

Подставляем известные параметры:

$$R_1 \cdot 0,97 - R_2 \cdot 0,50 - 15 = 0;$$

$$R_1 \cdot 0,26 - R_2 \cdot 0,87 + 30 = 0.$$

Выражаем  $R_1$  из одного из уравнений:

$$R_1 = \frac{(R_2 \cdot 0,50 + 15)}{0,97}.$$

Подставляем полученное выражение в другое уравнение:

$$\frac{(R_2 \cdot 0,50 + 15)}{0,97} \cdot 0,26 - R_2 \cdot 0,87 + 30 = 0.$$

Решая полученное выражение относительно  $R_2$ , получим:

$$R_2 = 46,60 \text{ кН.}$$

Подставив полученное значение в уравнение, получим:

$$R_1 = 39,48 \text{ кН.}$$

Так как полученные значения реакций связи положительны, то предположение о направлении реакций оказалось верным, и на схеме представлено действительное направление реакций связи.

Следовательно, стержень  $BC$  работает на сжатие, а стержень  $AC$  – на растяжение.

### Пример 2.

Определить опорные реакции балки  $AB$ , шарнирно закрепленной на двух опорах и нагруженной сосредоточенными силами  $F_1 = 20$  кН и  $F_2 = 40$  кН, согласно схеме, изображенной на рисунке 2.17.

**Дано:**

$$F_1 = 20 \text{ кН}$$

$$F_2 = 45 \text{ кН}$$

$$a = 1 \text{ м}$$

$$b = 2 \text{ м}$$

$$c = 1 \text{ м}$$

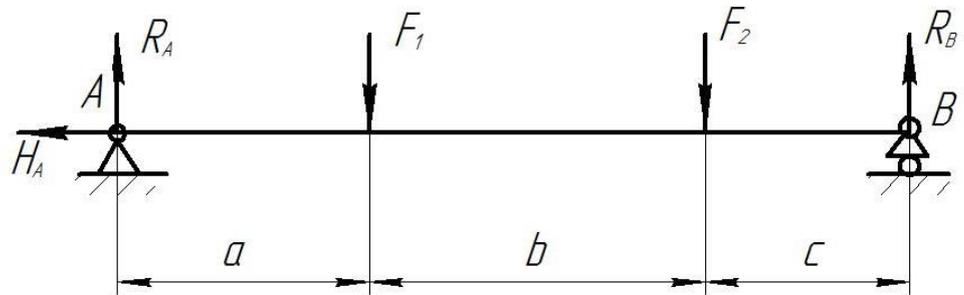


Рисунок 2.17 – Расчетная схема балки

**Найти:**

$$R_A = ?$$

$$R_B = ?$$

### Решение

Составляем расчетную схему с осями координат (на рисунке не показана).

Предположим, что реакция  $R_A$  направлена перпендикулярно опорной поверхности в точке  $A$  вверх,  $R_B$  направлена перпендикулярно опорной поверхности в точке  $B$  вверх, реакция  $H_A$  направлена параллельно опорной поверхности от точки  $A$ .

Составляем уравнения моментов всех приложенных усилий относительно точек  $A$  и  $B$  и проекций всех сил на ось  $x$  исходя из условий равновесия:

$$\Sigma M_A = 0; \quad F_1 \cdot a + F_2 \cdot (a + b) - R_B \cdot (a + b + c) = 0;$$

$$\Sigma M_B = 0; \quad R_A \cdot (a + b + c) - F_2 \cdot a - F_1 \cdot (a + b) = 0;$$

$$\Sigma F_x = 0. \quad H_A = 0.$$

Подставляем известные параметры:

$$F_1 \cdot 1 + F_2 \cdot 3 - R_B \cdot 4 = 0;$$

$$R_A \cdot 4 - F_2 \cdot 1 - F_1 \cdot 3 = 0.$$

Решая уравнения относительно  $R_B$  и  $R_A$ , получим:

$$R_B = \frac{20 \cdot 1 + 40 \cdot 3}{4} = 35 \text{ кН};$$

$$R_A = \frac{40 \cdot 1 + 20 \cdot 3}{4} = 25 \text{ кН}.$$

Для проверки правильности определения реакций составим уравнение проекций всех сил на ось  $y$ .

$$\Sigma F_y = 0; \quad R_A - F_1 - F_2 + R_B = 0.$$

Подставляя полученные значения, получим:

$$25 - 20 - 40 + 35 = 0.$$

### Пример 3.

Определить опорные реакции балки  $AB$ , шарнирно закрепленной на двух опорах и нагруженной сосредоточенной  $F_1 = 3 \text{ кН}$  и рассредоточенной  $q = 4 \text{ кН/м}$  силами согласно схеме, изображенной на рисунке 2.18. Угол  $\alpha = 30^\circ$ .

**Дано:**

$$F_1 = 3 \text{ кН}$$

$$q = 4 \text{ кН/м}$$

$$a = 1 \text{ м}$$

$$b = 1 \text{ м}$$

$$c = 3 \text{ м}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

**Найти:**

$$R_A = ?$$

$$R_B = ?$$

$$H_A = ?$$

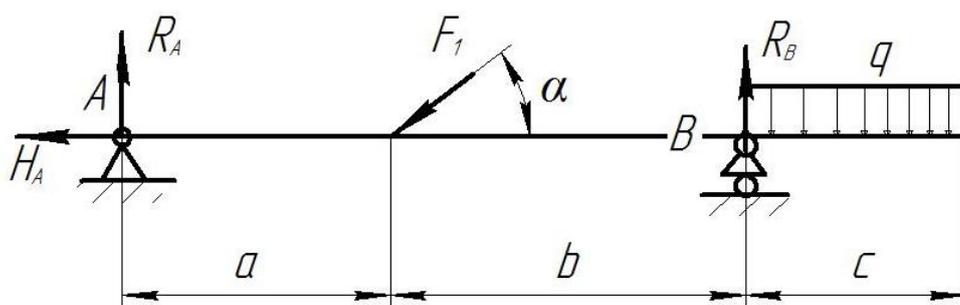


Рисунок 2.18 – Расчетная схема балки

## Решение

Составляем расчетную схему с осями координат (на рисунке не показана).

Предположим, что реакция  $R_A$  направлена перпендикулярно опорной поверхности в точке  $A$  вверх,  $R_B$  направлена перпендикулярно опорной поверхности в точке  $B$  вверх, реакция  $H_A$  направлена параллельно опорной поверхности от точки  $A$ .

Составляем уравнения моментов всех приложенных усилий относительно точек  $A$  и  $B$  и проекций всех сил на ось  $x$  исходя из условий равновесия:

$$\Sigma M_A = 0; \quad F_1 \cdot \sin\alpha \cdot a + q \cdot c \cdot \left(\frac{c}{2} + a + b\right) - R_B \cdot (a + b) = 0;$$

$$\Sigma M_B = 0; \quad R_A \cdot (a + b) - F_1 \cdot \sin\alpha \cdot b + q \cdot c \cdot \frac{c}{2} = 0;$$

$$\Sigma F_x = 0. \quad -H_A - F_1 \cdot \cos\alpha = 0.$$

Подставляем известные параметры:

$$3 \cdot \sin 30^\circ \cdot 1 + 4 \cdot 3 \cdot \left(\frac{1}{5} + 1 + 1\right) - R_B \cdot (1 + 1) = 0;$$

$$R_A \cdot (1 + 1) - 3 \cdot \sin 30^\circ \cdot 1 + 4 \cdot 3 \cdot \frac{1}{5} = 0;$$

$$-H_A - 3 \cdot \cos 30^\circ = 0.$$

Решая уравнения относительно  $R_B$  и  $R_A$  и  $H_A$ , получим:

$$R_B = 21,75 \text{ кН};$$

$$R_A = -8,25 \text{ кН};$$

$$H_A = -2,598 \text{ кН}.$$

Для проверки правильности определения реакций составим уравнение проекций всех сил на ось  $y$ .

$$\Sigma F_y = 0; \quad R_A - F_1 \cdot \sin\alpha - q \cdot c + R_B = 0.$$

Подставляя полученные значения, получим:

$$21,75 - 8,25 - 1,5 + 12 = 0.$$

## 2.2 Сопротивление материалов

*Сопротивление материалов* – наука о прочности и жесткости частей сооружений и деталей машин.

### 2.2.1 Общие сведения по сопротивлению материалов

Задачи расчета на прочность, которыми занимается сопротивление материалов, можно свести к трем основным (прочность, жесткость, устойчивость):

1. По известным нагрузкам, действующим на деталь, и выбранному материалу определить прочные размеры детали.
2. По известным размерам детали и материалу определить нагрузки, под действием которых деталь может работать без нарушения прочности.
3. По известным внешним нагрузкам, материалу и размерам детали проверить, являются ли размеры поперечного сечения достаточными для обеспечения прочности этой детали, т.е. проверить деталь на прочность.

Под *прочными* (надежными) *размерами* понимаются такие размеры, при которых нагрузка вызывает в данной детали незначительные изменения формы, исчезающие после того, как деталь разгружена.

Вопрос о безопасной работе элементов машин и конструкций может быть решен главным образом на основании изучения поведения материала под нагрузкой до его разрушения.

Внешними механическими свойствами материалов являются.

*Упругость* – способность материала восстанавливать свою форму и размеры после снятия нагрузки.

*Пластичность* – способность материала при определенных значениях нагрузок давать большие остаточные деформации без разрушения.

*Прочность* – способность материала сопротивляться действию нагрузок, не разрушаясь, пока не достигнут определенного значения.

*Твердость* – способность материала сопротивляться проникновению в него другого тела.

В зависимости от вида приложенной нагрузки можно выделить несколько видов деформации материала (рис. 2.19): *растяжение* или *сжатие* (работа тросов, канатов, цепей и т.д.), *сдвиг* (работа болтов подвижных соединений, цапф, пальцев сочленения, сварных швов, шпонок и др.), *изгиб* (работа всякого рода балок), *кручение* (работа валов).

Если внешние силы действуют на деталь таким образом, что вызывают в ней одновременно два или несколько видов простых деформаций, например растяжение или сжатие с изгибом или кручением, изгиб с кручением и т. д., то говорят, что деталь испытывает сложную деформацию.

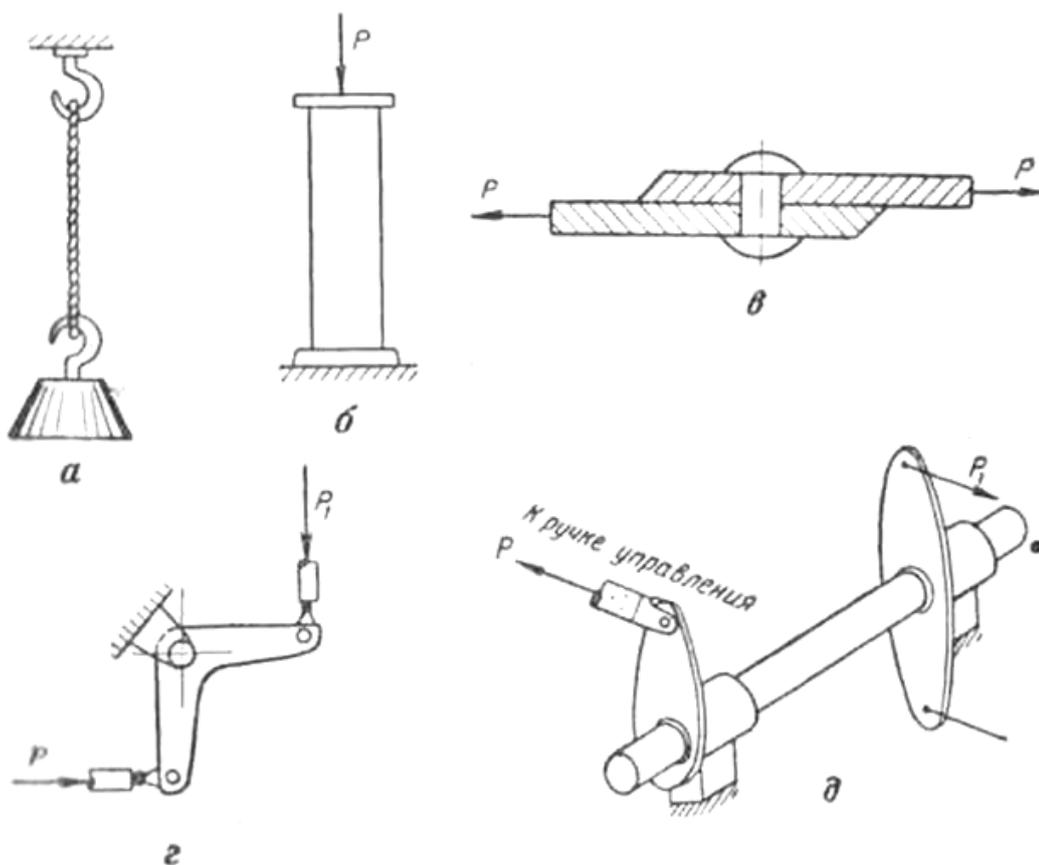


Рисунок 2.19 – Виды простых деформаций: а – растяжение; б – сжатие; в – сдвиг; г – изгиб; д – кручение

Под влиянием внешних сил тело подвергается деформации. Это приводит к изменению межмолекулярных расстояний. В результате воздействий возникают внутренние силы упругости. Величина этих сил на единицу площади поперечного сечения называется *напряжением*  $\sigma$  (при растяжении, сжатии, изгибе) и  $\tau$  (при срезе и кручении). При достижении предельных значений этих сил наступает критический момент – это так называемые опасные напряжения материалов, достижение которых приводит к нарушению их нормальной работы. Для хрупких материалов опасным напряжением является *предел прочности*. Пластичные материалы при растяжении разрушаются, давая значительные остаточные деформации, причем интенсивный рост деформаций начинается при напряжениях, равных *пределу текучести* материала. В этом случае опасным напряжением принято считать *предел текучести*  $\sigma_T$ .

Предельные нагрузки допускать нельзя, поэтому в технических расчетах ориентируются на более безопасную границу напряжений, получивших названия *допускаемых напряжений*  $[\sigma]$  или  $[\tau]$ . Они меньше опасных в несколько раз. Это число получило название *коэффициента запаса*  $k$ .

Величины пределов прочности, текучести и допускаемых напряжений имеют конкретное значение для каждого материала и приводятся в их технической характеристике.

Из определения «напряжения» следуют так называемые условия прочности для разных видов деформаций:

$$\text{при растяжении} - A \geq \frac{F}{[\sigma]_p};$$

$$\text{при сжигании} - A \geq \frac{F}{[\sigma]_c};$$

$$\text{при срезе} - \tau_{\text{ср}} = \frac{F}{A_{\text{ср}}} \leq [\tau]_{\text{ср}};$$

$$\text{при кручении} - \tau_{\text{кр}} = \frac{T_{\text{кр}}}{W_p} \leq [\tau]_{\text{кр}};$$

$$\text{при изгибе} - \sigma_{\text{изг}} = \frac{M_{\text{изг}}}{W} \leq [\sigma]_{\text{изг}}.$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения, зависит от геометрии искомой площади (круг, квадрат, прямоугольник, специальный прокат – уголок, двутавр, швеллер);

$F$  – приложенная нагрузка, определяется методами статики (для кронштейна) или заданы по условию;

$M$  и  $T$  – максимальные изгибающий и крутящий моменты от приложенных сил в опасном сечении, определяемый методом построения эпюр;

$W_p$  – полярный момент сопротивления сечения, зависящий от формы сечения, для круглого сечения –  $W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \approx 0,2 \cdot d^3$ ; для кольцевого сечения –  $W_p = \frac{\pi \cdot d_H^3}{16} \cdot \left(1 - \left(\frac{d_B}{d_H}\right)^4\right) \approx 0,2 d_H^3 \cdot \left(1 - \left(\frac{d_B}{d_H}\right)^4\right)$ ;

$W$  – осевой момент сопротивления изгибу, характеризующий способность поперечного сечения сопротивляться деформации изгиба относительно нейтральной оси, зависит от формы сечения: для круга  $W \approx 0,1 \cdot d^3$ , для квадрата –  $W = \frac{a^3}{3}$ .

При изгибе расчеты проводят из условия прочности. Для нахождения опасного сечения строят эпюры (графики распределения нагрузки) изгибающих моментов. При построении эпюр изгибающих моментов принимается следующее правило знаков. Изгибающий момент считается положительным, если сумма моментов всех сил, приложенных слева от выбранного сечения, направлена по часовой стрелке от центра сечения. Поперечная сила считается положительной, если сумма проекций всех сил, приложенных слева от выбранного сечения на вертикальную ось, направлена вверх.

Последовательность расчета сечений при изгибе методом построения эпюр изгибающих моментов:

- 1) начертить расчетную схему;

2) построить эпюры изгибающих моментов:

⇒ разбить балку на участки согласно сечениям, в которых приложены внешние нагрузки;

⇒ определить изгибающие моменты на каждом участке по величине и знаку;

⇒ построить в масштабе эпюры изгибающих моментов, отложив полученные значения от нулевой линии с учетом знаков;

3) определить опасные сечения;

4) определить размеры сечений из условия прочности.

При кручении прочностные расчеты проводят из расчета на прочность и жесткость. Расчет проводят по опасному сечению. Опасным называют сечение, где приложен максимальный крутящий момент. Для нахождения опасного сечения строят эпюры (графики распределения нагрузки) крутящих моментов. При построении эпюр крутящих моментов принимается следующее правило знаков. Крутящий момент считается положительным, если при взгляде со стороны сечения суммарный момент, действующий на рассматриваемую часть элемента, направлен по часовой стрелке.

Последовательность расчета прочности при кручении методом построения эпюр крутящих моментов:

1) начертить расчетную схему;

2) определить по исходным данным мощность  $P$ , передаваемую каждым шкивом (в т.ч. какой из шкивов является ведущим);

3) найти угловую скорость вала  $\omega$  по формуле  $\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$ ;

4) приложить на схеме крутящие моменты по направлению передачи вращения шкивов;

5) определить численные значения вращающих моментов на каждом шкиве по формуле  $M_{кр} = \frac{P}{\omega}$  или  $M_{кр} = \frac{9,55 \cdot P}{n}$ ;

6) построить эпюры крутящих моментов:

⇒ разбить вал на участки согласно сечениям, в которых приложены внешние моменты (количество участков равно количеству шкивов и моментов);

⇒ определить крутящие моменты на каждом участке по величине и знаку;

⇒ построить в масштабе эпюры крутящих моментов, отложив полученные значения от нулевой линии с учетом знаков;

7) определить опасные сечения;

8) определить размеры сечений из условий прочности.

9) проверить вал по условию жесткости или определить размеры сечений из условия жесткости и сравнить с результатами п.8.

Условие жесткости имеет вид

$$\varphi = \frac{180^\circ \cdot T_{кр} \cdot 1000}{\pi \cdot G \cdot J_p} \leq [\varphi],$$

где  $\varphi$  и  $[\varphi]$  – текущий и допускаемый угол закручивания, град/мм;

$T_{кр}$  – крутящий момент, кН·мм;

$G$  – модуль поперечной упругости, Н/мм<sup>2</sup>;

$J_p$  – полярный момент инерции сечения, зависящий от формы сечения:

для круглого сечения  $J_p = \frac{\pi d^4}{32} \approx 0,1 \cdot d^4$ ; для кольцевого сечения  $J_p = \frac{\pi \cdot d_H^4}{32} \cdot$

$$\left(1 - \left(\frac{d_B}{d_H}\right)^4\right) \approx 0,1 \cdot d_H^4 \cdot \left(1 - \left(\frac{d_B}{d_H}\right)^4\right).$$

## 2.2.2 Расчет соединений

### Общие сведения

Соединения по признаку возможности разборки делят на *разъемные* и *неразъемные*.

*Неразъемными* называют соединение, разъединение которых не возможно без разрушения соединяемых деталей или соединяющего

материала. К ним относят заклепочные, сварные, клеевые, паяные и другие соединения.

*Разъемными* называют соединения, которые разъединяются без повреждения деталей. К ним относят резьбовые, шпоночные, зубчатые и профильные соединения.

Основным расчетом соединений являются расчет на прочность.

#### Расчет заклепочных соединений

*Заклепка* представляет собой стержень, круглого сечения с головками на концах, одну из которых, называемую закладкой, выполняют в заготовке заранее, а вторую называемую замыкающей, формируют при клепке. Заклепочные соединения применяют при соединении трудно свариваемых металлов и разнородных материалов, в конструкциях, подверженных действию вибрации и ударных нагрузок.

При расчете заклепочных соединений производят расчет на срез, обеспечивающий прочность заклепок, и расчет на смятие, проверяющий прочность соединения.

Расчет на срез ведут исходя из допущения, что в поперечном сечении действует только один внутренний силовой фактор – поперечная сила  $Q$ , а касательные напряжения, называемые напряжениями среза, распределены по всей площади равномерно. Тогда условие прочности на срез имеет вид

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F}{n \cdot A_{\text{ср}}} \leq [\tau]_{\text{ср}},$$

где  $F$  – приложенная нагрузка;

$n$  – количество заклепок;

$A_{\text{ср}}$  – площадь среза одной заклепки, равная площади поперечного сечения заклепки с учетом плоскостей среза  $m$ , находится по формуле

$$A_{\text{ср}} = \frac{m \cdot \pi \cdot d^2}{4};$$

$[\tau]_{\text{ср}}$  – допускаемое напряжение на срез, зависящее от материала заклепки.

Расчет на смятие носит условный характер, так как трудно установить закон распределения напряжений смятия. Предполагают, что напряжения смятия равномерно распределены по плоскости контакта и во всех точках нормальны к этой плоскости. Расчетная формула, получившая название условие прочности на смятие, имеет вид

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{F}{n \cdot A_{\text{см}}} \leq [\sigma]_{\text{см}}$$

где  $F$  – приложенная нагрузка;

$n$  – количество заклепок;

$A_{\text{см}}$  – площадь смятия одной заклепки (заклепки сминаются по полуцилиндрической поверхности и напряжения смятия распределены неравномерно, поэтому для упрощения расчета за площадь смятия принимается диаметральной площадью  $\delta \cdot d$ ), находится по формуле

$$A_{\text{см}} = \delta \cdot d,$$

где  $\delta$  – толщина наименьшей соединяемой пластины;

$[\sigma]_{\text{см}}$  – допускаемое напряжение на смятие, зависящее от материала заклепки.

### Расчет сварных соединений

Сварные соединения в настоящее время представляют собой основной тип неразъёмных соединений. В зависимости от взаимного расположения соединяемых элементов применяют следующие виды сварных соединений: *стыковые, нахлесточные и тавровые* соединения.

При *стыковых* соединениях соединяемые элементы располагают встык, а сварочные швы получили название *стыковых*. Стыковые соединения наиболее надежные из всех сварных соединений, их рекомендуют в конструкциях, подверженных вибрационным нагрузкам. Расчет швов стыковых соединений производят на растяжение или сжатие по сечению соединяемых деталей без учета утолщения шва. Условие прочности шва на растяжение имеет вид

$$\sigma_p = \frac{F}{\delta \cdot l_{ш}} \leq [\sigma]_p,$$

где  $F$  – растягивающая нагрузка;

$\delta$  – толщина шва, принимается равной толщине соединяемой детали;

$l_{ш}$  – длина шва;

$\sigma_p$  и  $[\sigma]_p$  – расчетное и допускаемое напряжение на растяжение для шва.

*Нахлесточные* соединения выполняют *угловыми* швами, при этом соединяемые элементы располагают *внахлестку*. Угловые швы бывают *лобовыми* (расположены перпендикулярно к линии действия нагрузки) и *фланговыми* (расположенными параллельно линии действия нагрузки). Профиль нормального углового шва упрощенно представляет собой равнобедренный треугольник, хотя на самом деле сечение шва представляет собой более сложную поверхность, которая описывает этот треугольник. За катет шва  $k$  принимают катет этого треугольника. В большинстве случаев величину  $k$  принимают равной толщине  $\delta$  свариваемых деталей, но не менее 3 мм. Расчет угловых швов производят на срез по опасному сечению, совпадающему с биссектрисой прямого угла, т.е. под углом  $45^\circ$ . Расчетная высота опасного сечения шва равна  $h = k \cdot \sin 45^\circ \approx 0,7 \cdot k$ . Условие прочности шва на срез имеет вид

$$\tau_{ср} = \frac{F}{0,7 \cdot k \cdot l_{ш}} \leq [\tau]_{ср},$$

где  $F$  – растягивающая нагрузка;

$k$  – катет шва, принимается равной толщине соединяемой детали  $\delta$ ;

$l_{ш}$  – расчетная длина всего шва, равная сумме всех швов;

$\tau_{ср}$  и  $[\tau]_{ср}$  – расчетное и допускаемое напряжения на срез для шва, причем значение  $[\tau]_{ср}$  принимают равным  $(0,6 \dots 0,65) \cdot [\sigma]_p$ .

При *тавровых* соединениях свариваемые элементы располагаются во взаимно перпендикулярных плоскостях. Соединения выполняются *угловыми* или *стыковыми* швами.

### **2.2.3 Краткие методические указания по самостоятельному изучению раздела «Сопротивление материалов»**

Тема «Основные положения, метод сечений, напряжения»: изучить основные гипотезы и допущения, виды нагрузок и основные деформации, метод сечений, напряжения. Все тела рассматриваются в равновесии, любая часть тела находится в равновесии под действием внешних и приложенных к сечению внутренних сил упругости. Для определения внутренних сил упругости используются уравнения равновесия для любой из двух отсеченных частей тела. В общем случае для пространственной системы сил можно составить шесть уравнений равновесия. Каждое из этих уравнений позволяет отыскать величину одной из составляющих главного вектора и главного момента сил упругости в сечении (внутренние силовые факторы).

Знать названия и обозначения внутренних силовых факторов и уметь определить внутренний силовой фактор при разных деформациях, составив уравнение равновесия.

Напряжение – внутренняя сила, отнесенная к единице площади.

Знать обозначения составляющих напряжений: нормального и касательного, связь между внутренними силовыми факторами и напряжением.

Тема «Растяжение и сжатие. Основные механические характеристики»: изучить диаграммы растяжения (сжатия) углеродистой стали, знать названия и обозначения основных механических характеристик; уметь выделить участки упругих и пластических деформаций; уметь определять предельные и допускаемые напряжения для разных типов материалов, пользуясь диаграммой растяжения или табличными данными механических характеристик, делать заключение о состоянии материала, пользуясь условием прочности.

По теме 2.2 «Растяжение и сжатие. Расчеты на прочность»: уметь определять продольную силу и напряжение в сечении, строить эпюры

продольных сил и нормальных напряжений, проверить прочность бруса и определить удлинение (укорочение) бруса под действием заданных сил.

Тема «Практические расчеты на срез и смятие»: иметь представление об основных предпосылках и условностях расчетов, уметь выделить детали, работающие на срез и смятие и определить опасное сечение; знать внутренние силовые факторы, напряжения и деформации при сдвиге и смятии, уметь записать условие прочности и воспользоваться им при решении несложных типовых задач.

Тема «Геометрические характеристики плоских сечений»: знать определения осевых и полярного моментов инерции, знать определение центральных главных осей сечения; знать формулы для определения моментов инерции простейших сечений (круг, кольцо, квадрат, прямоугольник); знать формулу для вычисления моментов инерции при параллельном переносе осей; уметь определить положение центра тяжести составного сечения и определить главные центральные моменты инерции для сечений, имеющих ось симметрии.

Тема «Кручение»: иметь представление о деформациях при кручении, о состоянии «Чистый сдвиг», о законе Гука при сдвиге; знать формулы закона Гука, напряжений при кручении, условия прочности при кручении и уметь ими пользоваться; иметь представление о характере разрушений при кручении; уметь строить эпюры крутящих моментов и проводить расчеты на прочность и жесткость; иметь представление о рациональном расположении шкивов на валу и рациональной форме поперечного сечения бруса при кручении; знать формулу для расчета максимального напряжения в сечении, угла закручивания, полярного момента инерции для круга и кольца, момента сопротивления кручению и единицы измерений.

Тема «Изгиб. Определение внутренних силовых факторов»: уметь записать уравнение для определения поперечной силы и изгибающего момента в указанном сечении.

Тема «Изгиб. Расчеты на прочность при изгибе»: уметь определять поперечную силу и изгибающий момент в сечении. Необходимо уметь пользоваться таблицами стандартных прокатных профилей для определения геометрических характеристик поперечных сечений балок; иметь представление о рациональных формах поперечных сечений при изгибе. При выборе предпочтительного сечения использовать формулу для расчета осевых моментов инерции простейших сечений для круга и прямоугольника, а для стандартных прокатных профилей использовать таблицы стандартов.

Необходимо знать распределение нормальных и касательных напряжений по сечению при изгибе и расчетные формулы.

Тема «Совместное действие изгиба и кручения»: изучить гипотезы прочности- теории, позволяющие сравнивать между собой разнотипные напряженные состояния с точки зрения близости к предельному состоянию. Сравнение производится с помощью эквивалентного напряженного состояния (равноопасного состояния).

Знать формулы для определения эквивалентных напряжений по гипотезам наибольших касательных напряжений и энергии формоизменения; знать порядок расчета бруса круглого поперечного сечения; уметь среди действующих сил выбрать силы, вызывающие изгиб и кручение; уметь построить эпюры изгибающих и крутящих моментов для вала, рассчитать на прочность вал редуктора.

Тема «Устойчивость сжатых стержней»: иметь представление об устойчивых и неустойчивых формах равновесия, критической силе, критическом напряжении и коэффициенте запаса устойчивости; знать смысл, обозначения и способы определения гибкости стержня, коэффициента приведения длины, минимального из осевых моментов инерции, минимального радиуса инерции; знать формулу Эйлера для определения критической силы и пределы ее применимости; иметь представление о расчетах на устойчивость в случаях, когда формула Эйлера неприменима.

## 2.2.4 Примеры решения задач

### Пример 4.

Кронштейн  $ABC$  состоит из круглой стальной тяги  $AC$  и деревянной распорки квадратного сечения  $BC$  (рисунок 2.20). Определить диаметр тяги  $AC$  и размер сечения распорки  $BC$ , если допускаемые напряжения на растяжение (сжатие) для стали  $[\sigma]_p = 160 \text{ МПа}$  и для дерева  $[\sigma]_c = 13 \text{ МПа}$ . Определить абсолютные деформации тяги, если известно расстояние  $AB = 1 \text{ м}$ . Модуль упругости стали  $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ .

**Дано:**

$$R_1 = 9,2 \text{ кН}$$

$$R_2 = 11,6 \text{ кН}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\beta = 60^\circ$$

**Найти:**

$$d = ?$$

$$b = ?$$

$$\Delta l = ?$$

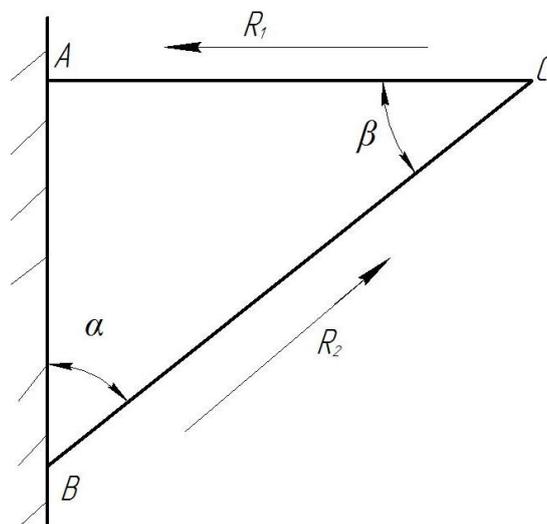


Рисунок 2.20 – Расчетная схема

### Решение

1. Определяем вид деформации стержней.

Так как реакция  $R_1$ , направлена от точки  $C$  к точке  $A$ , то стержень  $AC$  работает на растяжение (реакция «пытается вернуть» его в исходное состояние). Реакция  $R_2$  направлена от точки  $B$  к точке  $C$ , тогда стержень  $BC$  работает на сжатие.

2. Определяем материал стержней (если не задан). Для стержней, работающих на растяжение ( $AC$ ), применяют сталь, а для стержней, работающих на сжатие ( $BC$ ), применяют дерево.

3. Определяем из условия прочности при растяжении-сжатии геометрические размеры поперечного сечения.

Стержень *АС*

$$A \geq \frac{F}{[\sigma]_p}$$

Для стальных стержней принимают круглое сечение (прокат), поэтому выражение имеет вид

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4},$$

где *d* - диаметр сечения.

Подставив уравнение для нахождения площади сечения в условие прочности, решив полученное выражение относительно диаметра *d*, найдем диаметр сечения

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot [\sigma]_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot R_1}{\pi \cdot [\sigma]_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,2 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 160}} = 8,5 \text{ мм.}$$

Стержень *ВС*

$$A \geq \frac{F}{[\sigma]_c}$$

Для деревянных стержней принимают квадратное сечение (брус), поэтому выражение имеет вид

$$A = b^2,$$

где *b* – ширина сечения.

Подставив уравнение для нахождения площади сечения в условие прочности, решив полученное выражение относительно размера *b*, получим

$$b \geq \sqrt{\frac{F}{[\sigma]_c}} = \sqrt{\frac{R_2}{[\sigma]_c}} = \sqrt{\frac{11,6 \cdot 10^3}{13}} = 29,8 \text{ мм.}$$

4. Определить для стальных стержней (*АС*) абсолютное удлинение стержня по формуле:

$$\Delta l = \varepsilon \cdot l,$$

где  $l$  – длина стержня  $BC$ , находим по теореме синусов

$$\frac{AB}{\sin \beta} = \frac{AC}{\sin \alpha'}$$

откуда

$$l = AC = \frac{AB \cdot \sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{1 \cdot \sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{1 \cdot 0,866}{0,5} = 1,73 \text{ м};$$

$\varepsilon$  – относительное удлинение стержня находится из выражения

$$\varepsilon = \frac{F}{A \cdot E} = \frac{R_1 \cdot 4}{\pi \cdot d^2 \cdot E} = \frac{9,2 \cdot 10^3 \cdot 4}{3,14 \cdot (8,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2 \cdot 10^{11}} = 0,0008;$$

Подставив полученные значения в исходное уравнение получим:

$$\Delta l = 0,0008 \cdot 1,73 = 0,0014 \text{ м.}$$

### Пример 5.

Определить поперечные размеры консольно заземленной балки, нагруженной сосредоточенными силами  $F_1 = 15$  кН и  $F_2 = 12$  кН и рассредоточенной силой  $q = 24$  кН/м (рисунок 2.21), методом построения эпюр изгибающих моментов и поперечных сил. Расстояния  $b = 2$  м,  $c = 2,4$  м. Форма сечения - прямоугольник, швеллер и двутавр.

**Дано:**

$$F_1 = 15 \text{ кН}$$

$$F_2 = 12 \text{ кН}$$

$$q = 24 \text{ кН/м}$$

$$b = 2 \text{ м}$$

$$c = 2,4 \text{ м}$$

**Найти:**

$$h = ?$$

$$b = ?$$

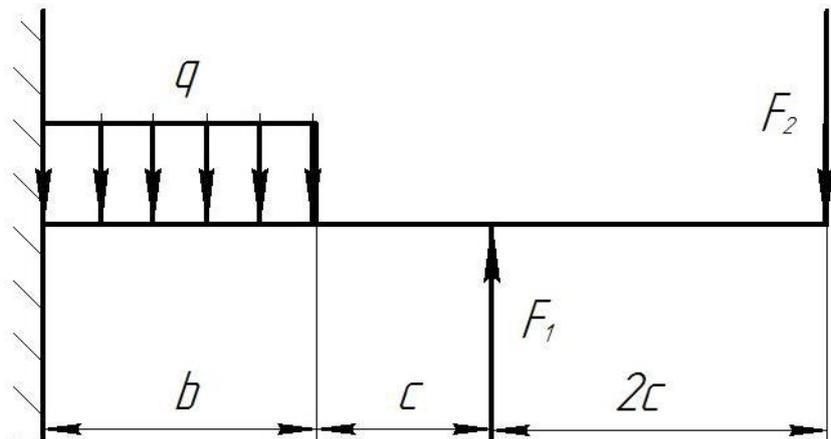


Рисунок 2.21 – Расчетная схема

### Решение

Разобьем балку на три участка. Для построения эпюр проведем две нулевые линии параллельные оси балки; одну – для построения эпюры изгибающего момента, другую – для эпюры поперечной силы.

Рассмотрим сечение I-I на расстоянии  $x$  от свободного конца ( $0 \leq x \leq 4,8$  м) и запишем уравнение изгибающего момента.

$$M_{\text{изг}} = -F_2 \cdot x,$$

$$\text{при } x = 0 - M_{\text{изг}} = -12 \cdot 0 = 0,$$

$$\text{при } x = 4,8 - M_{\text{изг}} = -12 \cdot 4,8 = 57,6 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

Запишем уравнение поперечной силы

$$Q = F_2 = 12 \text{ кН}.$$

Сила  $Q$  не зависит от  $x$ , значит на протяжении всего участка I-I поперечная сила будет равна 12 кН.

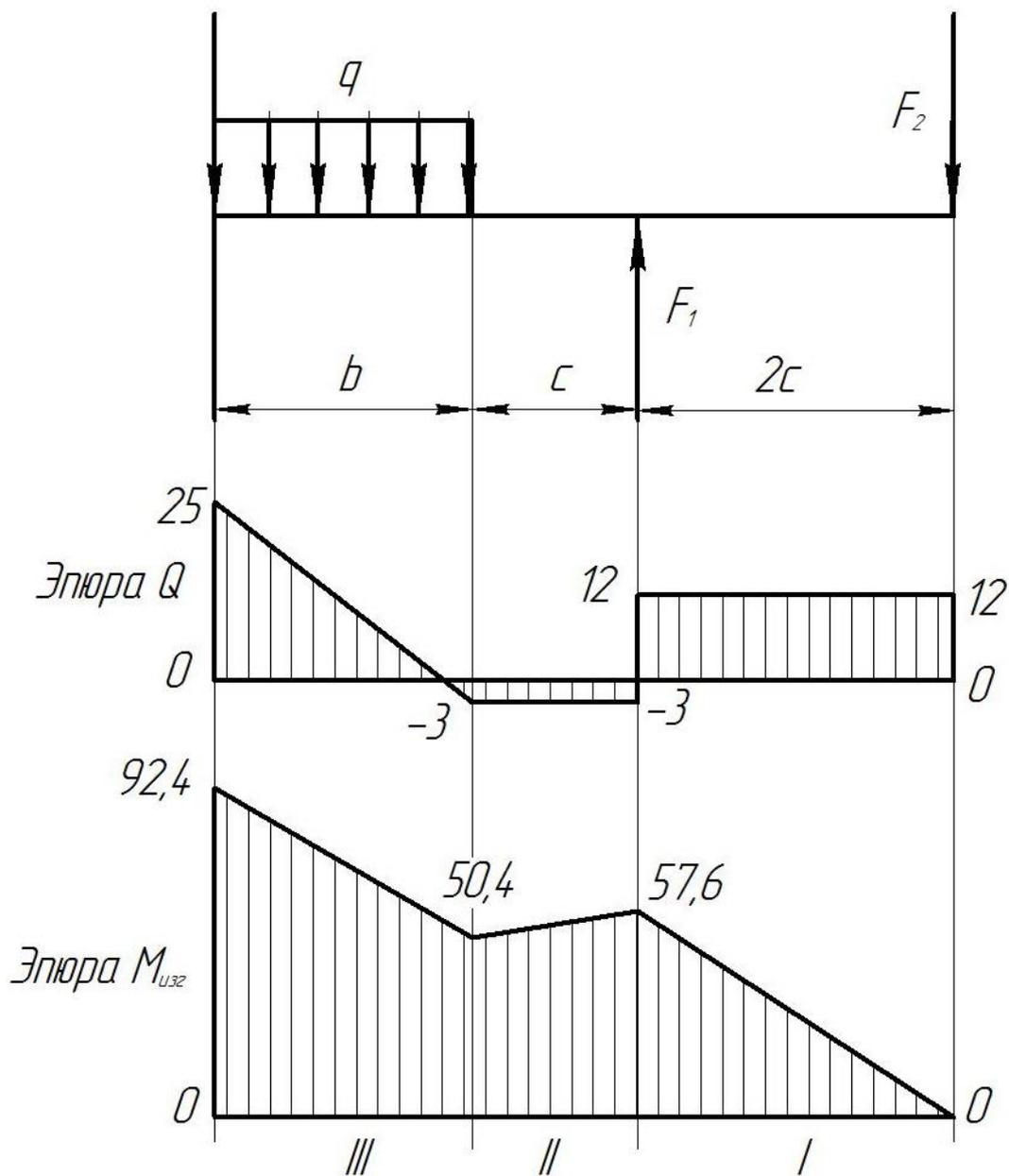


Рисунок 2.22 – Построение эпюр  $Q$  и  $M_{изг}$

Сечение II-II ( $4,8 \text{ м} \leq x \leq 7,2 \text{ м}$ ).

Уравнение изгибающего момента:

$$M_{изг} = -F_2 \cdot x + F_1 \cdot (x - 2 \cdot c),$$

при  $x = 4,8$  –  $M_{изг} = -12 \cdot 4,8 + (4,8 - 4,8) = -57,6 \text{ кН} \cdot \text{м}$ ,

при  $x = 7,2$  –  $M_{изг} = -12 \cdot 7,2 + (7,2 - 4,8) = -50,4 \text{ кН} \cdot \text{м}$ ,

Уравнение поперечной силы:

$$Q = F_2 - F_1 = 12 - 15 = -3 \text{ кН}.$$

Сечение III-III ( $7,2 \text{ м} \leq x \leq 9,2 \text{ м}$ ).

Уравнение изгибающего момента:

$$M_{\text{изг}} = F_2 \cdot x + F_1 \cdot (x - 2 \cdot c) - q \cdot (x - c - 2 \cdot c) \cdot \frac{(x - c - 2 \cdot c)}{2},$$

при  $x = 7,2$  –  $M_{\text{изг}} = -12 \cdot 7,2 + 15 \cdot (7,2 - 2 \cdot 2,4) - 24 \cdot (7,2 - 2,4 - 2 \cdot 2,4) \cdot \frac{(7,2 - 2,4 - 2 \cdot 2,4)}{2} = -50,4 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

при  $x = 9,2$  –  $M_{\text{изг}} = -12 \cdot 9,2 + 15 \cdot (9,2 - 2 \cdot 2,4) - 24 \cdot (9,2 - 2,4 - 2 \cdot 2,4) \cdot \frac{(9,2 - 2,4 - 2 \cdot 2,4)}{2} = -92,4 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

Уравнение поперечной силы:

$$Q = F_2 - F_1 + q \cdot (x - c - 2 \cdot c),$$

при  $x = 7,2$  –  $Q = 12 - 15 + 24 \cdot (7,2 - 2,4 - 4,8) = -3 \text{ кН}$ .

при  $x = 9,2$  –  $Q = 12 - 15 + 24 \cdot (9,2 - 2,4 - 4,8) = 25 \text{ кН}$ .

Выбираем расчетное сечение по максимальному моменту

$$M_{\text{изг}} = 92,4 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

По условию прочности на изгиб имеем

$$\sigma = \frac{M_{\text{изг}}}{W} \leq [\sigma]_{\text{изг}},$$

откуда  $W = \frac{M_{\text{изг}}}{[\sigma]_{\text{изг}}} = \frac{92,4 \cdot 10^3}{150 \cdot 10^6} = 616 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 616 \text{ см}^3$ .

Для двутавра принимаем по сортаменту материалов прокат № 33 со значением  $W = 597 \text{ см}^3$ ;

для швеллера принимаем по сортаменту материалов прокат № 36 со значением  $W = 601 \text{ см}^3$ ;

для прямоугольного сечения принимаем материал сечения - дерево, для которого  $W = \frac{b \cdot h^2}{6}$ ,

причем  $h/b \leq 3$ , где  $h$  и  $b$  - ширина и высота бруса.

Подставив выражения в условие прочности, и решив его относительно размера  $b$ , получим

$$b = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{изг}} \cdot a}{[\sigma]_{\text{изг}} \cdot 3}} = \sqrt[3]{\frac{92,4 \cdot 2}{1,2 \cdot 10^4 \cdot 3}} = 0,1725 \text{ м} = 17,25 \text{ см},$$

отсюда  $h = 3 \cdot 17,25 = 51,75 \text{ см}$ .

### Пример 6.

Построить эпюру крутящих моментов и найти диаметры вала, если на шкив 2 передается мощность  $P = 8 \text{ кВт}$ , частота вращения вала  $n = 200 \text{ мин}^{-1}$ . С ведомых шкивов снимают мощности  $P_1 = 3 \text{ кВт}$ ,  $P_3 = 2 \text{ кВт}$ ,  $P_4 = 3 \text{ кВт}$ . Допускаемое напряжение при кручении  $[\tau]_{\text{кр}} = 60 \text{ Н/мм}^2$ , а допускаемый угол закручивания  $[\varphi] = 0,5 \text{ град/м}$ . Модуль поперечной упругости для стали –  $G = 8 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$ .

### Решение

1. Определяем по исходным данным мощность  $P$ , передаваемую каждым шкивом.

Ведущим является шкив 2, который передает на ведомые шкивы общую мощность  $P_2 = 8 \text{ кВт}$ . Со шкивов 1, 3 и 4 снимают мощности  $P_1 = 3 \text{ кВт}$ ,  $P_3 = 2 \text{ кВт}$ ,  $P_4 = 3 \text{ кВт}$ .

2. Находим угловую скорость вала  $\omega$  по формуле

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 200}{60} = 20,9 \text{ с}^{-1}.$$

3. Приложим на схеме крутящие моменты  $T_{\text{кр}}$  по направлению передачи вращения шкивов (рисунок 2.23).

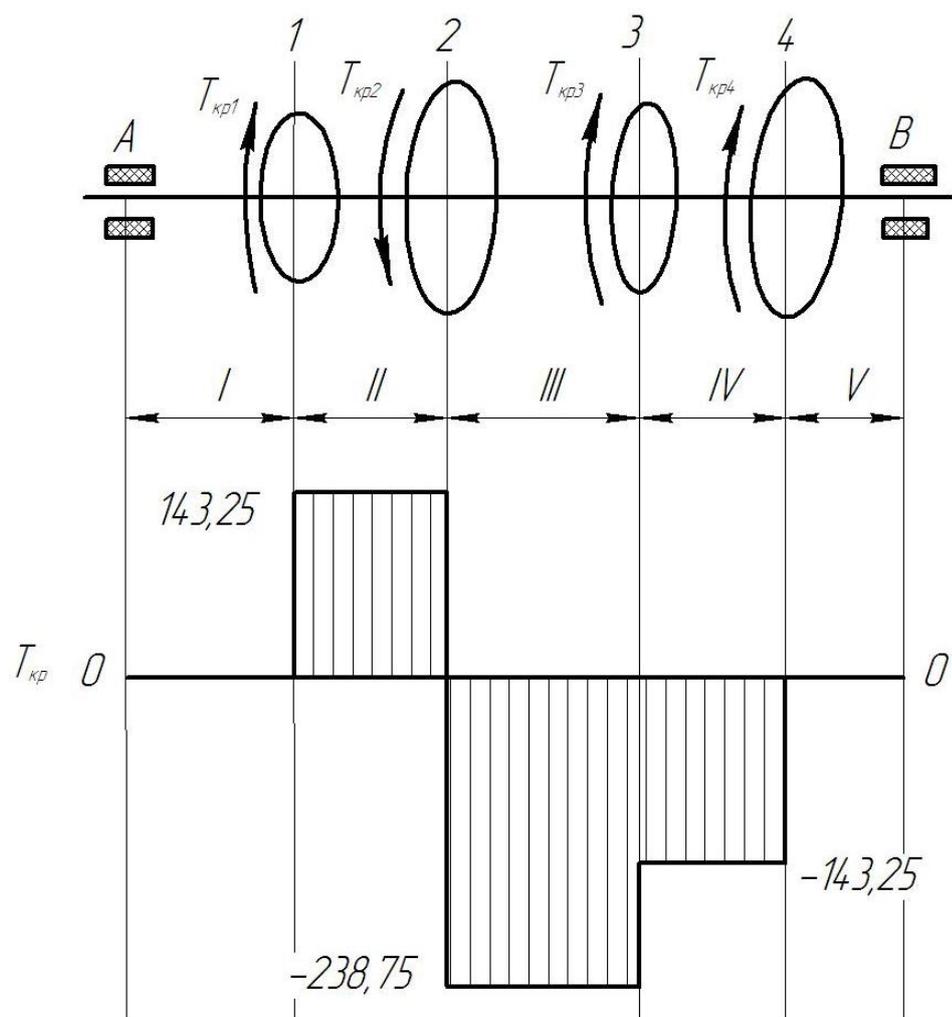


Рисунок 2.23 – Расчетная схема

4. Определяем численные значения моментов  $T_{кр}$ , на каждом шкиве по формулам

$$T_{кр1} = \frac{N_1}{\omega} = \frac{3000}{20,9} = 143,25 \text{ Нм};$$

$$T_{кр2} = \frac{N_2}{\omega} = \frac{8000}{20,9} = 382 \text{ Нм};$$

$$T_{кр3} = \frac{N_3}{\omega} = \frac{2000}{20,9} = 95,50 \text{ Нм};$$

$$T_{кр4} = \frac{N_4}{\omega} = \frac{3000}{20,9} = 143,25 \text{ Нм}.$$

Согласно условию равномерности движения крутящий момент на ведущем шкиве равен сумме моментов на ведомых шкивах

$$T_{кр2} = T_{кр1} + T_{кр3} + T_{кр4}.$$

Производим проверку условия

$$382 = 143,25 + 95,5 + 143,25 - \text{условие выполняется.}$$

5. Строим эпюры крутящих моментов.

Разбиваем вал на участки согласно сечениям, в которых приложены внешние моменты.

Участок I – от опоры А до шкива 1; участок II – между шкивами 1 и 2; участок III – между шкивами 2 и 3, участок IV – между шкивами 3 и 4, участок V – между шкивом 4 и опорой В.

Определяем крутящие моменты на каждом участке по величине и знаку.

$$\text{Участок I} - T_{крI} = 0;$$

$$\text{участок II} - T_{крII} = T_{кр1} = 143,25 \text{ Нм};$$

$$\text{участок III} - T_{крIII} = T_{крII} - T_{кр2} = 143,25 - 382 = -238,75 \text{ Нм};$$

$$\text{участок IV} - T_{крIV} = T_{крIII} + T_{кр3} = -238,75 + 95,5 = -143,25 \text{ Нм};$$

$$\text{участок V} - T_{крV} = T_{крIV} + T_{кр4} = -143,25 + 143,25 = 0.$$

Строим в масштабе эпюры крутящих моментов, отложив полученные значения от нулевой линии с учетом знаков (рисунок 2.23).

6. Определяем опасные сечения. Из эпюры видно, что опасное сечение будет находиться на участке III.

7. Определяем размеры сечений из условия прочности, приняв сечение круглым. Подставив в условие прочности значение полярного момента сопротивления, и решив полученное выражение относительно диаметра, получим следующее выражение для расчета

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{кр}}{\pi \cdot [\tau]_{кр}}}.$$

$$\text{Принимаем } [\tau]_{кр} = 60 \text{ Н/мм}^2, T_{кр} = T_{крIII} = 238,75 \text{ Н м.}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 238,75 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 60}} = 27,27 \text{ мм.}$$

8. Определяем размеры сечений из условия жесткости. Подставили в условие жесткости значение полярного момента инерции сечения и решив полученное выражение относительно диаметра, получим следующее выражение для расчета:

$$d = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot 180^\circ \cdot M_{кр} \cdot 1000}{[\Theta] \cdot \pi^2 \cdot G}}$$

Принимаем  $T_{кр} = T_{крIII} = 283,75 \text{ Нм}$ ,  $[\Theta] = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ град/мм}$ ,  $G = 8 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$ ;

$$d = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot 180^\circ \cdot 238,75 \cdot 1000}{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14^2 \cdot 8 \cdot 10^4}} = 43 \text{ мм.}$$

Сравниваем результаты расчетов и принимаем больший размер. Окончательный размер  $d = 43 \text{ мм}$ .

### Пример 7.

Определить диаметр заклепок в заклепочном соединении внахлестку (рисунок 2.24), если растягивающее усилие  $F = 80 \text{ кН}$ , толщина листов  $\delta = 10 \text{ мм}$ , число заклепок  $n = 4$ . Допускаемые напряжения на срез  $[\tau]_{ср} = 80 \text{ Н/мм}^2$ , на смятие -  $[\sigma]_{см} = 200 \text{ Н/мм}^2$ .

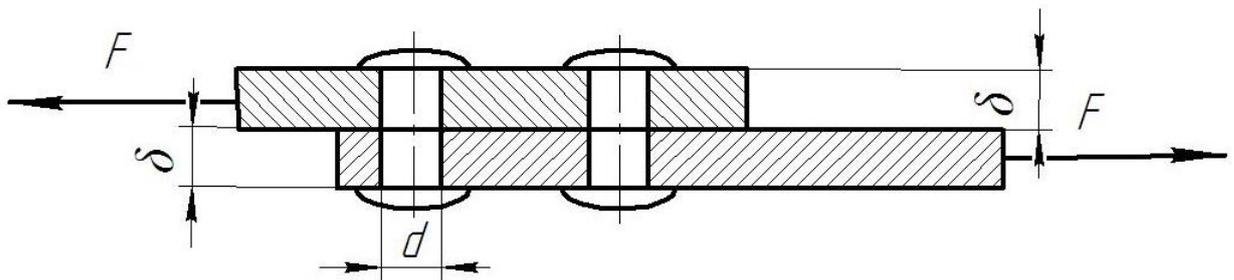


Рисунок 2.24 – Расчетная схема заклепочного соединения

### Решение

Условие прочности на срез имеет вид

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F}{n \cdot A_{\text{ср}}} \leq [\tau]_{\text{ср}}.$$

Найдем общую площадь среза заклепок

$$A_{\text{ср}} = \frac{F}{n \cdot \tau_{\text{ср}}} = \frac{80\,000}{4 \cdot 80} = 250 \text{ мм}^2.$$

С другой стороны площадь среза

$$A_{\text{ср}} = \frac{m \cdot \pi \cdot d^2}{4}.$$

Откуда

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{ср}}}{m \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 250}{1 \cdot 3,14}} = 17,85 \text{ мм}.$$

Принимаем  $d = 18$  мм.

Условие прочности на смятие имеет вид

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{F}{n \cdot A_{\text{см}}} \leq [\sigma]_{\text{см}}.$$

Найдем общую площадь смятия заклепок

$$A_{\text{см}} = \frac{F}{n \cdot [\sigma]_{\text{см}}} = \frac{80\,000}{4 \cdot 200} = 100 \text{ мм}^2.$$

С другой стороны площадь смятия  $A_{\text{см}} = \delta \cdot d$ .

Откуда  $d = \frac{A_{\text{см}}}{\delta} = \frac{100}{10} = 10$  мм.

Наиболее опасной будет деформация среза, потому принимаем диаметр заклепок  $d = 18$  мм.

### Пример 8.

Два листа толщиной  $\delta_1 = 15$  мм соединены двухсторонними накладной толщиной  $\delta_2 = 8$  мм (рисунке 2.25). Соединение передает усилие  $F = 200$  кН. Определить число заклепок диаметром  $d = 16$  мм, которое  $F$

необходимо поставить с каждой стороны стыка. Допускаемые напряжения на срез  $[\tau]_{\text{ср}} = 100 \text{ Н/мм}^2$ , на смятие –  $[\sigma]_{\text{см}} = 200 \text{ Н/мм}^2$ .

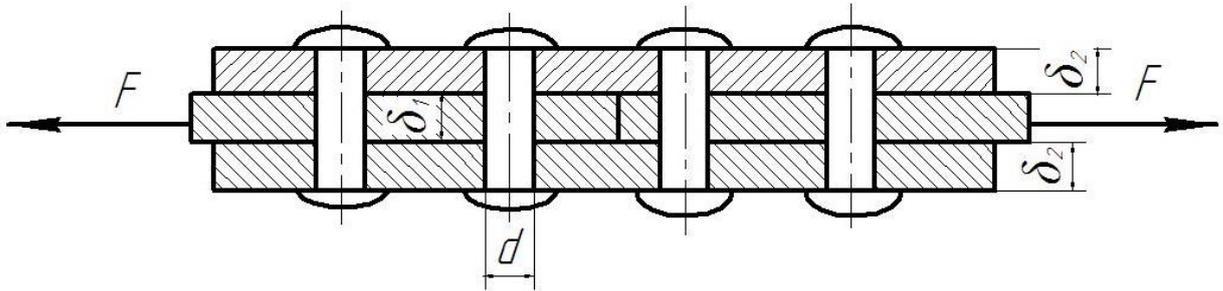


Рисунок 2.25 – Расчетная схема заклепочного соединения с двумя накладками

### Решение

Площадь среза  $A_{\text{ср}}$  найдем по формуле

$$A_{\text{ср}} = \frac{m \cdot \pi \cdot d^2}{4} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 16^2}{4} = 401,92 \text{ мм}^2.$$

Условие прочности на срез имеет вид

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F}{n \cdot A_{\text{ср}}} \leq [\tau]_{\text{ср}}.$$

Откуда найдем количество заклепок

$$n = \frac{F}{A_{\text{ср}} \cdot [\tau]_{\text{ср}}} = \frac{200\,000}{401,92 \cdot 100} = 4,97.$$

Принимаем количество заклёпок  $n = 5$  штук.

Площади смятия  $A_{\text{см}}$  найдем по формуле

$$A_{\text{см}} = \delta \cdot d = 15 \cdot 16 = 240 \text{ мм}^2.$$

Условие прочности смятие имеет вид

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{F}{n \cdot A_{\text{см}}} \leq [\sigma]_{\text{см}}.$$

Откуда найдем количество заклепок

$$n = \frac{F}{A_{\text{см}} \cdot [\sigma]_{\text{см}}} = \frac{200\,000}{240 \cdot 200} = 4,16.$$

С каждой стороны стыка нужно установить по 5 заклепок, т.е. общее число заклепок в соединении – 10 штук.

### Пример 9.

Определить необходимую длину швов  $l$  в сварном соединении. Толщина полосы  $\delta = 10$  мм, ширина  $b = 150$  мм. Сила, растягивающая соединение,  $F = 200$  кН. Допускаемое напряжение на срез  $[\tau]_{\text{ср}} = 60$  Н/мм<sup>2</sup>.

1. Определить тип сварочного соединения и вид шва.

На рисунке 2.26 изображен комбинированный угловой шов, сваривающий лист и стальную полосу внахлестку.

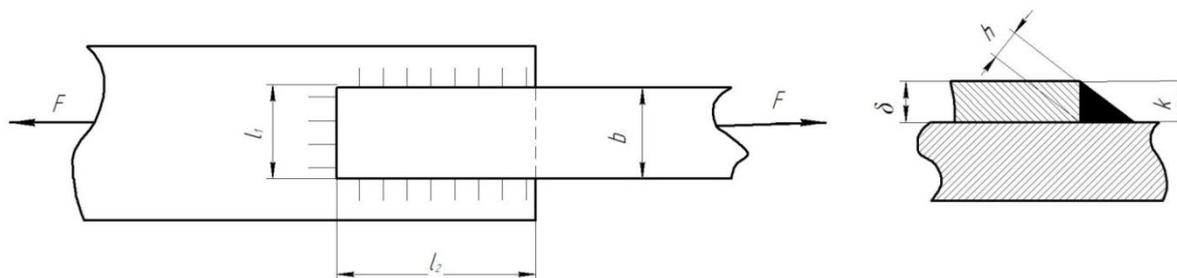


Рисунок 2.26 – Схема сварного соединения внахлестку угловыми швами

2. Определить полную длину шва из условия прочности на срез.

Условие прочности на срез имеет вид

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F}{0,7 \cdot k \cdot l_{\text{ш}}} \leq [\tau]_{\text{ср}}$$

Откуда найдем полную длину шва

$$l_{\text{ш}} = \frac{F}{0,7 \cdot k \cdot [\tau_{\text{ср}}]} = \frac{200\,000}{0,7 \cdot 10 \cdot 60} = 486 \text{ мм.}$$

3. Определить длину каждого шва.

С другой стороны, т.к. комбинированный угловой шов состоит из двух фланговых и одного лобового шва, полную длину шва  $l_{\text{ш}}$  можно найти по формуле

$$l_{\text{ш}} = l_1 + 2 \cdot l_2,$$

где  $l_1$  – длина лобового шва,

$l_2$  – длина флангового шва.

Лобовой шов  $l_1$ , равен ширине полосы

$$l_1 = b = 150 \text{ мм.}$$

Фланговые швы находим из выражения

$$l_2 = \frac{(l_{\text{ш}} - l_1)}{2} = \frac{(486 - 150)}{2} = 168 \text{ мм.}$$

Принимаем длину каждого флангового шва 170 мм.

### 3 ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

#### Задача 1.

Определить усилие  $R_1$  и  $R_2$  в стержнях кронштейна, если стержни  $AC$  и  $BC$  соединены между собой и опорой  $AB$  при помощи шарниров (рисунок 3.1). Данные для расчета приведены в таблице 3.1.

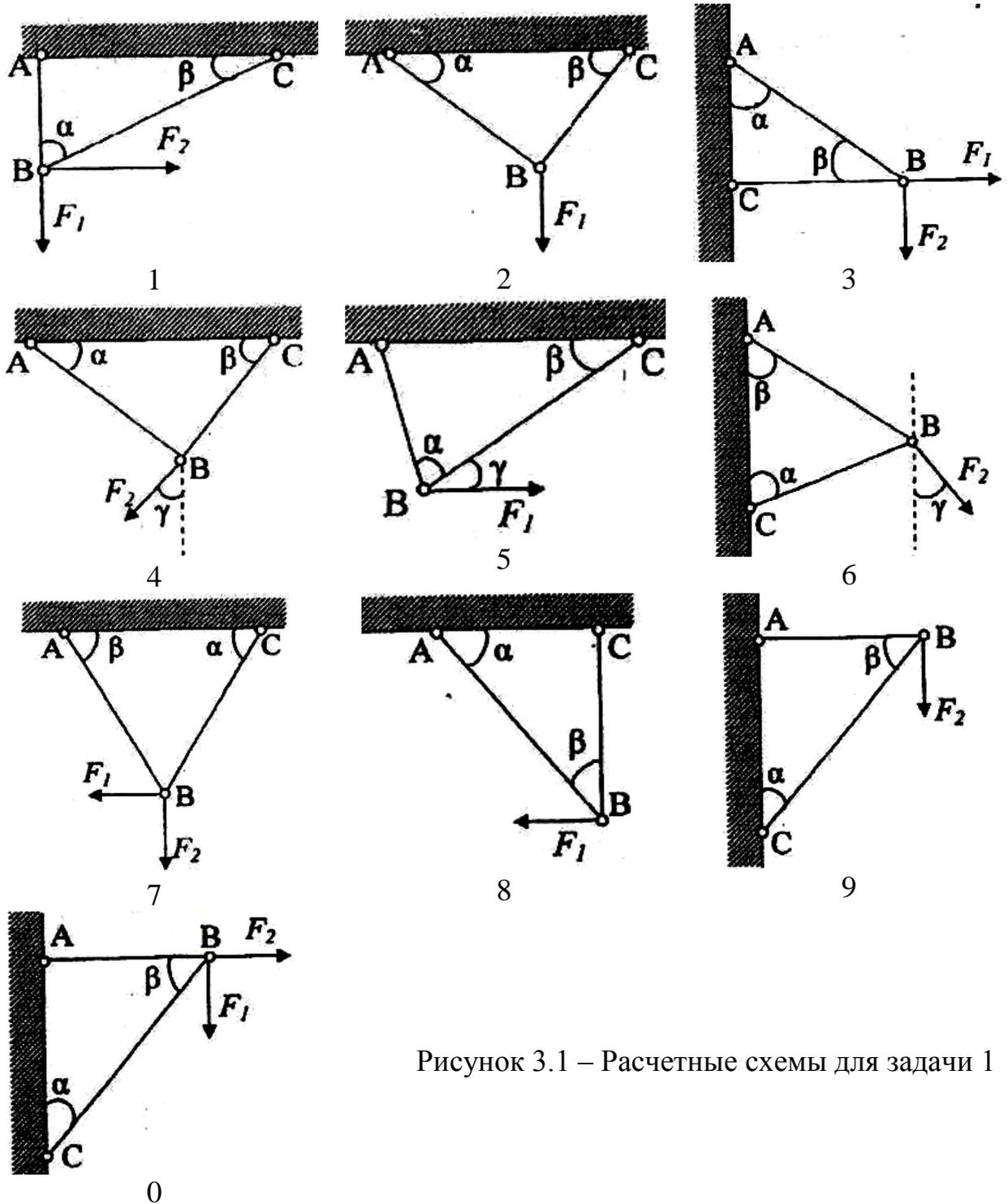


Рисунок 3.1 – Расчетные схемы для задачи 1

Таблица 3.1 – Исходные данные для расчета задачи 1

№ варианта	$F_1$ , кН	$F_2$ , кН	$\alpha$ , <sup>0</sup>	$\beta$ , <sup>0</sup>	$\gamma$ , <sup>0</sup>
0	25	18	15	25	40
1	50	20	30	75	20
2	4	1,5	36	54	30
3	30	15	45	35	40
4	3,5	1	29	61	50
5	20	10	60	20	15
6	5	7	15	45	25
7	40	25	35	55	30
8	10	30	25	65	10
9	25	18	15	25	40

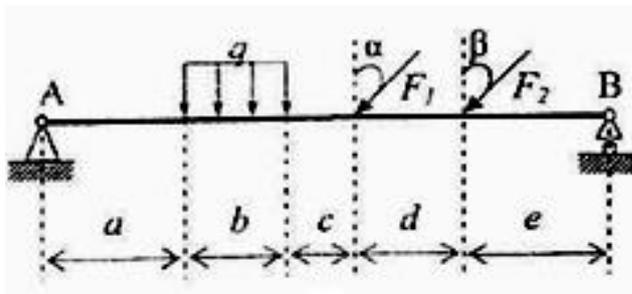
**Задача 2.**

Определить опорные реакции балки, шарнирно закрепленной на двух опорах и нагруженной согласно схеме, изображенной на рисунке 3.2. Данные для расчета приведены в таблице 3.2. Угол  $\alpha = 30^0$ ,  $\beta = 45^0$ .

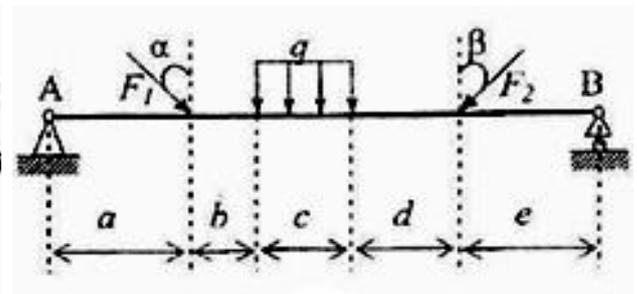
Вариант схемы выбирается по последней цифре зачетной книжки (рисунок 3.2), вариант исходных данных – по предпоследней цифре зачетной книжки (таблица 3.2) или по указанию преподавателя.

Таблица 3.2 – Исходные данные для расчета задачи 2

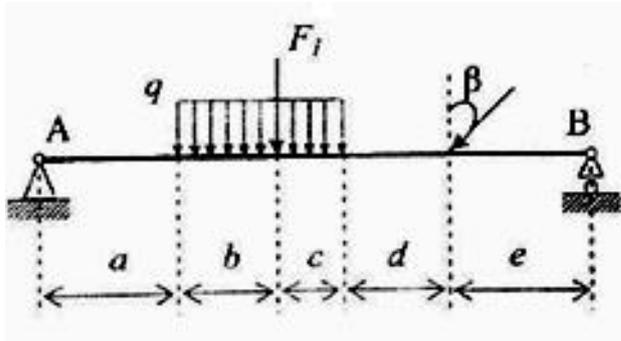
№ варианта	$F_1$ , кН	$F_2$ , кН	$q$ , кН/м	Размеры, м				
				$a$	$b$	$c$	$d$	$e$
0	5	10	2,5	3	1	2,5	5	1
1	1	6	0,4	2	4	3	5	6
2	2	5	0,8	3	2	4	3	5
3	1,2	4	1	4	3	5	4	2
4	1,5	4,5	1,2	2	6	6	6	7
5	1,4	9	1,5	3	3	3	2	6
6	2,5	5,8	2,5	4	2	2	1	5
7	1,6	3,5	3	1	5	1	2	4
8	3	6,4	0,6	2	4	4	6	3
9	1,8	2,5	0,9	5	1	5	4	2



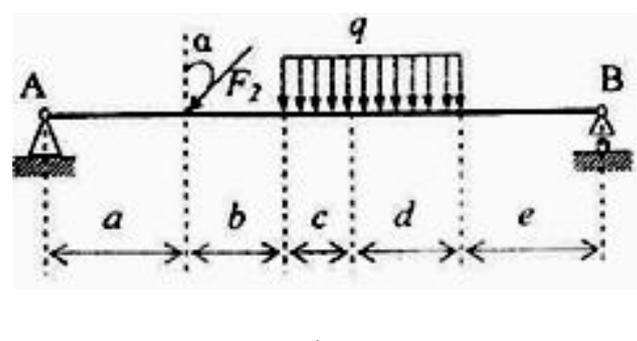
1



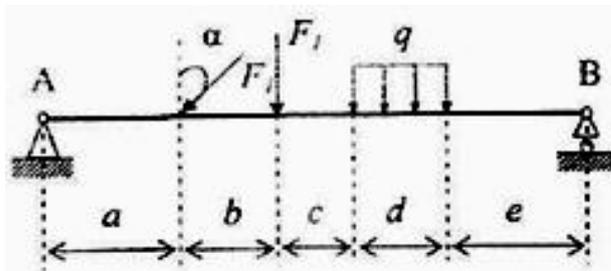
2



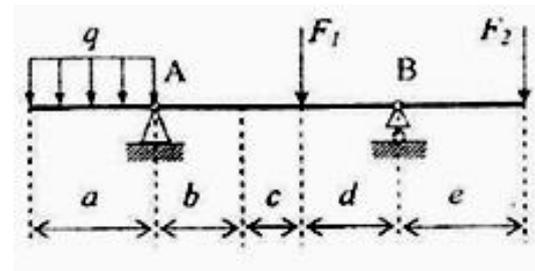
3



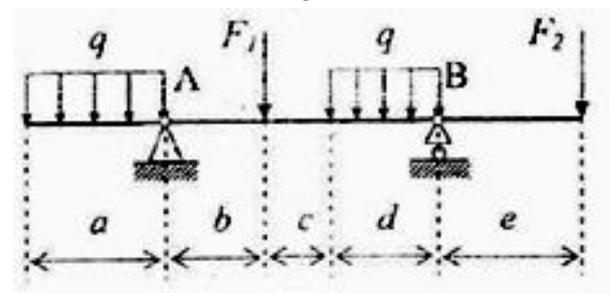
4



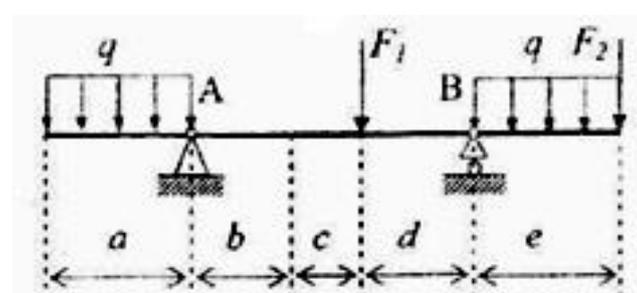
5



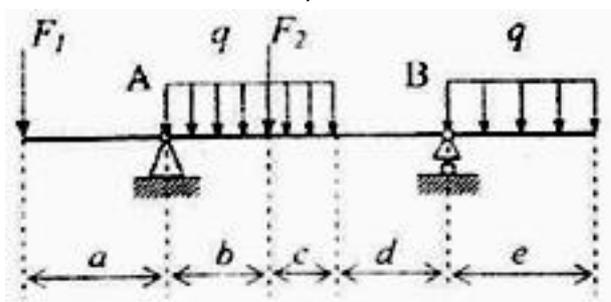
6



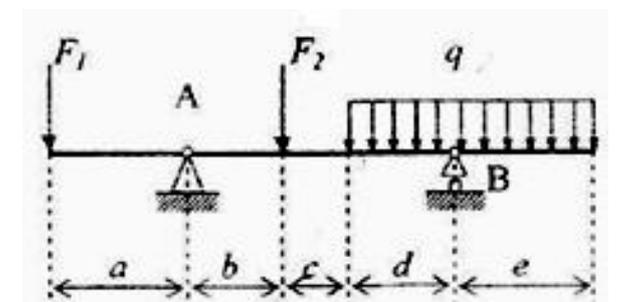
7



8



9



0

Рисунок 3.2 – Расчетные схемы к задаче 2

### Задача 3.

Кронштейн  $ABC$  состоит из шарнирно закрепленных стержней  $AB$  и  $BC$  (рисунок 3.1). Определить материал, форму и размер сечений кронштейнов  $AB$  и  $BC$ , если допускаемые напряжения на растяжение для стали  $[\sigma]_p = 160 \text{ МПа}$  и на сжатие для дерева  $[\sigma]_c = 13 \text{ МПа}$ . Определить абсолютные деформации стальных стержней, если известно расстояние  $AB$ . Модуль упругости стали  $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ . Расчетную схему и значения реакций  $R_1$  и  $R_2$  в стержнях принимаем по итогам решения задачи 1.

Таблица 3.3 – Исходные данные для задачи 3

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$AB$ , м	1,00	2,00	3,00	2,50	1,50	1,80	3,50	2,75	1,25	1,75

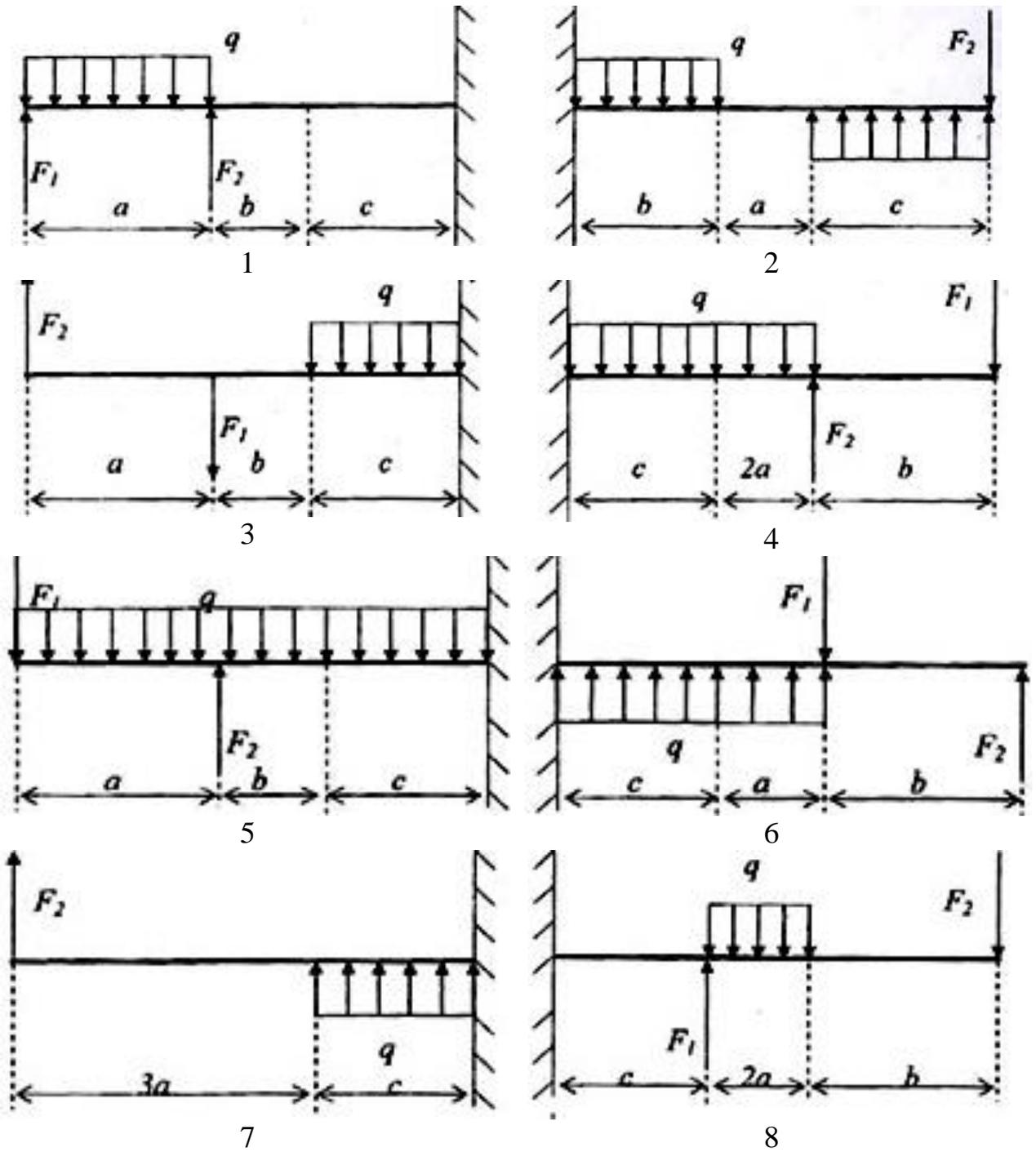
### Задача 4.

Определить размеры сечения консольно заземленной балки, нагруженной сосредоточенными силами  $F_1$  и  $F_2$ , и рассредоточенной силой  $q$  (рисунок 3.3), методом построения эпюр изгибающих моментов и поперечных сил. Расстояние  $a$ ,  $b$  и  $c$  принять по таблице 3.4. Форма сечения для четных вариантов – прямоугольник и швеллер, для нечетных вариантов – прямоугольник в двутавр. Допускаемое напряжение для стали принять  $[\sigma] = 150 \text{ МПа}$ . Вариант схемы принимать по последней цифре зачетной книжки (рисунок 6), вариант исходных данных принимать по предпоследней цифре зачетной книжки (таблица 3.4) или по указанию преподавателя.

Таблица 3.4 – Исходные данные для задачи 4

№ варианта	$F_1$ , кН	$F_2$ , кН	$q$ , кН·м	$a$ , м	$b$ , м	$c$ , м
1	15	12	24	1,6	2,0	2,4
2	12	16	16	2,0	2,2	1,6
3	25	22	18	2,4	1,8	1,4
4	20	24	14	2,5	1,6	1,5
5	16	18	20	1,8	1,4	2,2
6	18	20	12	1,5	2,5	1,8

7	25	17	22	1,2	2,4	1,0
8	10	20	26	1,4	1,2	2,6
9	19	10	10	2,2	1,0	2,0
0	24	15	30	1,0	1,8	1,2



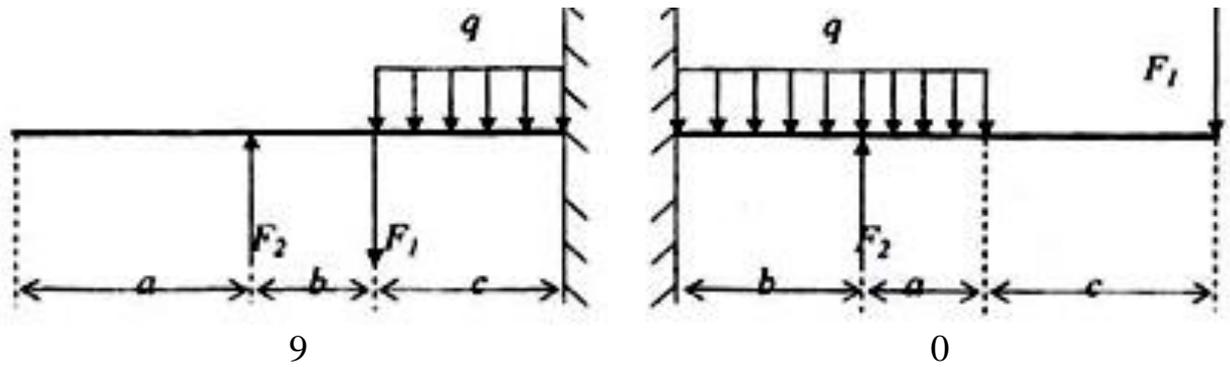


Рисунок 3.3 – Расчетные схемы для задачи 4

### Задача 5.

Трансмиссионный стальной вал сплошного сечения (рис. 3.4) вращается с частотой  $n$ . На ведущий шкив вала передается мощность  $P$ . Определить диаметр вала  $d$  в каждом сечении из условия прочности и жесткости на кручение, решая задачу методом сечений при помощи построения эпюр. Распределение мощности по ведомым валам, а также допустимое напряжение  $[\tau]_{кр}$  и допустимый угол закручивания  $[\vartheta]$  приведены в таблице исходных данных. Данные для расчета принимать по таблице 3.5, согласно выданному варианту по двум последним цифрам зачетной книжки. Модуль поперечной упругости для стали –  $G = 8 \cdot 10^4 \text{ Н/мм}^2$ .

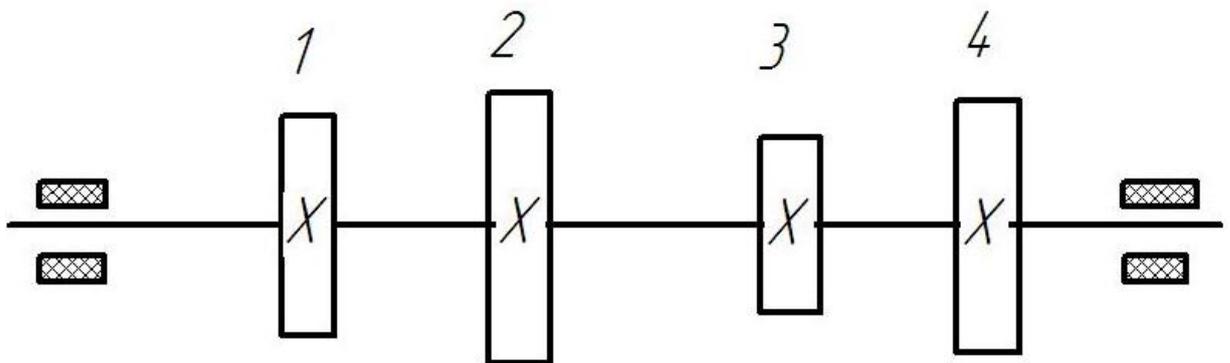


Рисунок 3.4 – Схема трансмиссионного вала

Таблица 3.5 – Исходные данные для расчета задачи 5

№ варианта	Мощность Р, кВт	Частота n, мин <sup>-1</sup>	Мощность на шкивах, кВт				[τ] <sub>кр</sub> , Н/мм <sup>2</sup>	[ϕ], град/м
			1	2	3	4		
1	10	360	0,4	N	0,2	0,4	90	0,30
2	12	300	0,6	0,2	N	0,2	95	0,30
3	11	280	0,3	N	0,3	0,4	100	0,40
4	13	250	0,5	0,2	N	0,3	105	0,35
5	14	275	0,4	N	0,2	0,4	110	0,40
6	15	290	0,3	0,3	N	0,4	100	0,35
7	11	300	0,2	N	0,3	0,5	80	0,25
8	12	330	0,3	0,4	N	0,3	85	0,25
9	10	340	0,2	N	0,4	0,4	90	0,30
0	8	350	0,3	0,4	N	0,3	100	0,30

### Задача 6.

Определить диаметр заклепок в заклепочном соединении внахлестку (рисунок 2.24), если задано растягивающее усилие  $F$ , толщина листов  $\delta$ , число заклепок  $n$ . Допускаемые напряжения на срез  $[\tau]_{ср} = 90 \text{ Н/мм}^2$ , на смятие  $[\sigma]_{см} = 300 \text{ Н/мм}^2$ . Данные расчета надо принимать по таблице 3.6, согласно выданному варианту.

Таблица 3.6 - Исходные данные для расчета задачи 6

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$F$ , кН	300	280	400	320	450	360	250	350	380	420
$\delta$ , мм	8	10	12	8	10	12	12	10	8	10
$n$ , штук	4	5	6	4	6	5	4	5	4	6

### Задача 7.

Два листа толщиной  $\delta_1$ , соединены двухсторонними накладками толщиной  $\delta_2$  (рисунок 2.25). Соединение передает усилие  $F$ . Определить число заклепок диаметром  $d$ , которое необходимо поставить с каждой стороны стыка. Допускаемые напряжения на срез –  $[\tau]_{см}$ , на смятие –  $[\sigma]_{см}$ . Данные для расчета принимать по таблице 3.7, согласно выданному

варианту. Для вариантов с 16 по 30, исходные данные брать с 1 по 15 вариант, со следующими поправками: нагрузку  $F$  увеличить на 20%, диаметр заклепки уменьшить в 2 раза (если число получается дробное, то округлить до целого в большую сторону).

Таблица 3.7 – исходные данные для расчета задачи 7

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$F$ , кН	200	210	220	240	250	300	290	200	270	250
$\delta_1$ , мм	16	17	18	19	20	20	19	18	17	16
$\delta_2$ , мм	6	7	8	9	10	8	7	6	9	8
$d$ , мм	12	13	14	15	16	19	18	16	14	12
$[\tau]_{\text{ср}}$ , МПа	100	100	80	90	100	90	80	100	90	80
$[\sigma]_{\text{см}}$ , МПа	200	300	200	300	200	200	300	200	200	300

### Задача 8.

Определить необходимую длину швов в сварном соединении внахлестку стальной полосы толщиной  $\delta$  и листа (рис. 2.26). Если заданы ширина полосы  $b$  и сила  $F$ , растягивающая соединение.

Допускаемое напряжение на срез  $[\tau]_{\text{ср}} = 100 \text{ Н/мм}^2$ . Данные для расчета принимать по таблице 3.8, согласно выданному варианту.

Таблица 3.8 – Исходные данные для расчета

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$F$ , кН	300	320	340	360	380	400	325	350	375	400
$\delta$ , мм	6	8	10	12	6	10	10	6	9	10
$b$ , мм	150	140	160	120	180	130	150	170	200	190

## 4 ОЦЕНКА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Требования по оформлению контрольной работы

В контрольную работу включено восемь задач по десять вариантов каждой задачи.

Вариант контрольного задания определяется по последней цифре шифра (номера личного дела) учащегося.

Задания, сдаваемые на проверку, должны быть выполнены и оформлены в соответствии со следующими требованиями:

- Задачи решаются в специальной тетради и ход решения каждой задачи должен сопровождаться пояснениями.
- Задание надо выполнять аккуратным почерком, ручкой одного цвета.
- Чертежи схем должны быть выполнены в соответствии с требованиями ЕСКД и только карандашом.
- Порядок подстановки числовых значений должен соответствовать порядку расположения в формуле буквенных обозначений этих величин.
- При решении задач применять Международную систему единиц (СИ), а также кратные и дольные от них.
- Для обозначения основных общетехнических величин использовать только стандартные символы.
- Тщательно проверить правильность всех вычислений, обратить особое внимание на соблюдение правильности размерностей, подставленных в формулу значений.
- В заключении необходимо указать список литературы, используемой студентом при выполнении контрольной работы.

## 4.2 Критерии оценивания контрольной работы

Контрольная работа по дисциплине «Техническая механика» выполняется после изучения разделов «Теоретическая механика» и «Сопроотивление материалов».

Контрольная работа проходит две стадии проверки: первая – рецензирование листов преподавателем (в присутствии студента или без него), вторая устная защита листов студентов.

Перечень листов контрольной работы:

- титульный лист;
- решение задач контрольной работы.

«зачтено» выставляется студенту, если все задания контрольной работы выполнены в срок, оформление, структура и стиль работы образцовые; работа выполнена самостоятельно, присутствуют собственные обобщения, заключения и выводы; правильные ответы на все вопросы при защите контрольной работы, возможно допущение 1-2 ошибок, которые сам же исправляет.

«не зачтено» выставляется студенту, если задания в контрольной работе выполнены не полностью или неправильно; отсутствуют или сделаны неправильные выводы и обобщения; оформление работы не соответствует требованиям; нет ответов на вопросы при защите работы. В этом случае студенту предстоит повторная защита.

### 4.3 Примерный перечень вопросов к зачету

#### *Модуль 1. Теоретическая механика*

1. Статика как раздел теоретической механики. Основные понятия статики (равновесие, сила, система сил, равнодействующая, уравновешивающая). Классификация систем сил.
2. Свободные и несвободные тела. Связи. Реакции связей. Виды связей и их реакции.
3. Проекция силы на ось.
4. Система сходящихся сил. Определение равнодействующей системы сходящихся сил. Условия равновесия системы сходящихся сил в геометрической форме. Условия равновесия плоской системы сходящихся сил в аналитической форме.
5. Момент силы относительно точки. Модуль момента силы. Правило знаков.
6. Пара сил. Момент пары. Правило знаков для момента пары. Свойства пар сил. Условия равновесия пар сил.
7. Плоская произвольная система сил. Главный вектор и главный момент плоской произвольной системы сил. Условия равновесия плоской произвольной системы сил в геометрической и аналитической форме. Случай параллельных сил.
8. Трение. Равновесие при наличии сил трения. Угол трения.
9. Кинематика как раздел теоретической механики. Основные понятия кинематики (движение, механическое движение, закон движения, траектория, материальная точка). Цели и задачи раздела кинематика.
10. Векторный способ задания движения материальной точки. Скорость и ускорение точки при векторном способе задания движения.
11. Координатный способ задания движения материальной точки. Скорость и ускорение точки при координатном способе задания движения.
12. Естественный способ задания движения материальной точки.

Скорость и ускорение точки в проекциях на оси естественного трехгранника.

13. Скорость точки тела при плоскопараллельном движении. Теорема о сложении скоростей точек плоской фигуры.

14. Теорема о проекциях скоростей точек плоской фигуры.

15. Динамика как раздел теоретической механики. Основные понятия динамики (материальная точка, сила, движение, инертность, масса, вес). Законы Ньютона.

16. Первая (прямая) задача динамики и ее решение. Вторая (обратная) задача динамики и ее решение.

17. Основной закон динамики в векторной форме и проекциях на оси прямоугольной системы координат.

18. Относительное движение материальной точки. Переносная и Кориолисова силы инерции. Принцип относительности классической механики (Галилея).

19. Свободные колебания материальной точки. Амплитуда, частота, период.

20. Вынужденные колебания материальной точки. Резонанс.

21. Механическая система. Внешние и внутренние силы. Свойства внутренних сил механической системы. Масса механической системы. Центр масс. Радиус-вектор и координаты центра масс.

22. Принцип Даламбера для свободной материальной точки и несвободной механической системы. Силы инерции. Главный вектор и главный момент сил инерции.

## *Модуль 2. Сопротивление материала*

1. Задачи науки о сопротивлении материалов, последовательность решения их применительно к тому или иному реальному объекту (привести пример).
2. Какие внутренние силовые факторы могут возникать в поперечном сечении бруса и как определить их величины?
3. С какой целью вводится понятие “напряжение”. Определение напряжений, их виды.
4. Связь каких величин устанавливает закон Гука? Каков физический смысл модуля  $E$ ?
5. В чем сходство и различие понятий “прочность материала” и “прочность детали”?
6. Зачем вводится понятие “допускаемое напряжение”, от чего зависит его величина?
7. С какой целью проводятся механические испытания материалов (привести примеры)?
8. Назвать основные прочностные характеристики материала. Как получить их опытным путем?
9. С какой целью снимается диаграмма растяжения? Указать характерные зоны на диаграмме.
10. Связаны или нет между собой модули  $E$ ;  $G$  и коэффициент  $\mu$ ?
11. Как изменится длина и диаметр круглого бруса при скручивании? Почему?
12. Показать, как зависит от крутящего момента величина угла закручивания вала?
13. В чем заключается расчет вала на прочность? В чем сходство и различие расчетных формул для валов круглого и прямоугольного сечения?

#### 4.4 Критерии оценивания зачета

Допуск к зачету состоит из зачетной контрольной работы, выполненных лабораторных работ в период сессии, а также присутствия на сессии.

Оценка «зачтено» предполагает:

- хорошее знание основных терминов и понятий курса;
- последовательное изложение материала курса;
- умение формулировать некоторые обобщения по теме вопросов;
- достаточно полные ответы на вопросы при зачете;
- умение использовать фундаментальные понятия из базовых естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин при ответе на зачете;
- Набрать 60-100 баллов за семестр.

Оценка «не зачтено» предполагает:

- неудовлетворительное знание основных терминов и понятий курса;
- отсутствие логики и последовательности в изложении материала курса;
- неумение формулировать отдельные выводы и обобщения по теме вопросов;
- неумение использовать фундаментальные понятия из базовых естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин при ответах;
- набрано менее 60 баллов за семестр.

## 4.5 Банк тестовых заданий

Промежуточный контроль знаний (итоговый контроль по дисциплине) – зачет может проводиться в форме тестирования. Тестовые задания по дисциплине «Техническая механика» предусмотрены для проверки знаний обучающихся за первый семестр изучения дисциплины. Банк тестовых заданий включает 207 заданий с разбивкой на модули. Каждый вариант контрольного тестового задания содержит 10 вопросов. Все задания закрытого типа.

Приведенные вопросы (задания) тестового контроля позволят студенту самостоятельно проконтролировать свои знания по разделам «Теоретическая механика» и «Соппротивление материалов».

Тест может быть опробован частично при контроле изучения отдельных разделов и в полном объеме как аттестация изучения дисциплины.

### 4.5.1 Теоретическая механика

#### I Дополнить предложения

1. Статика – это раздел теоретической механики, который изучает:
  - а) механическое движение материальных твердых тел и их взаимодействие;
  - б) условия равновесия тел под действием сил;
  - в) движение тел как перемещение в пространстве; характеристики тел и причины, вызывающие движение, не рассматриваются;
  - г) движение тел под действием сил.
  
2. Сила – это:
  - а) векторная величина, характеризующая механическое взаимодействие тел между собой;
  - б) скалярная величина, характеризующая механическое взаимодействие тел между собой;

в) векторная величина, характеризующая динамическое взаимодействие тел между собой;

г) скалярная величина, характеризующая динамическое взаимодействие тел между собой.

3. Единицей измерения силы является:

а) 1 Дж;                      б) 1 Па;                      в) 1 Н;                      г) 1 кг.

4. Линия действия силы – это:

а) прямая, перпендикулярно которой расположена сила;

б) прямая, на которой лежит сила;

в) луч, на котором лежит сила;

г) луч, указывающий направление движения силы.

5. Система сил – это:

а) совокупность всех векторных величин, действующих на одно тело;

б) совокупность всех скалярных величин, действующих на соседние тела;

в) совокупность всех векторных величин, действующих на соседние тела;

г) совокупность всех скалярных величин, действующих на одно тело.

6. Абсолютно твёрдое тело – это:

а) физическое тело, размерами которого можно пренебречь, по сравнению с расстоянием на котором оно находится;

б) условно принятое тело, размерами которого можно пренебречь, по сравнению с расстоянием на котором оно находится;

в) физическое тело, которое не подвержено деформации;

г) условно принятое тело, которое не подвержено деформации.

7. Материальная точка - это:

- а) физическое тело, размерами которого можно пренебречь, по сравнению с расстоянием на котором оно находится;
- б) условно принятое тело, размерами которого можно пренебречь, по сравнению с расстоянием на котором оно находится;
- в) физическое тело, которое не подвержено деформации;
- г) условно принятое тело, которое не подвержено деформации.

8. Равнодействующая сила – это:

- а) такая сила, которое оказывает на тело такое же действие, как и все силы воздействующие на тело вместе взятые;
- б) такая сила, которое оказывает на тело такое же действие, как и каждая из сил воздействующих на тело;
- в) такая система сил, которое оказывает на тело такое же действие, как и все силы воздействующие на тело вместе взятые;
- г) такая система сил, которое оказывает на тело такое же действие, как и каждая из сил воздействующих на тело.

9. Уравновешивающая сила равна:

- а) по величине равнодействующей силе, но лежит на другой ЛДС;
- б) по величине равнодействующей силе, лежит на другой ЛДС, но направлена в противоположную сторону;
- в) по величине равнодействующей силе, лежит с ней на одной ЛДС, но направлена в противоположную сторону;
- г) по величине и направлению равнодействующей силе, лежит с ней на одной ЛДС.

10. По формуле  $\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos\alpha}$  определяют:

а) величину уравнивающей силы, от двух сил действующих на одно тело;

б) величину равнодействующей силы, от двух сил действующих на два разных тела;

в) величину уравнивающей силы, от двух сил действующих из одной точки на одно тело;

г) величину равнодействующей силы, от двух сил действующих из одной точки на одно тело.

11. Тела, ограничивающие перемещение других тел, называют:

а) реакциями;

б) опорами;

в) связями;

г) поверхностями.

12. Связь – это:

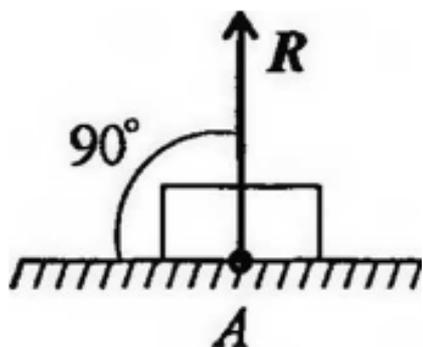
а) тело, движению которого ничего не препятствует;

б) опора, которая препятствует движению других тел;

в) тело, которое препятствует движению других тел;

г) поверхность, которая препятствует движению других тел.

13. На рисунке представлен данный вид связи:



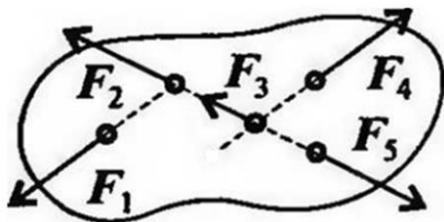
а) в виде шероховатой поверхности;

б) в виде гибкой связи;

в) в виде гладкой поверхности;

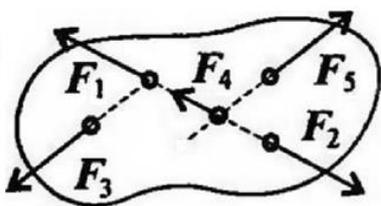
г) в виде жесткой связи.

14. При условии, что  $F_1 = -|F_4|$ ,  $F_2 = -|F_5|$ ,  $F_3 \neq -|F_5|$ , эти силы системы можно убрать, не нарушая механического состояния тела:



- а)  $F_1$  и  $F_3$ ;
- б)  $F_2$  и  $F_5$ ;
- в)  $F_1$  и  $F_4$ ;
- г)  $F_3$  и  $F_5$ .

15. При условии, что  $F_1 = -|F_2|$ ,  $F_3 = -|F_5|$ ,  $F_4 \neq -|F_2|$ , эти силы системы можно убрать, не нарушая механического состояния тела:



- а)  $F_1$  и  $F_3$ ;
- б)  $F_2$  и  $F_4$ ;
- в)  $F_1$  и  $F_2$ ;
- г)  $F_3$  и  $F_5$ .

16. Если определённая равнодействующая сила при графическом сложении векторов в плоской системе сходящихся сил, оказалась равна нулю, то это будет означать:

- а) что данное тело не испытывает нагрузок;
- б) что данное тело не движется;
- в) что данное тело движется по линии действия уравновешивающей силы;
- г) что данное тело не испытывает излишней нагрузки.

17. Плоской системой сходящихся сил называется:

- а) система сил, действующих на одно тело, ЛДС которых имеют одну общую точку;
- б) система сил, действующих на разные тела, ЛДС которых имеют одну общую точку;

в) система сил, действующих на разные тела, ЛДС которых не имеют общих точек;

г) система сил, действующих на одно тело, ЛДС которых не имеют общих точек.

18. Определение равнодействующей в плоской системе сходящихся сил графическим способом заключается в построении:

- а) силового многоугольника;
- б) силового неравенства;
- в) проекций всех сил на оси координат  $X$  и  $Y$ ;
- г) круговорота внутренних и внешних сил.

19. Что называется проекцией силы на ось:

- а) отрезок, заключенный между двумя перпендикулярами, проведенными от начала и конца вектора силы на данную ось;
- б) отрезок силы на оси;
- в) прямая, показывающая начало и конец вектора силы;
- г) прямая, показывающая направление силы.

20. В каком случае проекция силы на ось равна нулю:

- а) если направление силы перпендикулярно к оси;
- б) если направление силы совпадает с направлением оси;
- в) если направление силы противоположно направлению оси;
- г) если сила расположена на оси.

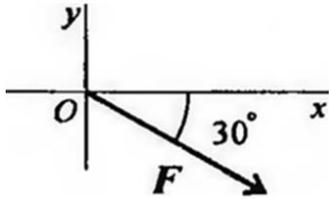
21. Проекция силы на ось считается положительной:

- а) если направление силы и оси совпадают;
- б) если направление силы перпендикулярно к оси;
- в) если направление силы и оси противоположны;
- г) если сила расположена на оси.

22. В каком случае проекция силы на ось равна модулю силы:

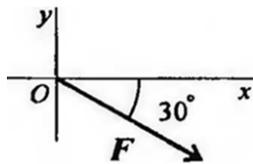
- а) если сила параллельна оси;
- б) если сила перпендикулярна к оси;
- в) если сила направлена в противоположную сторону оси;
- г) если сила совпадает по направлению с осью.

23. Выражение для расчета проекции силы  $F$  на ось  $Oy$  для рисунка:



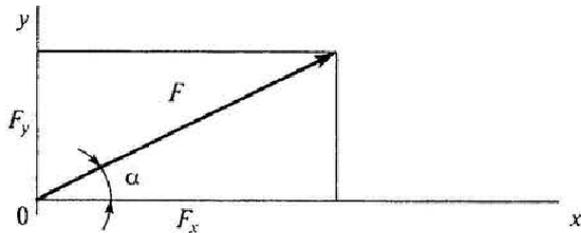
- а)  $F_y = -F \cdot \cos 30^\circ$ ;
- б)  $F_y = F \cdot \cos 60^\circ$ ;
- в)  $F_y = -F \cdot \sin 30^\circ$ ;
- г)  $F_y = -F \cdot \sin 60^\circ$ .

24. Выражение для расчета проекции силы  $F$  на ось  $Ox$  для рисунка:



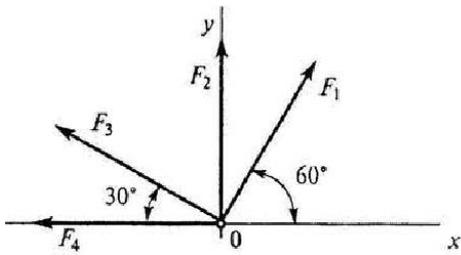
- а)  $F_x = -F \cdot \cos 30^\circ$ ;
- б)  $F_x = F \cdot \cos 60^\circ$ ;
- в)  $F_x = -F \cdot \sin 30^\circ$ ;
- г)  $F_x = F \cdot \sin 60^\circ$ .

25. Определить величину силы по ее известным проекциям на две взаимноперпендикулярные оси координат, если  $F_y = 13\text{кН}$ ,  $F_x = 16\text{кН}$ .



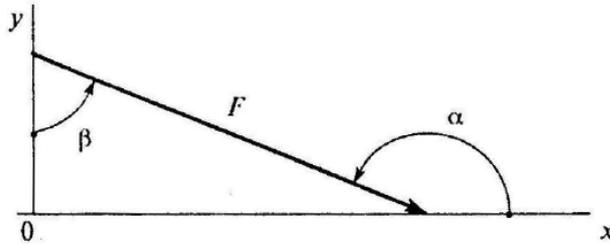
- а) 13кН;
- б) 20,6кН;
- в) 29кН;
- г) 31,5кН.

26. Рассчитать проекцию равнодействующей системы сходящихся сил на ось  $Ox$ , если  $F_1 = 25\text{кН}$ ;  $F_2 = 30\text{кН}$ ;  $F_3 = 40\text{кН}$ ;  $F_4 = 8\text{кН}$ .



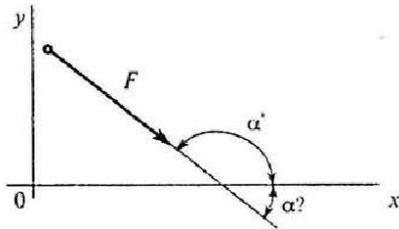
- а)  $-30,1\text{кН}$ ;
- б)  $46,5\text{кН}$ ;
- в)  $-71,6\text{кН}$ ;
- г)  $103\text{кН}$ .

27. Выбрать выражение для расчета проекции силы  $F$  на ось  $Oy$ .



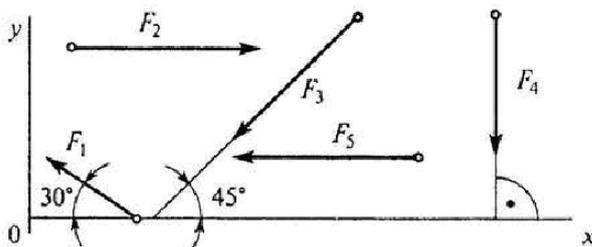
- а)  $F\cos\alpha$ ;
- б)  $-F\cos\beta$ ;
- в)  $F\sin\beta$ ;
- г)  $-F\cos\alpha$ .

28. Определить угол  $\alpha$  между силой  $F$  и осью  $Ox$ , если известна величина силы и ее проекция на ось  $Ox$ .  $F = 50\text{кН}$ ;  $F_x = 43,3\text{кН}$ .



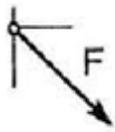
- а)  $30^\circ$ ;
- б)  $60^\circ$ ;
- в)  $135^\circ$ ;
- г)  $150^\circ$ .

29. Рассчитать величины проекций силы  $F_1$  и  $F_5$  на ось  $Ox$ , если  $F_1 = 34,6\text{кН}$ ,  $F_5 = 16\text{кН}$ . Определить сумму проекций этих сил.

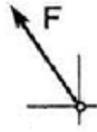


- а)  $-46\text{кН}$ ;
- б)  $28\text{кН}$ ;
- в)  $-16\text{кН}$ ;
- г)  $-30\text{кН}$ .

30. Как направлен вектор равнодействующей силы, если известно, что  $F_x = 15\text{Н}$ ;  $F_y = -20\text{Н}$ .



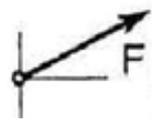
а)



б)

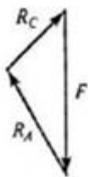
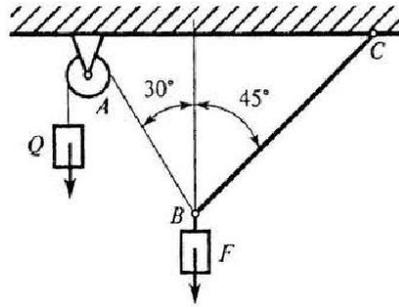


в)

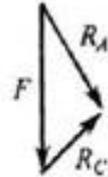


г)

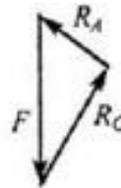
31. Груз находится в равновесии. Указать, какой из силовых треугольников для шарнира  $B$  построен верно.



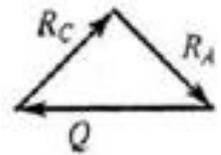
а)



б)

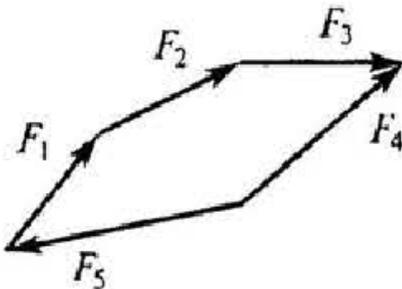


в)



г)

32. Какой вектор силового многоугольника является равнодействующей силой?



а)  $F_2$ ;

б)  $F_4$ ;

в)  $F_5$ ;

г)  $F_1$

33. Система сходящихся сил уравновешена. Определить величину  $F_{4y}$ , если известно:  $\sum F_{kx} = 0$ ,  $F_{1y} = 16\text{Н}$ ,  $F_{2y} = -46\text{Н}$ ,  $F_{3y} = 20\text{Н}$ .

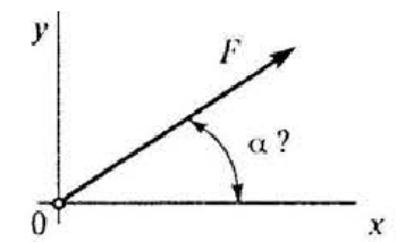
а) 16Н;

б) 10Н;

в) -8Н;

г) 6Н.

34. По известным проекциям на оси координат  $x$  и  $y$  определить угол наклона равнодействующей к оси  $Ox$ .  $F_{\Sigma x} = 15 \text{ кН}$ ,  $F_{\Sigma y} = 8,66 \text{ кН}$ .



- а)  $30^\circ$ ;
- б)  $20^\circ$ ;
- в)  $60^\circ$ ;
- г)  $75^\circ$ .

35. Пара сил оказывает на тело:

- а) отрицательное действие;
- б) положительное действие;
- в) вращающее действие;
- г) изгибающее действие.

36. Моментом силы относительно точки называется:

- а) произведение всех сил системы;
- б) произведение силы на плечо;
- в) отношение силы к расстоянию до точки;
- г) отношение расстояния до точки к величине силы.

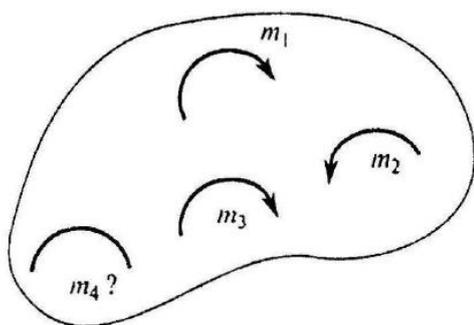
37. Момент силы относительно точки считается положительным:

- а) если под действием силы тело поворачивается относительно центра моментов против часовой стрелки;
- б) если под действием силы тело поворачивается по часовой стрелке;
- в) если тело перемещается относительно точки по часовой стрелке;
- г) если тело перемещается относительно точки против часовой стрелки.

38. Тело находится в равновесии.

$$m_1 = 15 \text{ Н} \cdot \text{м}; m_2 = 8 \text{ Н} \cdot \text{м}; m_3 = 12 \text{ Н} \cdot \text{м}; m_4 = ?$$

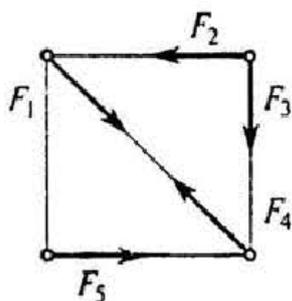
Определить величину момента пары  $m_4$ .



- а)  $14 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;
- б)  $19 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;
- в)  $11 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;
- г)  $15 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

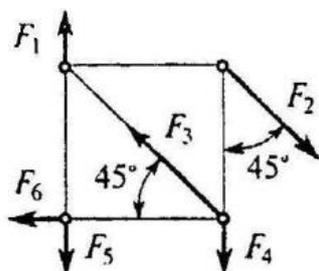
39. Какие силы из заданной системы образуют пару?

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F_5.$$



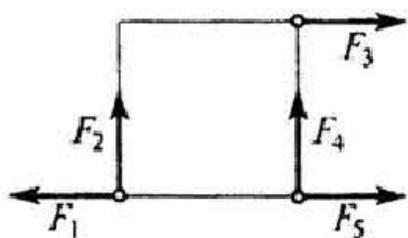
- а)  $F_1$  и  $F_2$ ;
- б)  $F_1$  и  $F_5$ ;
- в)  $F_3$  и  $F_4$ ;
- г)  $F_2$  и  $F_5$ .

40. Какие силы из заданной системы образуют пару?



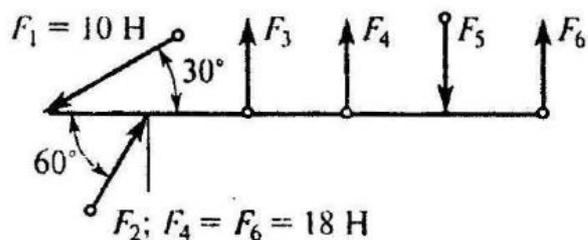
- а)  $(\bar{F}_1; \bar{F}_4)$  и  $(\bar{F}_2; \bar{F}_3)$ ;
- б)  $(\bar{F}_2; \bar{F}_3)$  и  $(\bar{F}_4; \bar{F}_5)$ ;
- в)  $(\bar{F}_4; \bar{F}_5)$  и  $(\bar{F}_2; \bar{F}_5)$ ;
- г)  $(\bar{F}_2; \bar{F}_5)$  и  $(\bar{F}_2; \bar{F}_6)$ .

41. Какие силы из заданной системы образуют пару сил? Модули всех сил равны.



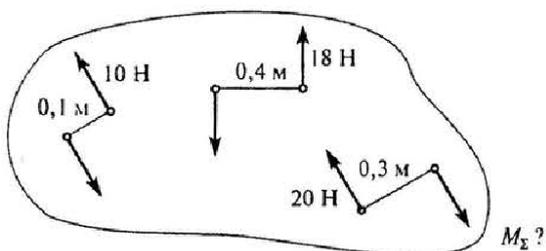
- а)  $\bar{F}_1$  и  $\bar{F}_5$ ;
- б)  $\bar{F}_2$  и  $\bar{F}_4$ ;
- в)  $\bar{F}_1$  и  $\bar{F}_3$ ;
- г)  $\bar{F}_3$  и  $\bar{F}_5$ .

42. Какие силы из заданной системы образуют пару сил? Модули сил  $F_1, F_2, F_3, F_5$  равны.



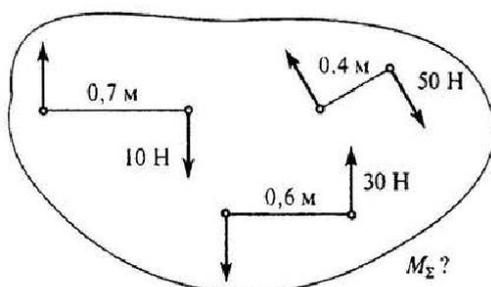
- а)  $\vec{F}_4$  и  $\vec{F}_6$ ;
- б)  $\vec{F}_5$  и  $\vec{F}_6$ ;
- в)  $\vec{F}_3$  и  $\vec{F}_5$ ;
- г)  $\vec{F}_3$  и  $\vec{F}_2$ .

43. Определить момент результирующей пары сил.



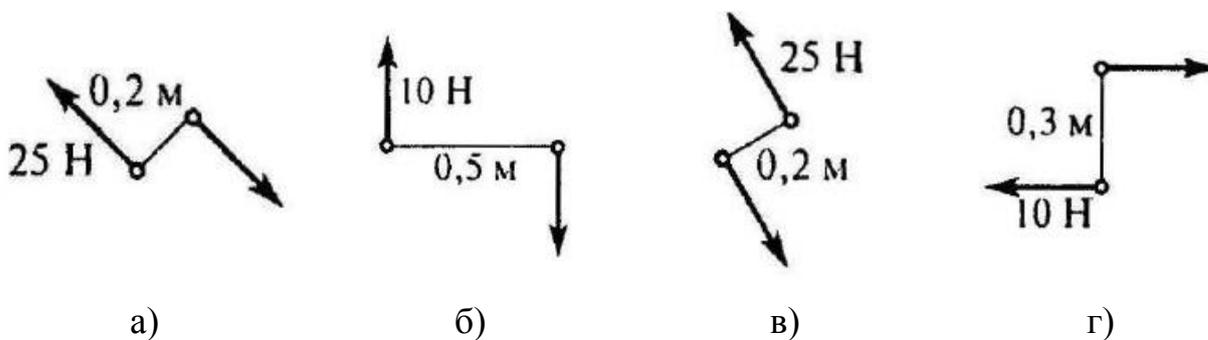
- а) 2,2 Нм;
- б) 14,2 Нм;
- в) 12,2 Нм;
- г) 7,2 Нм.

44. Определить момент результирующей пары сил.



- а) 5 Нм;
- б) 9 Нм;
- в) 31 Нм;
- г) 45 Нм.

45. Какие из изображенных пар сил эквивалентны?



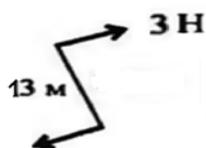
46. Чем отличается главный вектор системы от равнодействующей той же системы сил?

- а) величиной;
- б) направлением;
- в) величиной и направлением;
- г) точкой приложения.

47. Что называется плечом момента силы:

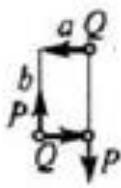
- а) кратчайшее расстояние от центра момента до линии действия силы;
- б) расстояние от силы до точки;
- в) наименьшее расстояние от линии действия силы до любой точки;
- г) наибольшее расстояние от силы до центра момента.

48. Определите для рисунка, чему будет равен момент пары сил:

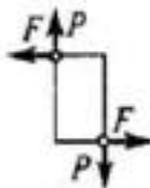


- а) 39 Нм;
- б) 16 Нм;
- в)  $-39$  Нм;
- г)  $-16$  Нм.

49. К жестким прямоугольникам приложены пары сил? Какая система пар уравновешена? Если  $Q = 10$ Н;  $P = 20$ Н;  $F = 15$ Н;  $a, b$  - стороны прямоугольника ( $a = 3$ м,  $b = 4$ м).



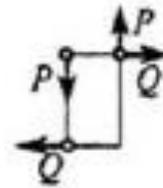
а)



б)



в)



г)

50. Единицей измерения момента является:

- а)  $1$ Н/м;
- б)  $1$ Н · м;
- в)  $1$ Па;
- г)  $1$ Н.

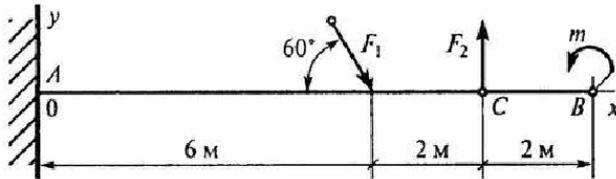
51. Единицей измерения сосредоточенной силы является:

- а) Н;                      б) Н · м;                      в) Н/м;                      г) Па.

52. Единицей измерения распределённой силы является:

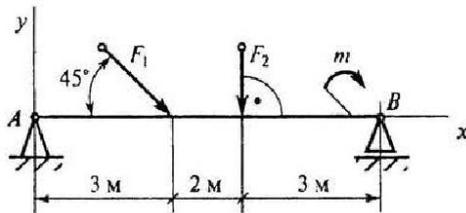
- а) Н;                      б) Н · м;                      в) Н/м;                      г) Па.

53. Выбрать наиболее подходящую систему уравнений равновесия для определения реакций в опорах изображенной балки.



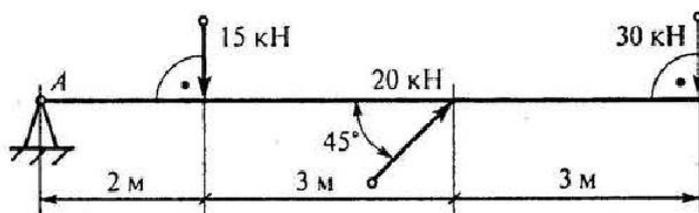
- а)  $\sum F_{kx} = 0; \sum F_{ky} = 0; \sum M_B = 0;$   
 б)  $\sum F_{kx} = 0; \sum F_{ky} = 0; \sum M_A = 0;$   
 в)  $\sum F_{kx} = 0; \sum M_A = 0; \sum M_B = 0;$   
 г)  $\sum F_{kx} = 0; \sum F_{ky} = 0; \sum M_C = 0.$

54. Выбрать наиболее подходящую систему уравнений равновесия для определения реакций в опорах изображенной балки.



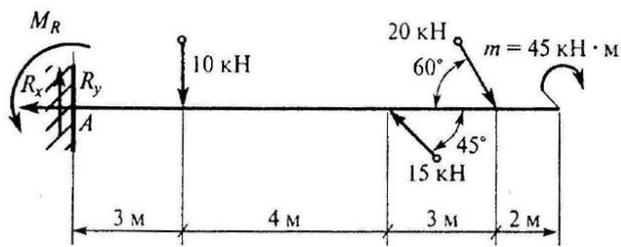
- а)  $\sum m_A = 0; \sum m_B = 0; \sum m_C = 0;$   
 б)  $\sum m_A = 0; \sum F_{kx} = 0; \sum F_{ky} = 0;$   
 в)  $\sum F_{kx} = 0; \sum m_A = 0; \sum m_B = 0;$   
 г)  $\sum F_{kx} = 0; \sum F_{ky} = 0; \sum m_B = 0.$

55. Рассчитать сумму моментов сил относительно точки A.



- а) 70 кН·м;  
 б) 340 кН·м;  
 в) 240 кН·м;  
 г) 200 кН·м.

56. Представлено уравнение для расчета реакции в опоре A. Какого члена уравнения не хватает?



- а)  $m$ ;
- б)  $20\cos 60^\circ$ ;
- в)  $20\cos 30^\circ$ ;
- г)  $-20\cos 30^\circ$ .

$$\sum F_y = R_y - 10 + 15\cos 45^\circ \dots = 0.$$

57. Тело движется равномерно прямолинейно, т.е. находится в равновесии. Чему равны главный вектор и главный момент?

- а)  $F_\Sigma = 0$ ;  $M_\Sigma \neq 0$ ;
- б)  $F_\Sigma \neq 0$ ;  $M_\Sigma = 0$ ;
- в)  $F_\Sigma \neq 0$ ;  $M_\Sigma \neq 0$ ;
- г)  $F_\Sigma = 0$ ;  $M_\Sigma = 0$ .

58. Что можно сказать о состоянии тела, если после приведения к некоторому центру системы сил, действующих на него, главный вектор и главный момент оказались равны нулю?

- а) тело движется прямолинейно;
- б) тело вращается;
- в) тело участвует в сложном движении;
- г) тело находится в равновесии.

59. Опора допускает поворот вокруг шарнира и перемещение вдоль опорной поверхности. Реакция направлена перпендикулярно опорной поверхности:

- а) шарнирная опора;
- б) шарнирно-подвижная опора;
- в) шарнирно-неподвижная опора;
- г) защемление.

60. Опора допускает поворот вокруг шарнира и может быть заменена двумя составляющими силы вдоль осей координат:

- а) шарнирная опора;

- б) шарнирно-подвижная опора;
- в) шарнирно-неподвижная опора;
- г) защемление.

61. Опора не допускает поворот вокруг шарнира и может быть заменена двумя составляющими силы вдоль осей координат:

- а) шарнирная опора;
- б) шарнирно-подвижная опора;
- в) шарнирно-неподвижная опора;
- г) защемление.

62. Пространственная система сил – это:

- а) система сил, линии действия которых лежат в одной плоскости;
- б) система сил, линии действия которых не лежат в одной плоскости;
- в) система сил, линии действия которых перпендикулярны плоскости;
- г) система сил, линии действия которых параллельны плоскости.

63. Выбрать формулу для расчета главного вектора пространственной системы сил.

- а)  $F_{\Sigma x} + F_{\Sigma y} + F_{\Sigma z}$ ;
- б)  $\sqrt{F_{\Sigma x}^2 + F_{\Sigma y}^2 + F_{\Sigma z}^2}$ ;
- в)  $\sqrt{F_{\Sigma x}^2 + F_{\Sigma y}^2}$ ;
- г)  $\sqrt{(\sum m_{kx})^2 + (\sum m_{ky})^2}$ .

64. Выбрать формулу для расчета главного момента пространственной системы сил.

а)  $\sqrt{(\sum m_{kx})^2 + (\sum m_{ky})^2}$ ;

б)  $\sqrt{F_{\Sigma x}^2 + F_{\Sigma y}^2 + F_{\Sigma z}^2}$ ;

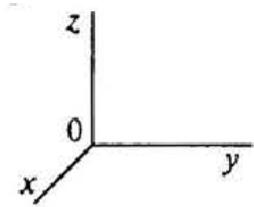
в)  $\sqrt{F_{\Sigma x}^2 + F_{\Sigma y}^2}$ ;

г)  $\sqrt{(\sum m_{kx})^2 + (\sum m_{ky})^2 + (\sum m_{kz})^2}$ .

65. Сколько неизвестных величин можно найти, используя уравнения равновесия пространственной системы сходящихся сил?

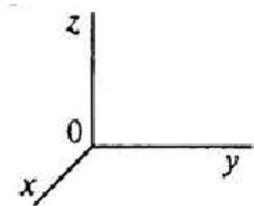
- а) 6;                                      б) 2;                                      в) 3;                                      г) 4.

66. Что можно сказать о равнодействующей пространственной системы сил, если  $\sum F_{kx} \neq 0$ ;  $\sum F_{ky} = 0$ ;  $\sum F_{kz} = 0$ ?



- а)  $\vec{F}_{\Sigma} \parallel Ox$ ;  
 б)  $\vec{F}_{\Sigma} \parallel Oy$ ;  
 в)  $\vec{F}_{\Sigma} \parallel$  плоскости  $xOy$ ;  
 г)  $\vec{F}_{\Sigma} \parallel$  плоскости  $yOz$ .

67. Что можно сказать о главном векторе системы сил  $F_{\Sigma}$ , если  $\sum F_{kx} = 0$ ;  $\sum F_{ky} \neq 0$ ;  $\sum F_{kz} \neq 0$ .



- а)  $\vec{F}_{\Sigma} \parallel Ox$ ;  
 б)  $\vec{F}_{\Sigma} \parallel Oy$ ;  
 в)  $\vec{F}_{\Sigma} \parallel$  плоскости  $xOy$ ;  
 г)  $\vec{F}_{\Sigma} \parallel$  плоскости  $yOz$ .

68. Сколько независимых уравнений равновесия можно записать для пространственной системы параллельных сил?

- а) 3;                                      б) 6;                                      в) 4;                                      г) 2.

69. По заданным проекциям равнодействующей найти ее модуль.

$$F_{\Sigma x} = 4,125\text{Н}; F_{\Sigma y} = 12\text{Н}; F_{\Sigma z} = 8\text{Н}.$$

- а) 15Н;                      б) 24,1Н;                      в) 4,9Н;                      г) 6,4Н.

70. Центр тяжести параллелепипеда находится:

- а) на одной из граней фигуры;
- б) на середине низовой грани фигуры;
- в) на пересечении диагоналей фигуры;
- г) на середине перпендикуляра, опущенного из середины верхней грани фигуры.

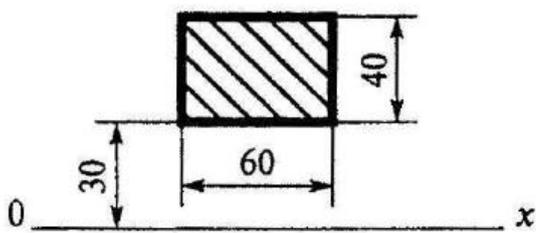
71. Центр тяжести конуса находится:

- а) на одной из граней фигуры;
- б) на середине низовой грани фигуры;
- в) на  $1/3$  высоты от основания фигуры;
- г) на середине перпендикуляра, опущенного из середины верхней грани фигуры.

72. Центр тяжести у ромба находится:

- а) на пересечении медиан фигуры;
- б) на пересечении диагоналей фигуры;
- в) на середине перпендикуляра, опущенного из середины верхней грани фигуры;
- г) на расстоянии  $1/3$  от левого угла фигуры.

73. Вычислить статический момент данной плоской фигуры относительно оси  $Ox$ .



- а)  $36 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$ ;
- б)  $72 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$ ;
- в)  $120 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$ ;
- г)  $60 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$ .

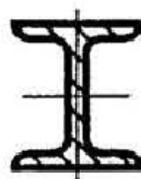
74. В каком случае для определения положения центра тяжести необходимо определить две координаты расчетным путем?



а)



б)

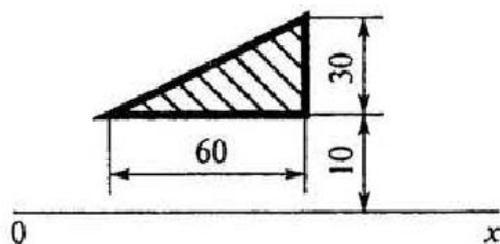


в)



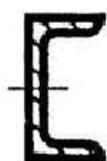
г)

75. Вычислить статический момент данной плоской фигуры относительно оси  $Ox$ .

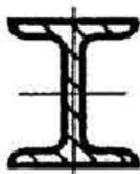


- а)  $9 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$ ;
- б)  $18 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$ ;
- в)  $36 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$ ;
- г)  $42 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$ .

76. В каком случае для определения положения центра тяжести необходимо выбрать две координаты центра тяжести по ГОСТ?



а)



б)

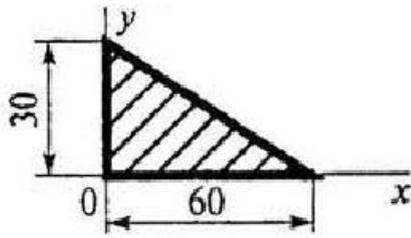


в)



г)

77. Что произойдет с координатами  $x_c$  и  $y_c$ , если увеличить величину основания треугольника до 90 мм?



- а)  $x_c$  и  $y_c$  не изменятся;
- б) изменится только  $x_c$ ;
- в) ) изменится только  $y_c$ ;
- г) изменится и  $x_c$ , и  $y_c$

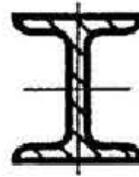
78. В каком случае для определения центра тяжести достаточно определить одну координату расчетным путем?



а)



б)



в)

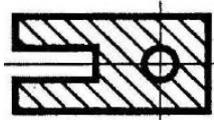


г)

79. В каком случае при определении центра тяжести плоской фигуры эту фигуру нельзя разбить на две части с известными положениями центра тяжести?



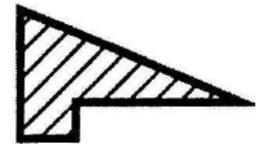
а)



б)

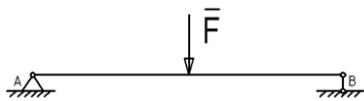


в)



г)

80. Реакции опор  $R_A$  и  $R_B$  в данной балке:



- а) численно равны и равны по модулю;
- б) численно равны, но не равны по модулю;
- в)  $R_A > R_B$  в 2 раза;
- г)  $R_A < R_B$  в 2 раза.

81. Кинематика – это раздел теоретической механики, который изучает:

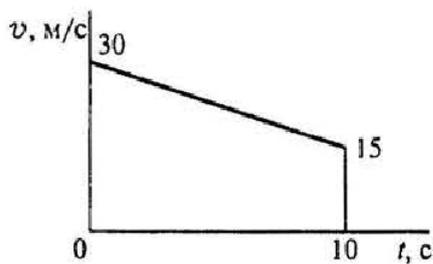
- а) механическое движение материальных твердых тел и их взаимодействие;
- б) условия равновесия тел под действием сил;

- в) движение тел как перемещение в пространстве; характеристики тел и причины, вызывающие движение, не рассматриваются;
- г) движение тел под действием сил.

82. Точка движется согласно уравнению  $S = 2 + 0,1t^3$ . Определить вид движения точки.

- а) равномерное;
- б) равноускоренное;
- в) равнозамедленное;
- г) неравномерное.

83. По графику скоростей точки определить путь, пройденный за время движения.

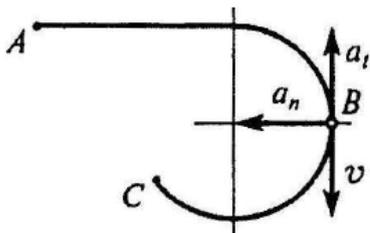


- а)  $s=75\text{м}$ ;
- б)  $s=125\text{м}$ ;
- в)  $s=175\text{м}$ ;
- г)  $s=225\text{м}$ .

84. Тело, двигаясь равноускоренно из состояния покоя 10 с, достигло скорости 50 м/с. Определить путь, пройденный телом за это время.

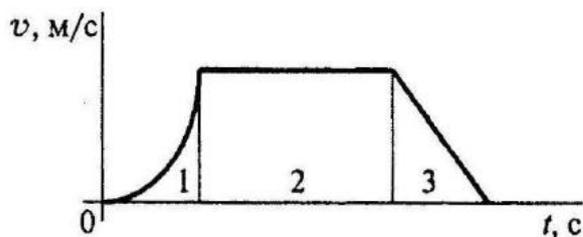
- а)  $s=200\text{м}$ ;
- б)  $s=250\text{м}$ ;
- в)  $s=255\text{м}$ ;
- г)  $s=315\text{м}$ .

85. Точка движется по линии  $ABC$  и в момент  $t$  занимает положение  $B$ . Определить вид движения точки.



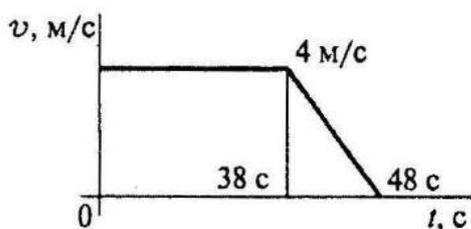
- а) равномерное;
- б) равноускоренное;
- в) равнозамедленное;
- г) неравномерное.

86. По графику скоростей определить вид движения на участке 3.



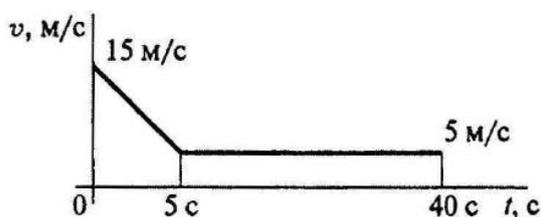
- а) равномерное;
- б) равноускоренное
- в) равнозамедленное;
- г) неравномерное.

87. По графику скоростей точки определить путь, пройденный точкой за время движения.



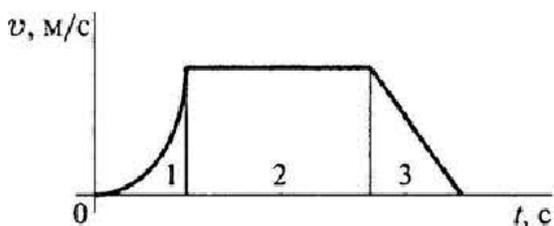
- а)  $s=92\text{м}$ ;
- б)  $s=132\text{м}$ ;
- в)  $s=172\text{м}$ ;
- г)  $s=192\text{м}$ .

88. По приведенному графику скорости определить путь, пройденный точкой за время движения.



- а)  $s=37,5\text{м}$ ;
- б)  $s=225\text{м}$ ;
- в)  $s=175\text{м}$ ;
- г)  $s=300\text{м}$ .

89. По графику скоростей определить вид движения на участке 1.

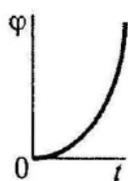


- а) равномерное;
- б) равноускоренное
- в) равнозамедленное;
- г) неравномерное.

90. Тело, имевшее начальную скорость 120 м/с, остановилось, пройдя 1200м. Определить время до остановки.

- а)  $t=20\text{с}$ ;
- б)  $t=6\text{с}$ ;
- в)  $t=10\text{с}$ ;
- г)  $t=15\text{с}$ .

91. Выбрать соответствующий кинематический график движения, если закон движения  $\varphi = 1,3t^2 + t$ .



а)



б)

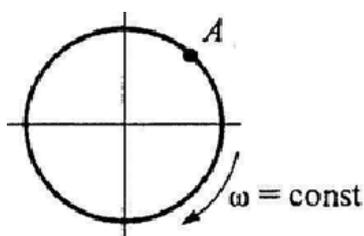


в)



г)

92. Какие ускорения возникнут в точке  $A$  при равномерном вращении колеса?



а)  $a_n \neq 0$ ;  $a_t = 0$ ;

б)  $a_n = 0$ ;  $a_t \neq 0$ ;

в)  $a_n \neq 0$ ;  $a_t \neq 0$ ;

г)  $a_n = 0$ ;  $a_t = 0$ .

93. Барабан вращается со скоростью  $\omega = 2\pi t$ . Какое это вращение?

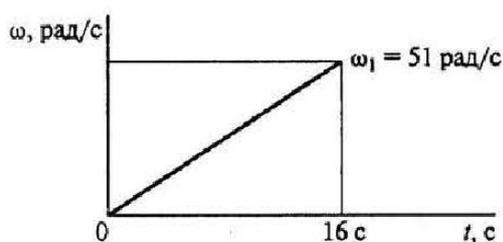
а) равномерное;

б) равноускоренное

в) равнозамедленное;

г) переменное.

94. Скорость ротора электродвигателя в период разгона меняется согласно графику. Определить число оборотов ротора за период разгона.



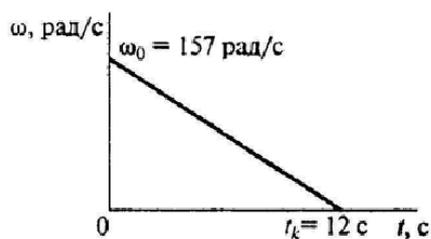
а) 20 об;

б) 65 об;

в) 165 об;

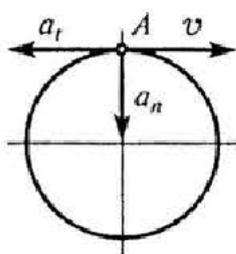
г) 408 об.

95. При торможении ротора электродвигателя его скорость меняется согласно графику. Рассчитать число оборотов ротора до полной остановки.



- а) 938 об;
- б) 942 об;
- в) 150 об;
- г) 450 об.

96. При вращении колеса скорость и ускорение в точке А имеют указанные на чертеже направления. Определить вид вращения, если  $a_t = const$ .



- а) равномерное;
- б) равноускоренное
- в) равнозамедленное;
- г) переменное.

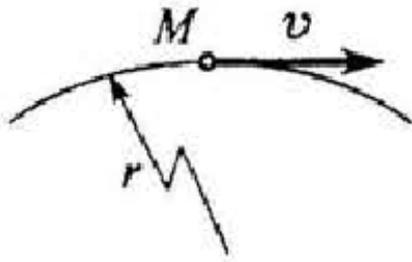
97. Колесо вращается с частотой  $n = 250$  об/мин. Определить полное ускорение точек на ободе колеса.  $r = 0,8$  м.

- а)  $20,8$  м/с<sup>2</sup>;
- б)  $547$  м/с<sup>2</sup>;
- в)  $12,5$  м/с<sup>2</sup>;
- г)  $4620$  м/с<sup>2</sup>.

98. Динамика – это раздел теоретической механики, который изучает:

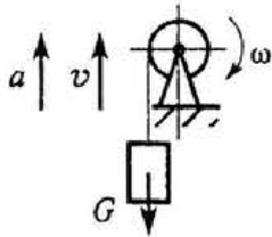
- а) механическое движение материальных твердых тел и их взаимодействие;
- б) условия равновесия тел под действием сил;
- в) движение тел как перемещение в пространстве; характеристики тел и причины, вызывающие движение, не рассматриваются;
- г) движение тел под действием сил.

99. Точка М движется криволинейно и неравномерно. Выбрать формулу для расчета нормальной составляющей силы инерции.



- а)  $ma$ ;
- б)  $m\epsilon r$ ;
- в)  $m\frac{v^2}{r}$ ;
- г)  $m\sqrt{(\epsilon r)^2 + (v^2/r)^2}$ .

100. Определить силу натяжения троса барабанной лебедки, перемещающего вверх груз массой 100 кг с ускорением  $a = 4 \text{ м/с}^2$ .



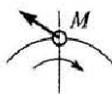
- а) 400Н;
- б) 981Н;
- г) 1381Н;
- д) 1621Н.

101. На материальную точку действует одна постоянная сила. Как будет двигаться точка?

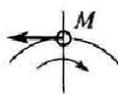


- а) равномерно прямолинейно;
- б) равномерно криволинейно;
- в) неравномерно прямолинейно;
- г) неравномерно криволинейно.

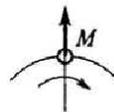
102. Точка  $M$  движется равномерно по кривой радиуса  $r$ . Выбрать направление силы инерции.



а)



б)

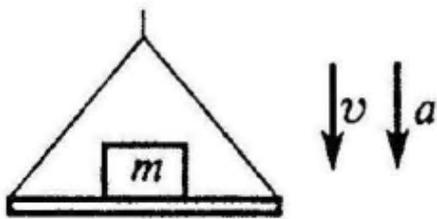


в)



г)

103. Тело массой 8 кг лежит на горизонтальной платформе, которая опускается вниз с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$ .

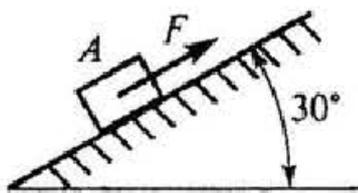


- а) 156,9Н;
- б) 94,5 Н;
- в) 78,5Н;
- г) 62,5Н.

104. Какое ускорение получит свободная материальная точка под действием силы, равной 0,5 ее веса?

- а)  $a = 1,92 \text{ м/с}^2$ ; б)  $a = 9,8 \text{ м/с}^2$ ; в)  $a = 4,9 \text{ м/с}^2$ ; г)  $a = 0,5 \text{ м/с}^2$ .

105. Определить натяжение тягового каната скрепера А весом 30Н, перемещающегося с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$ . Коэффициент трения между поверхностями  $f=0,25$ .

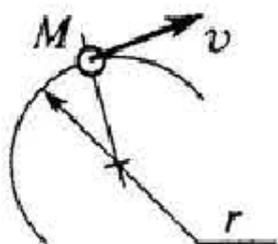


- а)  $F=16\text{Н}$ ;
- б)  $F=20,5\text{Н}$ ;
- в)  $F=27,6\text{Н}$ ;
- г)  $F=22\text{Н}$ .

106. Через 5 с движения под действием постоянной силы материальная точка приобрела скорость 15 м/с. Сила тяжести 600Н. Определить величину силы, действующей на точку.

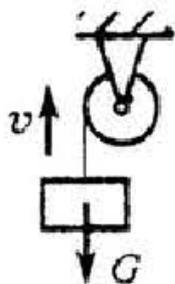
- а)  $F=92,5\text{Н}$ ; б)  $F=183\text{Н}$ ; в)  $F=421\text{Н}$ ; г)  $F=600\text{Н}$ .

107. Точка М движется неравномерно криволинейно. Выбрать формулу для расчета силы инерции.



- а)  $F_{ин} = ma_t$ ;
- б)  $F_{ин} = m \frac{v^2}{r}$ ;
- в)  $F_{ин} = -ma_t$ ;
- г)  $F_{ин} = m\sqrt{a_t^2 + a_n^2}$ .

108. Определить полезную мощность мотора лебедки при подъеме груза  $G=1\text{кН}$  на высоту  $10\text{м}$  за  $5\text{с}$ .



- а)  $1\text{кВт}$ ;
- б)  $1,5\text{кВт}$ ;
- в)  $2\text{кВт}$ ;
- г)  $2,5\text{кВт}$ .

109. Определить общий КПД механизма, если мощность на выходном валу двигателя  $P=32\text{кВт}$  при скорости  $18\text{ км/ч}$  и общей силе сопротивления движению  $5\text{ кН}$ .

- а)  $0,36$ ;
- б)  $0,78$ ;
- в)  $0,84$ ;
- г)  $1,28$ .

110. Вагонетка массой  $500\text{ кг}$  катится равномерно по рельсам и проходит расстояние  $25\text{ м}$ . Чему равна работа силы тяжести? Движение прямолинейное по горизонтальному пути.

- а)  $122,6\text{Дж}$ ;
- б)  $-122,6\text{Дж}$ ;
- в)  $-12,5\text{Дж}$ ;
- г)  $0$ .

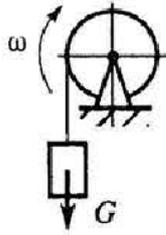
111. Определить силу сопротивления воды корпусу теплохода при движении со скоростью  $18\text{ км/ч}$ . Мощность двигателя  $450\text{кВт}$ . КПД силовой установки  $0,4$ .

- а)  $10\text{кН}$ ;
- б)  $25\text{кН}$ ;
- в)  $36\text{кН}$ ;
- г)  $90\text{кН}$ .

112. Вычислить вращающий момент на валу электродвигателя при заданной мощности  $7\text{кВт}$  и угловой скорости  $150\text{рад/с}$ .

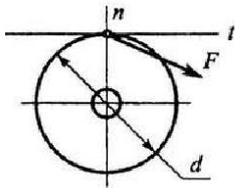
- а)  $5\text{Нм}$ ;
- б)  $46,7\text{Нм}$ ;
- в)  $78\text{Нм}$ ;
- г)  $1080\text{Нм}$ .

113. Определить потребную мощность мотора лебедки для подъема груза весом  $1\text{кН}$  со скоростью  $6,5\text{м/с}$ . КПД механизма лебедки  $0,823$ .



- а) 5,3кВт;
- б) 6,5кВт;
- в) 7,9кВт;
- г) 9,7кВт.

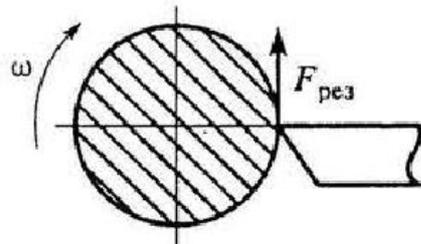
114. Выбрать подходящую формулу для расчета работы силы  $F$ , приложенной к ободу колеса.



$t$  – касательная в точке приложения,  
 $n$  – нормаль

- а)  $F \frac{d}{2} \varphi$ ;
- б)  $F \frac{d}{2} \omega$ ;
- в)  $F_t \frac{d}{2} \varphi$ ;
- г)  $F_n \frac{d}{2} \varphi$ .

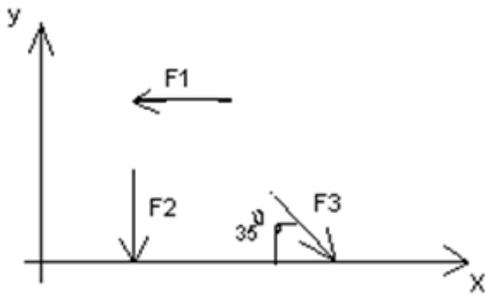
115. Определить работу силы резания при обточке детали диаметром 200мм. Деталь обрабатывается на токарном станке при  $F_{рез} = 1кН$  и  $n=300об/мин$  за 2мин.



- а) 60 Дж;
- б) 377 Дж;
- в) 90 кДж;
- г) 600 Дж.

### II Установить соответствие

1. Установить соответствие между рисунками и выражениями для расчета проекции силы на ось  $Ox$ .



Силы

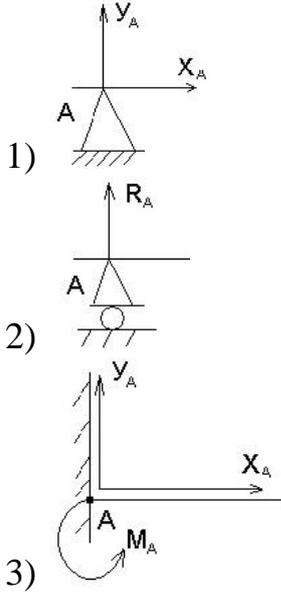
- 1)  $F_1$
- 2)  $F_2$
- 3)  $F_3$

Проекции сил

- а) 0;
- б)  $-F$ ;
- в)  $-F \sin 35$ ;
- г)  $-F \cos 35$ .

2. Установите соответствие между рисунком и определением:

Рисунок



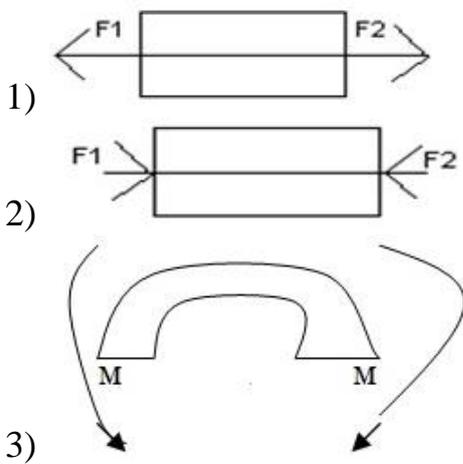
Определение

- а) жесткая заделка;
- б) неподвижная опора;
- в) подвижная опора;
- г) вид опоры не определен.

3. Установить соответствие между рисунками и определениями.

$|F_1| = |F_2|$

Рисунок

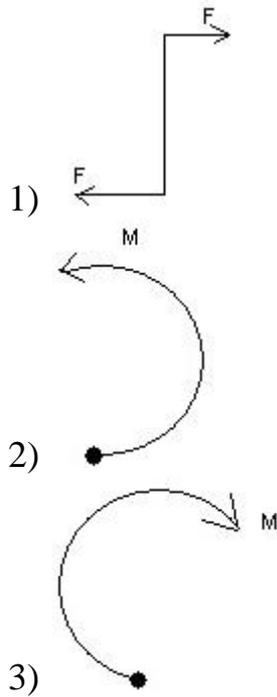


Определение

- а) изгиб;
- б) сжатие;
- в) растяжение;
- г) кручение.

4. Установите соответствие между рисунками и направлениями моментов пар.

Рисунок

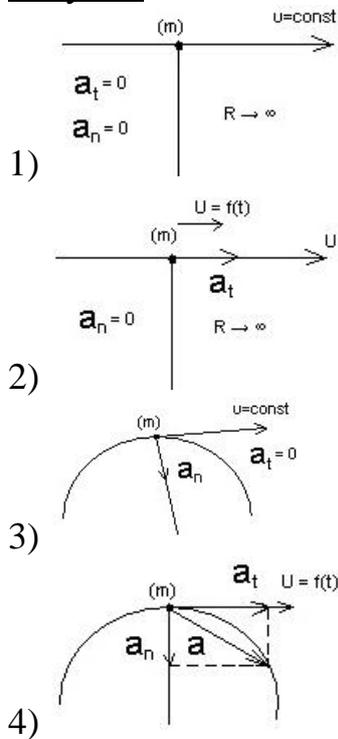


Направление

- а) положительное;
- б) отрицательное;
- в) нет вариантов.

5. Установите соответствие между рисунками и определениями:

Рисунки

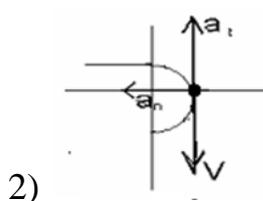
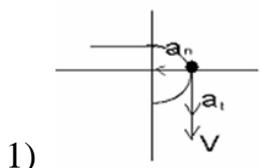


Движение

- а) неравномерное криволинейное;
- б) равномерное;
- в) равномерное криволинейное;
- г) неравномерное движение.

б. Установить соответствие между рисунками и видами движения точки.

Рисунок



Виды движения

- а) равномерное;
- б) равноускоренное;
- в) равнозамедленное;
- г) переменное.

#### 4.5.2 Сопротивление материала

##### I Дополнить предложения

1. Величины, служащие мерой механического действия одного материального тела на другое, называется ...

- а) внутренними силовыми факторами;
- б) внутренними силами;
- в) напряжениями;
- г) внешними силами (нагрузками).

2. Деформация – это:

- а) изменение форма тела;
- б) изменение размеров тела;
- в) изменение цвета тела;
- г) изменение формы и размеров тела.

3. Способность материала не разрушаться под приложенной нагрузкой – это:

- а) устойчивость; б) прочность; в) жёсткость; г) выносливость.

4. Способность материала незначительно деформироваться под приложенной нагрузкой - это:

- а) устойчивость; б) прочность; в) жёсткость; г) выносливость.

5. Способность материала под приложенной нагрузкой сохранять первоначальную форму упругого равновесия - это:

- а) устойчивость; б) прочность; в) жёсткость; г) выносливость.

6. Основными видами испытаний материалов являются ...

- а) испытания на кручение;  
б) испытания на ползучесть и длительную прочность;  
в) испытания на твердость и ударную вязкость;  
г) испытания на растяжение и сжатие.

7. Модели материала в расчетах на прочностную надежность детали (элемента конструкции) принято считать ...

- а) сплошным, однородным, изотропным и линейно-упругим;  
б) прочным и упругим;  
в) хрупкими и идеально упругими;  
г) пластичными и изотропными.

8. Прямой брус нагружается внешней силой  $F$ . После снятия нагрузки его форма и размеры полностью восстанавливаются. Какие деформации имели место в данном случае?

- а) незначительные; б) пластические; в) упругие; г) остаточные.

9. Как называют способность конструкции сопротивляться упругим деформациям?

- а) прочность; б) жёсткость; в) устойчивость; г) выносливость.

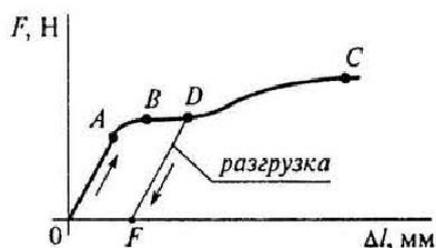
10. Как называют способность конструкции сопротивляться условиям, стремящимся вывести ее из исходного состояния равновесия?

- а) прочность; б) жёсткость; в) устойчивость; г) выносливость.

11. В каком случае материал считается однородным?

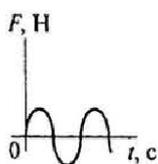
- а) свойства материала не зависят от размера;  
 б) материал заполняет весь объем;  
 в) физико-механические свойства материала одинаковы во всех направлениях;  
 г) температура материала одинакова во всем объеме.

12. Представлена диаграмма растяжения материала. Назвать участок упругих деформаций.

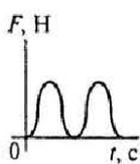


- а) OA;  
 б) AB;  
 в) BC;  
 г) OF.

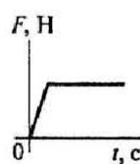
13. Выбрать из приведенных ниже графиков график статической нагрузки.



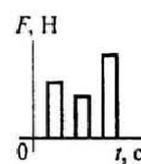
а)



б)



в)



г)

14. Метод, позволяющий определить внутренние усилия в сечении стержня, называется ...

- а) методом независимости действия сил; б) методом сечений;  
 в) методом сил; г) методом начальных параметров.

15. Какие внутренние силовые факторы вызывают возникновение нормальных напряжений в сечении бруса?

- а)  $N$ ;                      б)  $Q_x$ ;                      в)  $Q_y$ ;                      г)  $M_k$ .

16. Какие механические напряжения в поперечном сечении бруса при нагружении называют «нормальными»?

- а) возникающие при нормальной работе;  
б) возникающие перпендикулярно площадке;  
в) направленные параллельно площадке;  
г) лежащие в плоскости сечения.

17. Позволяет определить величину внутреннего силового фактора в сечении, но не дает возможности установить закон распределения внутренних сил по сечению:

- а) закон Гука;                      б) метод Риттера;  
в) метод сечений;                      г) принцип Сен-Венана.

18. Единицей измерения напряжения является:

- а) 1Н;                      б) 1Па;                      в) 1Н/м;                      г) 1Н/мм<sup>2</sup>.

19. Буквой  $\sigma$  обозначают:

- а) полное напряжение;                      б) нормальное напряжение;  
в) касательное напряжение;                      г) предельное напряжение.

20. Буквой  $\tau$  обозначают:

- а) полное напряжение;                      б) нормальное напряжение;  
в) касательное напряжение;                      г) предельное напряжение.

21. Внешние силы, действующие на элемент конструкции, подразделяются на ...

- а) внешние и внутренние силы;
- б) внутренние силовые факторы;
- в) сосредоточенные, распределенные и объемные силы;
- г) внутренние силы и напряжения.

22. Как называется и обозначается напряжение, при котором деформации растут при постоянной нагрузке?

- а) предел прочности,  $\sigma_B$ ;
- б) предел текучести,  $\sigma_T$ ;
- в) допускаемое напряжение,  $[\sigma]$ ;
- г) предел пропорциональности,  $\sigma_{пц}$ .

23. Выбрать основные характеристики прочности материала.

- а)  $\sigma_B, \sigma_T$ ;                      б)  $\sigma_T, \sigma_{пц}$ ;                      в)  $\sigma_{пц}, \sigma_B$ ;                      г)  $\delta, \psi$ .

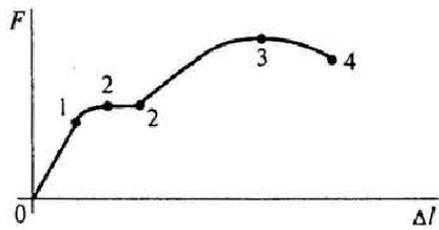
24. Выбрать точную запись условия прочности при растяжении и сжатии.

- а)  $\sigma = \frac{N}{A} = [\sigma]$ ;      б)  $\sigma = \frac{N}{A} < [\sigma]$ ;      в)  $\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$ ;      г)  $\sigma = \frac{N}{A} > [\sigma]$ .

25. При каком из перечисленных напряжений образец разрушится?

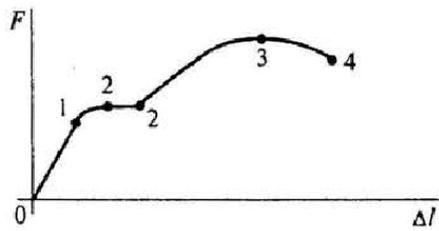
- а)  $\sigma_y$ ;                      б)  $\sigma_{пц}$ ;                      в)  $\sigma_B$ ;                      г)  $\sigma_T$ .

26. Указать точку на диаграмме растяжения, до которой в материале возникают только упругие деформации.



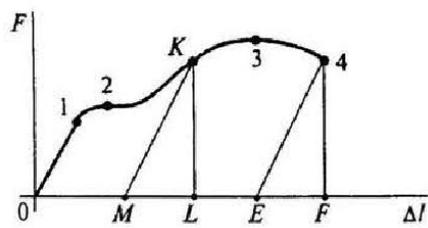
- а) точка 1;
- б) точка 2;
- в) точка 3;
- г) точка 4.

27. Выбрать на диаграмме растяжения участок текучести материала.



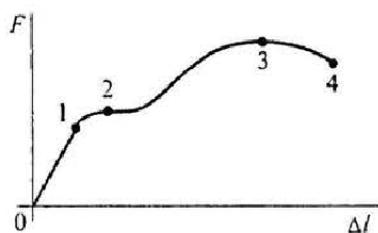
- а) 01;
- б) 12;
- в) 23;
- г) 22.

28. Используя приведенную диаграмму растяжения указать остаточную деформацию образца для точки *K*.



- а) *OM*;
- б) *OL*;
- в) *MF*;
- г) *ME*.

29. В какой точке диаграммы растяжения на образце образуется шейка?

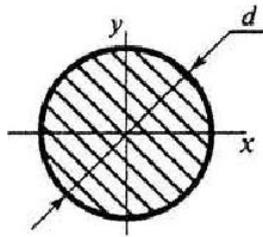


- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.

30. Выбрать соответствующую эпюру продольных сил в поперечных сечениях бруса.



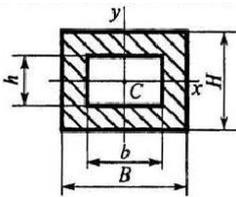
35. Определить полярный момент инерции сечения, если осевой момент инерции  $I_x = 14 \text{ см}^4$ .



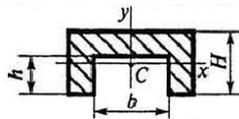
- а)  $7 \text{ см}^4$ ;
- б)  $36 \text{ см}^4$ ;
- в)  $14 \text{ см}^4$ ;
- г)  $28 \text{ см}^4$ .

36. Выбрать вариант, для которого главный центральный момент инерции сечения относительно оси  $x$  можно рассчитать по формуле

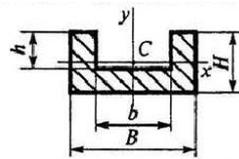
$$I_x = \frac{B \cdot H^3}{12} - \frac{b \cdot h^3}{12}.$$



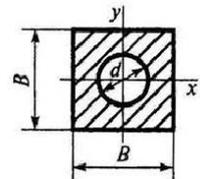
а)



б)

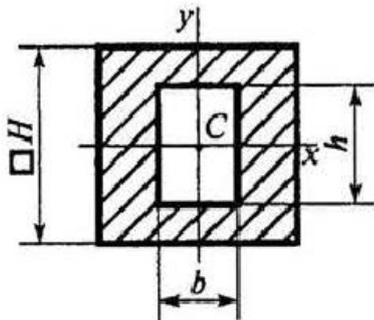


в)



г)

37. Выбрать формулу для расчета главного центрального момента инерции сечения относительно оси  $x$ .

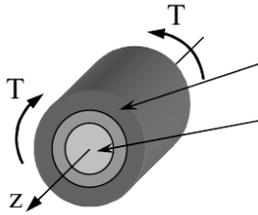


- а)  $\frac{H^4}{12} + \frac{b \cdot h^3}{12}$ ;
- б)  $\frac{H^4}{12} + a^2 \cdot A - \frac{b \cdot h^3}{12}$ ;
- в)  $\frac{H^4}{12} - \frac{h \cdot b^3}{12}$ ;
- г)  $\frac{H^4}{12} - \frac{b \cdot h^3}{12}$ .

38. Как изменится диаметр круглого бруса после испытаний на кручение?

- а) увеличится; б) уменьшится; в) искривится; г) не изменится.

39. Наиболее нагруженные точки при кручении находятся



- а) в середине вала;
- б) на поверхности вала;
- в) по всему сечению вала.

40. Выбрать верную запись закона Гука при сдвиге.

$$\tau = \frac{M \cdot \rho}{J_p};$$

а)

$$\tau = G \cdot \gamma;$$

б)

$$\tau = \frac{Q}{A};$$

в)

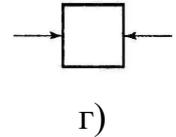
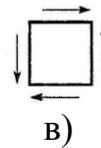
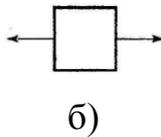
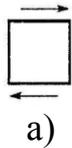
$$\tau = \frac{M}{W_p}.$$

г)

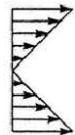
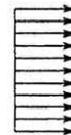
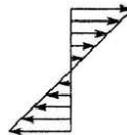
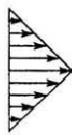
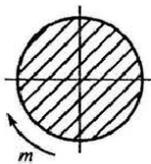
41. Какие деформации возникают в каждом элементе бруса при кручении?

- а) растяжение;
- б) сжатие;
- в) сдвиг;
- г) изгиб.

42. Выбрать напряженное состояние, называемое «чистым сдвигом».



43. Как распределяется напряжение в поперечном сечении бруса при кручении?



44. Выбрать формулу для расчета угла закручивания вала.

$$\gamma = \frac{\varphi_0}{l} \cdot r;$$

а)

$$\varphi = \frac{M_K}{G \cdot J_p} \cdot l;$$

б)

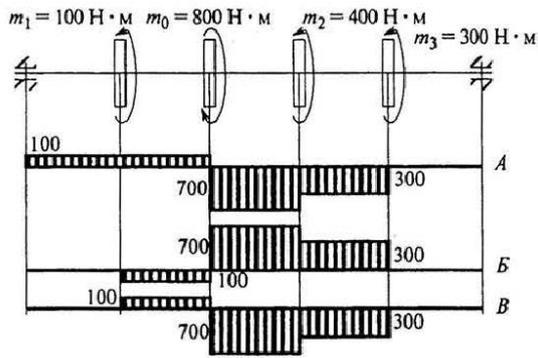
$$\gamma = \frac{\tau}{G};$$

в)

$$\varphi = \varphi_0 \cdot l.$$

г)

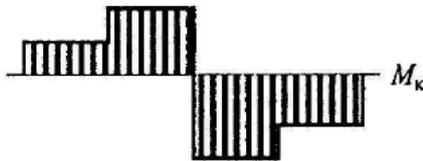
45. Выбрать эпюру крутящих моментов, соответствующую заданной схеме вала.



- а) А;  
 б) Б;  
 в) В;  
 г) верный ответ не приведен.

46. Какому нагружению вала соответствует данная эпюра?

$m_1 = 12 \text{ Н} \cdot \text{м}; m_2 = 48 \text{ Н} \cdot \text{м}; m_3 = 60 \text{ Н} \cdot \text{м};$   
 $m_4 = 18 \text{ Н} \cdot \text{м}.$

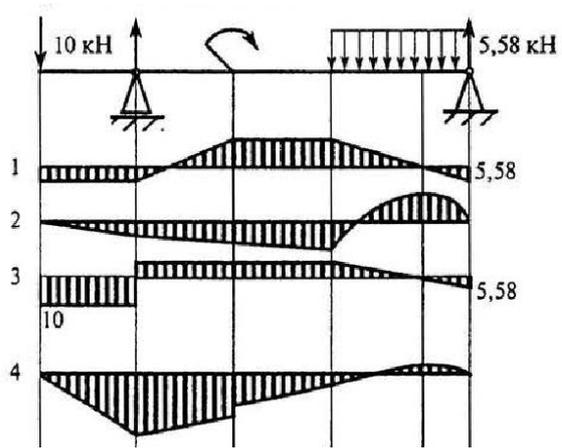


- а)
- б)
- в)
- г)

47. Выбрать верную запись условия жесткости при кручении.

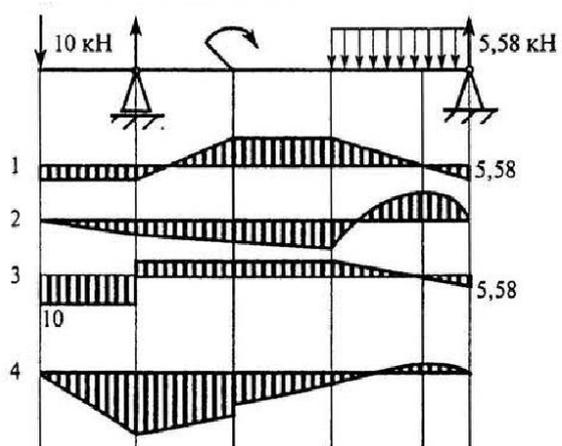
а)  $\varphi = \frac{M_K}{G \cdot J_p} < [\varphi_0];$  б)  $\varphi = \frac{M_K}{G \cdot J_p} = [\varphi_0];$  в)  $\varphi = \frac{M_K}{G \cdot J_p} > [\varphi_0];$  г)  $\varphi = \frac{M_K}{G \cdot J_p} \leq [\varphi_0].$

48. Из представленных на схеме эпюр выбрать эпюру поперечной силы для балки.



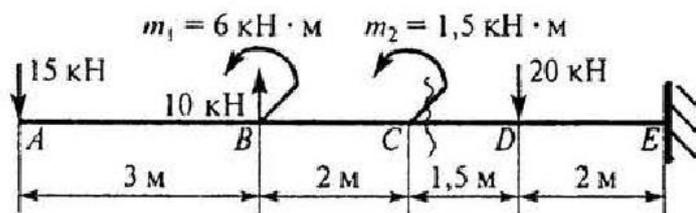
- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.

49. Из представленных на схеме эюр выбрать эюру изгибающих моментов для балки.



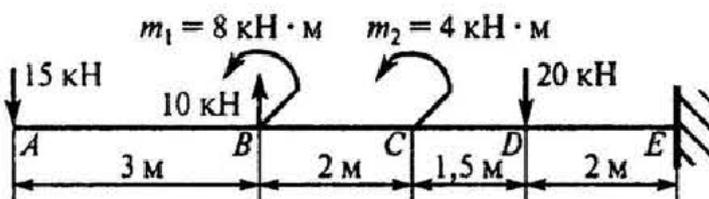
- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.

50. Вычислить величину изгибающего момента в сечении C (справа).



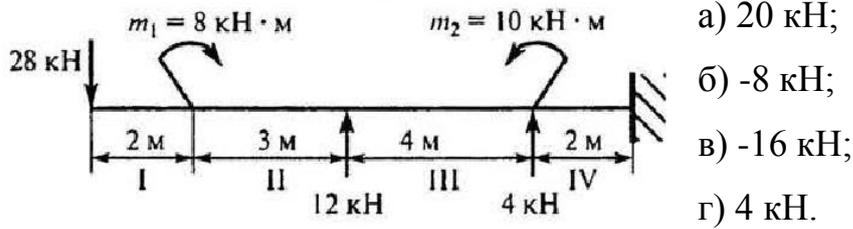
- а) 94,5 кН·м;
- б) 62,5 кН·м;
- в) 74,5 кН·м;
- г) 109,5 кН·м.

51. Вычислить величину изгибающего момента в сечении D.

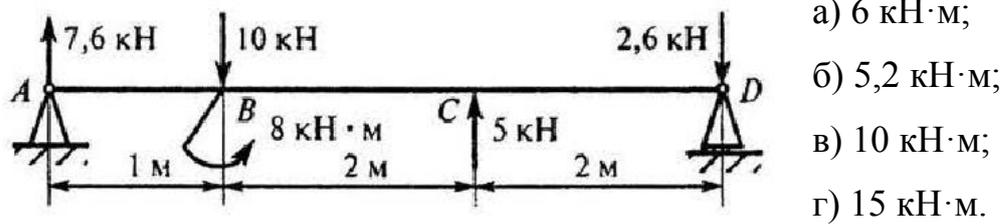


- а) 94,5 кН·м;
- б) 62,5 кН·м;
- в) 74,5 кН·м;
- г) 109,5 кН·м.

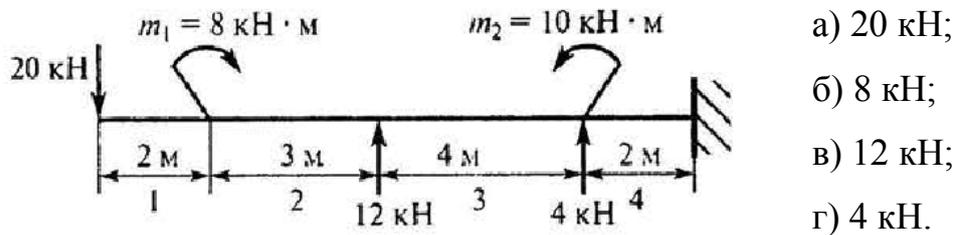
52. Определить поперечную силу в любом сечении на 3 участке балки.



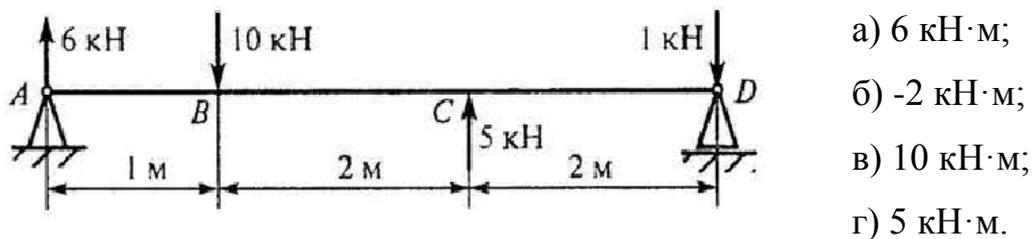
53. Вычислить величину изгибающего момента в сечении C.



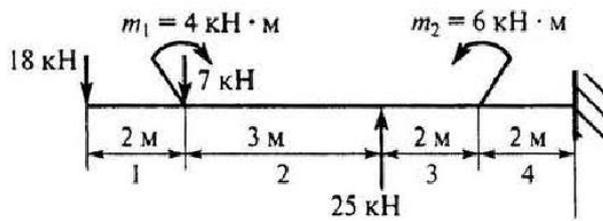
54. Определить поперечную силу в любом сечении на 2 участке бруса.



55. Вычислить величину изгибающего момента в сечении C.

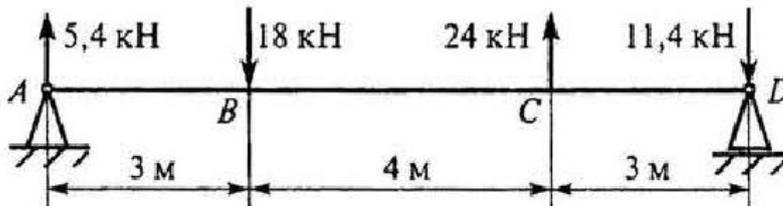


56. Определить поперечную силу в любом сечении на 2 участке балки.



- а) 20 кН;
- б) 8 кН;
- в) 12 кН;
- г) 4 кН.

57. Вычислить величину изгибающего момента в сечении С.

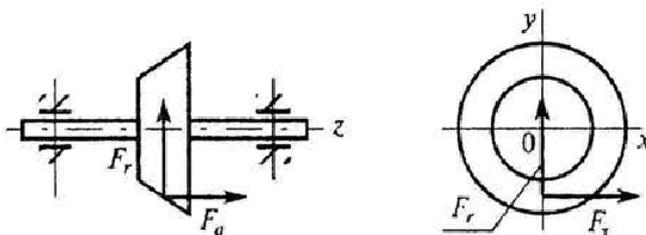


- а) 6 кН·м;
- б) -2 кН·м;
- в) 10 кН·м;
- г) 5 кН·м.

58. Какое напряжение называют «эквивалентным»?

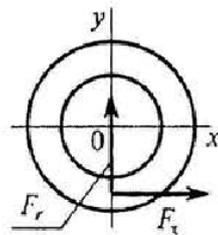
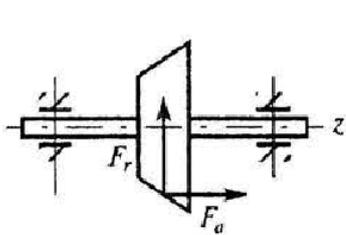
- а) напряжение, равное действующему;
- б) напряжение, равное геометрической сумме действующих напряжений;
- в) напряжение, равное алгебраической сумме действующих напряжений;
- г) напряжение равноопасного состояния для точки.

59. Указать силу на схеме вала, которая изгибает и скручивает вал.



- а)  $F_r$ ;
- б)  $F_a$ ;
- в)  $F_t$ ;
- г)  $F_t$  и  $F_r$ .

60. Указать силу на схеме вала, которая изгибает и скручивает вал.



- а)  $F_\tau$ ;
- б)  $F_r$ ;
- в)  $F_a$ ;
- г)  $F_a$  и  $F_r$ .

61. Какие напряжения возникают в точке поперечного сечения бруса при действии изгиба с кручением?

- а)  $\sigma$ ;
- б)  $\tau$ ;
- в)  $\sigma$  и  $\tau$ ;
- г) однозначного ответа нет.

62. Выбрать формулу для расчета эквивалентного напряжения по гипотезе энергии формоизменения.

- а)  $\sigma + \tau$ ;
- б)  $\sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$ ;
- в)  $\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ ;
- г)  $\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$ .

63. Выбрать формулу для расчета эквивалентного момента по теории максимальных касательных напряжений.

- а)  $M_{из} + M_{кр}$ ;
- б)  $\sqrt{M_{из}^2 + M_{кр}^2}$ ;
- в)  $\sqrt{M_{из}^2 + 0,75M_{кр}^2}$ ;
- г) верный ответ не приведен.

64. Каким напряженным состоянием по гипотезе прочности заменяют напряженное состояние в точке бруса при совместном действии изгиба и кручения?

- а) плоским двухосным;
- б) равноопасным одноосным;
- в) плоским, суммарным;
- г) трехосным (объемным).

65. Для чего служат гипотезы прочности?

- а) для определения характера разрушения;

- б) для определения деформации;
- в) для замены сложного напряженного состояния равноопасным простым;
- г) для упрощения расчетов.

66. Что такое «критическая сила»?

- а) максимальная сжимающая сила, при которой стержень сохраняет прочность;
- б) минимальная сжимающая сила, при которой стержень теряет устойчивость;
- в) максимальная сила, при которой стержень сохраняет устойчивость;
- г) минимальная сила, при которой в стержне появляются пластические деформации.

67. Из приведенных характеристик материала выбрать характеристику, используемую при расчете на устойчивость.

- а)  $\sigma_T$ ;
- б)  $\sigma_B$ ;
- в)  $E$ ;
- г)  $HB$ .

68. Выбрать правильную запись условия устойчивости.

- а)  $F_{сж} < F_{кр}$ ;
- б)  $F_{сж} < \frac{F_{кр}}{[S_y]}$ ;
- в)  $F_{сж} < \sigma_{сж} \cdot A$ ;
- г)  $F_{сж} < \sigma_{кр} \cdot A$ .

69. Выбрать правильную запись условия устойчивости сжатого стержня.

- а)  $\sigma_{сж} \leq \frac{\sigma_T}{S}$ ;
- б)  $\sigma_{сж} < (a - b\lambda)$ ;
- в)  $\sigma_{сж} \leq \frac{\sigma_{кр}}{[S_y]}$ ;
- г)  $\sigma_{сж} \leq \frac{F_{сж}}{A}$ .

70. Что понимают под «устойчивостью сжатых стержней»?

- а) отсутствие разрушения при сжатии;
- б) отсутствие опрокидывания;
- в) способность сохранять первоначальную форму равновесия;

г) способность восстанавливать исходную форму равновесия.

## II Установить соответствие

1. Установить соответствие между величиной и единицей измерения

<u>Величина</u>	<u>Единица измерения</u>
1) относительная продольная деформация $\varepsilon$ ;	а) м;
2) абсолютная продольная деформация $\Delta l$ ;	б) %;
3) модуль упругости $E$ .	в) МПа;
	г) Н.

2. Установить соответствие между геометрической характеристикой и определяемым ее интегралом

<u>Геометрическая характеристика</u>	<u>Интеграл</u>
1) статический момент сечения относительно оси $x$ ;	а) $S_x = \int_A y dA$ ;
2) осевой момент инерции сечения относительно оси $y$ ;	б) $I_y = \int_A x^2 dA$ ;
3) центробежный момент инерции сечения;	в) $I_{xy} = \int_A xy dA$ ;
4) полярный момент инерции сечения.	г) $I_p = \int_A \rho^2 dA$ .

3. Установить соответствие между формулой и определением

<u>Определение</u>	<u>Формула</u>
1) осевой момент круглого сечения;	а) $I_x = I_y = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$ ;
2) полярный момент инерции круглого сечения;	б) $I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$ ;
3) полярный момент сопротивления круглого сечения при кручении.	в) $W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$ .

4. Установить соответствие между формулой и определением

Определение

- 1) осевой момент кольцевого сечения;
- 2) полярный момент инерции кольцевого сечения;
- 3) полярный момент сопротивления кольцевого сечения при кручении.

Формула

а)  $I_x = I_y = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64}$ ;

б)  $I_p = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32}$ ;

в)  $W_p = \frac{\pi}{16} \cdot \left( \frac{D^4 - d^4}{D} \right)$ .

5. Установить соответствие между геометрической характеристикой и определением

Определение

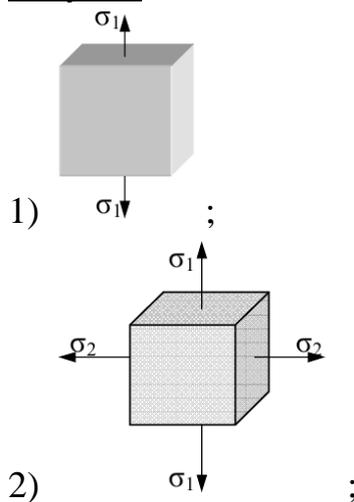
- 1) момент сопротивления сечения при изгибе;
- 2) осевой момент инерции;
- 3) полярный момент сопротивления при кручении;
- 4) полярный момент инерции.

Геометрическая характеристика

- а)  $W_x$ ;
- б)  $I_p$ ;
- в)  $W_p$ ;
- г)  $I_x$ .

6. Установить соответствие между рисунком и напряженным состоянием

Рисунок



Напряженное состояние

- а) объемное;
- б) линейное;
- в) плоское.

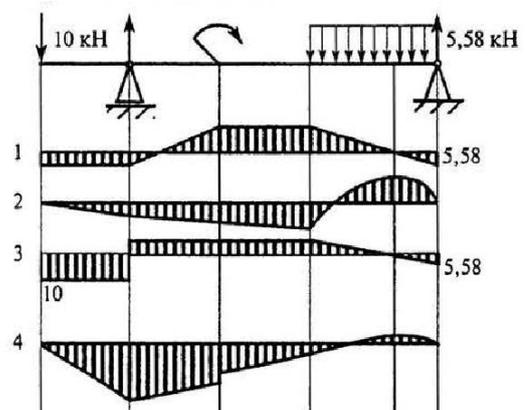


$$3) \tau_{max} = \frac{M_K}{W_p};$$

$$4) [\tau] = \frac{M_K \cdot \rho}{J_p}$$

Г) мм<sup>4</sup>.

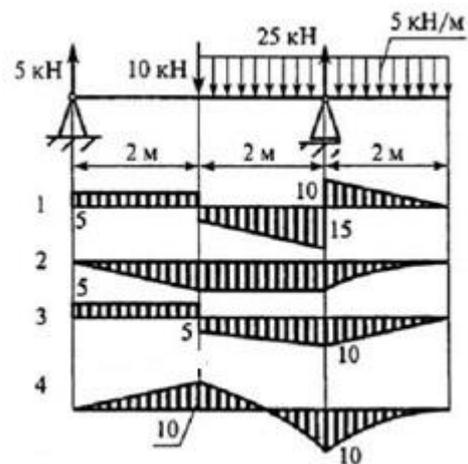
10. Из представленных на схеме эюр выбрать эюру .... для балки.



- 1) эюра поперечной силы;
- 2) эюра изгибающих моментов.

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.

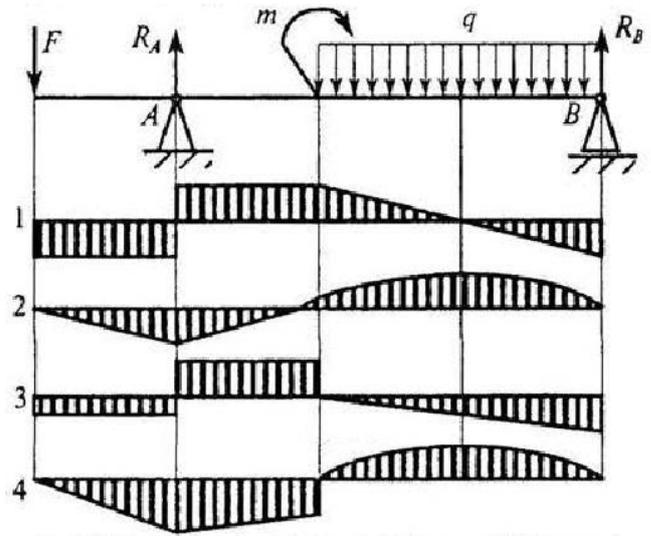
11. Из представленных на схеме эюр выбрать эюру .... для балки.



- 1) эюра поперечной силы;
- 2) эюра изгибающих моментов.

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.

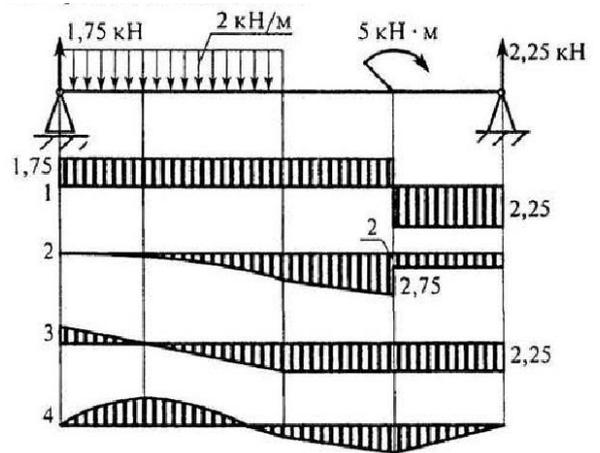
12. Из представленных на схеме эюр выбрать эюру .... для балки.



- 1) эюра поперечной силы;
- 2) эюра изгибающих моментов.

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.

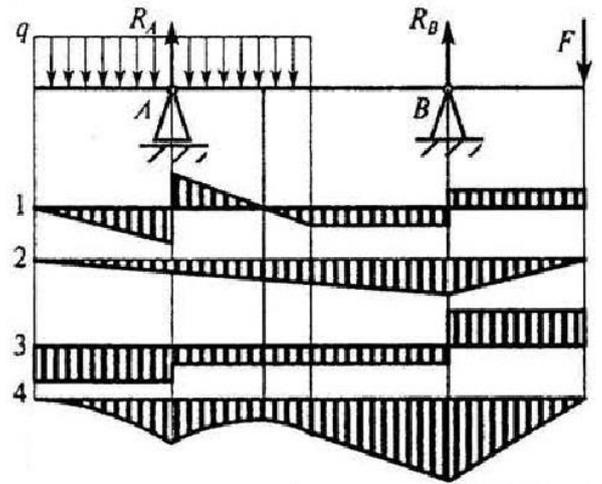
13. Из представленных на схеме эюр выбрать эюру .... для балки.



- 1) эюра поперечной силы;
- 2) эюра изгибающих моментов.

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.

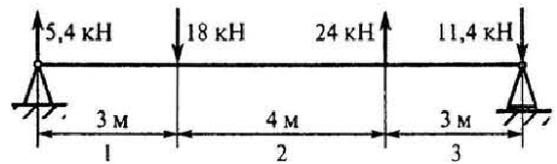
14. Из представленных на схеме эпюр выбрать эпюру .... для балки.



- 1) эпюра поперечной силы;
- 2) эпюра изгибающих моментов.

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.

15. Определить поперечную силу в любом сечении на ... участке бруса.



- 1 участок
- 2 участок
- 3 участок

- а)  $18 \text{ кН}$ ;
- б)  $12,6 \text{ кН}$ ;
- в)  $24 \text{ кН}$ ;
- г)  $5,4 \text{ кН}$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

«Техническая механика» является важным общетехническим предметом, состоящим из четырех разделов: теоретическая механика, сопротивление материалов, теория машин и механизмов и детали машин.

Все знания и умения, полученные обучающимися при изучении технической механики, найдут применение при решении технических задач в процессе изучения специальных предметов, а также в процессе практической работы при проектировании производства и эксплуатации различных машин и оборудования.

Учебно-методическое пособие «Техническая механика» предназначено студентам обучающихся по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия (профиль «Электрооборудование и электротехнологии»). Автор старался учесть главную задачу высшего образования – научить обучаемого учиться, и при отборе минимума материала обеспечить целостность курса. Пособие включает не только задачи и примеры решения контрольной работы, но и предлагает базу, на которой может строиться самообучение.

## СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

### *В разделе «Теоретическая механика»*

$m$ – масса;	$A$ – площадь;
$V$ – объем;	$S_x$ – статический момент площади относительно оси $x$ ;
$C$ – центр тяжести;	$W$ – работа силы (момента силы);
$\bar{F}$ ( $F_x, F_y, F_z$ ) – сила (составляющие силы по координатным осям);	$P$ – мощность силы (момента силы);
$M(m)$ – момент силы (момент пары);	$l$ ( $l_{AB}$ ) – длина (расстояние между точками $A$ и $B$ );
$R$ – равнодействующая сила;	$t$ – время;
$T$ – сила натяжения гибкой связи (каната, троса, ремня);	$s$ – путь;
$F_T$ – сила трения;	$\bar{v}$ ( $v_x, v_y, v_z$ ) – скорость;
$G$ – сила тяжести;	$\bar{a}$ ( $a_x, a_y, a_z$ ) – ускорение;
$F_i$ – сила инерции;	$a_n$ ( $a_t$ ) – нормальное (тангенциальное) ускорение;
$f$ – коэффициент трения скольжения;	$\varphi$ – угол поворота;
$n$ – частота вращения;	$\omega$ – угловая скорость;
$\varepsilon$ – угловое ускорение;	$\eta$ – коэффициент полезного действия (КПД).

### *В разделе «Сопротивление материалов»*

$F$ – сосредоточенная сила;	$N$ – продольная (нормальная) сила;
$[\sigma], [\tau]$ – допускаемые нормальное и касательное напряжения;	$M$ – сосредоточенный момент;
$\sigma$ – нормальное напряжение (общее обозначение);	$Q_x, Q_y$ – поперечные силы, направленные вдоль осей $x, y$ ;
$\tau$ – касательное напряжение (общее обозначение);	$M_x, M_y$ – изгибающие моменты в поперечном сечении бруса относительно осей $x, y$ ;

$\sigma_{см}$  – нормальное напряжение при смятии;

$\sigma_c$  – нормальное напряжение при сжатии;

$\sigma_p$  – нормальное напряжение при растяжении;

$\sigma_v$  – предел прочности;

$\sigma_T$  – предел текучести;

$q$  – интенсивность распределенной нагрузки;

$\varphi$  – угол поворота поперечного сечения бруса при кручении;

$E$  – модуль продольной упругости;

$G$  – модуль упругости при сдвиге (модуль сдвига);

$l$  – длина, пролет;

$x$  – продольная ось стержня;

$y, z$  – главные центральные оси инерции поперечного сечения стержня;

$\omega$  – угловая скорость вала;

$n$  – частота вращения вала;

$P$  – мощность;

$T, M_{кр}$  – крутящий момент в поперечном сечении бруса;

$b$  – ширина;

$\delta$  – толщина;

$A$  – площадь поперечного сечения;

$W_p$  – полярный момент сопротивления сечения, зависящий;

$W$  – осевой момент сопротивления изгибу,

$k$  – коэффициента запаса прочности;

$\Delta l$  – абсолютное удлинение (абсолютная линейная деформация);

$\varepsilon$  – относительное удлинение (относительная линейная деформация);

$\gamma$  – угол сдвига (относительная угловая деформация);

$\theta$  – угол поворота поперечного сечения балки при изгибе;

$\Theta$  – относительный угол закручивания;

$J_p$  – полярный момент инерции сечения.

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Едунов В.В. Механика: уч. пос. для вузов. – М.: Академия, 2010. – 352с.
2. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: учебник-20-е изд.-М.: Высш.шк., 2010. – 416с.
3. Кривошапко С.Н. Сопротивление материалов: лекции; семинары; Расчетно-графические работы: учебник для бакалавров – М.: Юрайт, 2012. – 413с.

### Дополнительная

4. Механика [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Щербакова Ю.В. – Электрон. текстовые данные. – Саратов: Научная книга, 2012. – 191 с.
5. Механика. Методы решения задач [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Покровский В.В. – Электрон. текстовые данные. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 255 с.
6. Джамай В.В. Прикладная механика: учеб.для академ.бакал.-2-е изд., испр. и доп. – М.:Юрайт, 2014. – 360с.
7. Техническая механика. Книга 3. Основы теории механизмов и машин [Электронный ресурс]: учебное пособие / Киницкий Я.Т. – Электрон. текстовые данные. – М.: Машиностроение, 2012. – 104 с.
8. Кривошапко С.Н. Сопротивление материалов: учебник и практикум для прикл. бакалавриата. – М.: Юрайт, 2015. – 413с.

**Ю.Н. Макеева**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА»**

Ачинский филиал ФГБОУ  
«Красноярский государственный аграрный университет»  
662150, Красноярский край, г. Ачинск, ул. Коммунистическая, 49  
<http://afkras.ru/>; e-mail: kras.gau@mail.ru