Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»

Кафедра механики и машиностроения

УТВЕРЖДАЮ
Директор института горного дела и геосистем
_____ Ю.Е. Прошунин
подпись
«____» _____ 20___ г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Сопротивление материалов

(* Перечень направлений подготовки (специальностей) и направленностей (профилей) на следующей странице)

Квалификация выпускника
Горный инженер (специалист)

Форма обучения
Очная форма

Срок обучения: 5 лет 6 месяцев

Год начала подготовки 2025

Новокузнецк
2025

СибГИУ
Подлинник электронного документа хранится в системе электронного согласования документов СибГИУ
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭП
Сертификат: 9fd7798fc418b476e2d2f985fbfede764a9b7a51
Владелец: Директор ИГДиГ Прошунин Юрий Евгеньевич
Действителен: с 9 апреля 2024 г. по 3 июля 2025 г.
Дата и время: 09-06-2025 13:18:54 ПРОВЕРИТЬ ПОДПИСЬ

Перечень направлений подготовки (специальностей) и направленностей (профилей):
21.05.04 «Горное дело»
(направленность (профиль): «Подземная разработка пластовых месторождений»)
21.05.04 «Горное дело»
(направленность (профиль): «Открытые горные работы»)

## 1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Целями учебной дисциплины являются:

– дать будущему специалисту необходимые представления, а также приобрести навыки в области анализа работы и расчета элементов конструкций, выполненных из различных материалов, на прочность, жесткость и устойчивость при различных внешних воздействиях.

Задачами учебной дисциплины являются:

– дать обучающемуся фундаментальные знания о напряженно-деформированном состоянии элементов конструкций, научить практическим приемам рационального расчета типовых деталей и элементов конструкций с использованием различных методов.

## 2 Место учебной дисциплины в структуре ООП по направлению подготовки (специальности)

Учебная дисциплина относится к учебным дисциплинам обязательной части **Блока 1 «Дисциплины (модули)»** ООП по направлению подготовки (специальности) 21.05.04 «Горное дело».

Учебная дисциплина базируется на предварительном усвоении обучающимися учебных дисциплин:

– Физика;

– Математика.

Учебная дисциплина дополняет знания и умения, получаемые по одновременно изучаемым и последующим учебным дисциплинам:

– Теоретическая механика;

– Прикладная механика.

## 3 Планируемые результаты обучения по учебной дисциплине

Процесс изучения учебной дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

### – Общепрофессиональные компетенции

| Наименование категории (группы) ОПК | Код и наименование ОПК | Код и наименование индикатора достижения ОПК | Планируемые результаты обучения |
|---|---|---|---|
| Исследование | ОПК-18: Способен участвовать в исследованиях объектов профессиональной деятельности и их структурных элементов | ОПК-18.1 Моделирует напряженно-деформированное состояние элементов конструкции, выполняет проектные расчеты структурных элементов объекта | – знать: основные принципы, положения и гипотезы сопротивления материалов, методы и практические приемы расчета элементов |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | конструкций горных предприятий на прочность, жесткость и устойчивость при различных внешних воздействиях.<br>– уметь: грамотно составить расчетную схему эле-мента конструкции, провести его силовой анализ, выбрать наиболее рациональ-ный метод расчета при раз-личных внешних воздействиях и найти истинное распределение напряжений, обеспечив при этом необходимую его прочность и жесткость с учетом реальных свойств конструкционных ма-териалов, обеспечивающих порядок, качество и безопасность выполнения горных, горно-строительных и взрывных работ.. |

## 4 Объем и содержание учебной дисциплины

Учебные занятия по учебной дисциплине проводятся в форме контактной работы и в форме самостоятельной работы обучающихся.

Контактная работа включает в себя занятия лекционного типа (лекции), занятия семинарского типа (семинары, практические занятия, практикумы), промежуточную аттестацию обучающихся и иные формы взаимодействия обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации ООП на иных условиях, в том числе при проведении промежуточной аттестации обучающихся. Контактная работа может проводиться с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

### Объем учебной дисциплины

| Семестр / курс | | ***ИТОГО*** | ***5 семестр*** |
|---|---|---|---|
| Форма промежуточной аттестации | | | *экзамен* |
| Трудоёмкость | *академ. час.* | ***144*** | *144* |

| | | |
|---|---|---|
| *зачетных единиц* | ***4*** | *4* |
| Лекции, *академ. час.* | ***16*** | *16* |
| в форме практической подготовки | ***0*** | *0* |
| Лабораторные работы, *академ. час.* | ***0*** | *0* |
| в форме практической подготовки | ***0*** | *0* |
| Практические занятия, *академ. час.* | ***16*** | *16* |
| в форме практической подготовки | ***0*** | *0* |
| Курсовая работа / проект, *академ. час.* | ***0*** | *0* |
| в форме практической подготовки | ***0*** | *0* |
| Консультации, *академ. час.* | ***0*** | *0* |
| в форме практической подготовки | ***0*** | *0* |
| Самостоятельная работа, *академ. час.* | ***67*** | *67* |
| в форме практической подготовки | ***0*** | *0* |
| Контроль, *академ. час.* | ***45*** | *45* |
| в форме практической подготовки | ***0*** | *0* |

## Содержание учебной дисциплины

Раздел 1 Введение. (Основные понятия (Задачи курса «Сопротивление материалов» и связь с другими дисциплинами. Метод сечений. Напряжения и деформации. Закон Гука. Расчеты на прочность););

Раздел 2 Центральное растяжение и сжатие стержней;;

Тема 2.1 Напряженно-деформированное состояние при растяжении-сжатии ((Одноосное центральное растяжение или сжатие. Продольные силы. Напряжения в поперечных сечениях. Деформированное состояние при растяжении – сжатии. Закон Гука при растяжении- сжатии. Модуль упругости первого рода););

Тема 2.2 Механические свойства материалов ((Диаграмма растяжения – сжатия. Истинная диаграмма. Условный предел текучести. Наклеп материала. Пластичность и хрупкость ма-териалов. Ползучесть материала. Элементы рационального проекти-рования простейших систем););

Раздел 3 Геометрические характеристики поперечных сечений ((Статический момент сечения. Осевые и полярный моменты инерции. Центробежный момент инерции. Зависимость между моментами инерции относительно параллельных осей. Моменты инерции про-стейших фигур. Изменение моментов инерции при повороте осей. Главные оси инерции и главные моменты инерции. Свойства главных осей););

Раздел 4 Двухосное напряженное состояние ((Главные напряжения и главные площадки. Одноосное напряженное состояние. Плоское напряженное состояние. Частные случаи. Закон парности касательных напряжений. Определение главных напряжений и положения главных площадок. Обобщенный закон Гука););

Раздел 5 Сдвиг ((Чистый сдвиг как частный случай напряженного состояния в точке и сдвиг (срез) как простой вид деформации стержня.

Практический рас-чет заклепочных, болтовых и сварных соединений, работающих на сдвиг. Закон Гука при сдвиге. Модуль упругости второго рода););

Раздел 6 Кручение стержня круглого сечения ((Крутящий момент, напряжения, углы закручивания. Расчет на проч-ность и жесткость););

Раздел 7 Прямой поперечный изгиб;;

Тема 7.1 Поперечные силы и изгибающие моменты ((Классификация видов изгиба. Изгиб прямого стержня в главной плоскости инерции. Опоры и опорные реакции. Внутренние силовые факторы в поперечных сечениях при плоском поперечном изгибе: поперечные силы и изгибающие моменты););

Тема 7.2 Нормальные напряжения и касательные напряжения ((Чистый изгиб: основные допущения, нормальные напряжения, зави-симость между изгибающим моментом и кривизной оси изогнутой балки. Плоский поперечный изгиб: условия распространения выводов чистого изгиба. Касательные напряжения для сплошных сечений (формула Журавского). Главные напряжения при изгибе. Расчеты на прочность при изгибе по допускаемым напряжениям, разрушающим нагрузкам и предельным состояниям););

Тема 7.3 Определение деформаций при изгибе ((Особенности определения перемещений в балках при наличии не-скольких участков. Дифференциальное уравнение оси изогнутого стержня. Метод начальных параметров. Определение прогибов и уг-лов поворота в балках энергетическими методами. Интеграл Макс-велла-Мора. Вычисление интеграла Мора по правилу Верещагина и Симпсона););

Тема 7.4 Статически неопределимые балки ((Понятие о статически неопределимых балках. Степень статической неопределимости. Методы решения статически неопределимых си-стем. Метод с использованием универсального уравнения изогнутой оси балки. Метод сил. Заданная и основная системы. Каноническая форма записи дополнительного уравнения. Решение канонических уравнений););

Раздел 8 Сложное сопротивление;;

Тема 8.1 Гипотезы прочности ((Опасное напряженное состояние. Полное напряженное состояние. Гипотезы прочности. Расчеты на прочность по эквивалентным напряжениям, найденным по одной из гипотез прочности););

Тема 8.2 Совместное действие изгиба и кручения ((Определение напряжений в опасных сечениях. Проверка прочности бруса с использованием одной из теорий прочности. Главные напряжения для заданного напряженного состояния););

Раздел 9 Устойчивость сжатых стержней ((Понятие об устойчивости. Критическая сила. Формула Эйлера. Условие устойчивости. Подбор сечения).).

## 5 Перечень тем лекций

| № раздела / темы дисциплины | Темы лекций | Трудоемкость, *академ.час* | |
|---|---|---|---|
| | | **всего** | **в форме практической подготовки** |
| Раздел 1. | Введение. Основные понятия | 1 | |
| Тема 2.1. | Напряженно-деформированное состояние при растяжении-сжатии | 1 | |
| Тема 2.2. | Механические свойства материалов | 1 | |
| Раздел 3. | Геометрические характеристики поперечных сечений | 2 | |
| Раздел 4. | Двухосное напряженное состояние | 1 | |
| Раздел 5. | Сдвиг | 1 | |
| Раздел 6. | Кручение стержня круглого сечения | 2 | |
| Раздел 7. | Прямой поперечный изгиб | | |
| Тема 7.1. | Поперечные силы и изгибающие моменты | 1 | |
| Тема 7.2. | Нормальные напряжения и касательные напряжения | 1 | |
| Тема 7.3. | 3 Определение деформаций при изгибе | 1 | |
| Тема 7.4. | Статически неопределимые балки | 1 | |
| Раздел 8. | Сложное сопротивление | | |
| Тема 8.1. | Гипотезы прочности | 1 | |
| Тема 8.2. | Совместное действие изгиба и кручения | 1 | |
| Раздел 9. | Устойчивость сжатых стержней | 1 | |
| **Итого:** | | **16** | **0** |

## 6 Перечень тем практических занятий (семинаров)

| № раздела / темы дисциплины | Темы практических занятий (семинаров) | Трудоемкость, *академ.час* | |
|---|---|---|---|
| | | **всего** | **в форме практической подготовки** |
| Раздел 2. | Центральное растяжение и сжатие стержней. | 1 | |
| Раздел 3. | Геометрические характеристики сечений стержней | 2 | |
| Раздел 6. | Кручение стержня | 2 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | круглого сечения | | |
| Раздел 7;<br>Тема 7.1. | Поперечные силы и изгибающие моменты | 2 | |
| Тема 7.2. | Нормальные и касательные напряжения | 2 | |
| Тема 7.3. | Определение деформаций при изгибе | 2 | |
| Тема 7.4. | Статически неопределимые балки | 2 | |
| Раздел 8;<br>Тема 8.2. | Совместное действие изгиба и кручения | 2 | |
| Раздел 9. | Устойчивость сжатых стержней | 1 | |
| **Итого:** | | **16** | **0** |

## 7 Перечень тем лабораторных работ

| **№ раздела / темы дисциплины** | **Темы лабораторных работ** | **Трудоемкость, *академ.час*** | |
|---|---|---|---|
| | | **всего** | **в форме практической подготовки** |
| | *Отсутствуют* | | |
| **Итого:** | | **0** | **0** |

## 8 Перечень тем курсовых работ (проектов)

| **№ раздела / темы дисциплины** | **Темы курсовых работ (проектов)** | **Трудоемкость, *академ.час*** | |
|---|---|---|---|
| | | **всего** | **в форме практической подготовки** |
| | *Отсутствуют* | | |
| **Итого:** | | **0** | **0** |

## 9 Виды самостоятельной работы

| **№ раздела / темы дисциплины** | **Виды самостоятельной работы** | **Трудоемкость, *академ.час*** | |
|---|---|---|---|
| | | **всего** | **в форме практической подготовки** |
| Раздел 1. | 1. Изучение лекционного материала;<br>2. Прохождение тестирования;<br>3. Составление конспекта лекций. | 5 | |
| Раздел 2. | 1. Изучение лекционного материала;<br>2. Подготовка к практическому занятию;<br>3. Прохождение тестирования. | 6 | |
| Раздел 3. | 1. Изучение лекционного | 8 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | материала;<br>2. Подготовка к практическому занятию;<br>3. Прохождение тестирования. | | |
| Раздел 4. | 1. Изучение лекционного материала;<br>2. Прохождение тестирования. | 8 | |
| Раздел 5. | 1. Изучение лекционного материала;<br>2. Прохождение тестирования. | 8 | |
| Раздел 6. | 1. Изучение лекционного материала;<br>2. Подготовка к практическому занятию;<br>3. Прохождение тестирования. | 8 | |
| Раздел 7. | 1. Изучение лекционного материала;<br>2. Подготовка к практическому занятию;<br>3. Прохождение тестирования. | 8 | |
| Раздел 8. | 1. Изучение лекционного материала;<br>2. Подготовка к практическому занятию;<br>3. Прохождение тестирования. | 8 | |
| Раздел 9. | 1. Изучение лекционного материала;<br>2. Подготовка к практическому занятию;<br>3. Прохождение тестирования. | 8 | |
| *Контроль* | *Подготовка к экзамену* | 45 | |
| **Итого:** | | **112** | **0** |

## 10 Матрица компетентностных задач по учебной дисциплине

| Контролируемые разделы (темы) дисциплины | Контролируемые компетенции | Оценочные средства |
|---|---|---|
| Раздел 1. | ОПК-18 | 1. Вопросы для устного обсуждения (опроса);<br>2. Конспект лекций;<br>3. Оценка участия в работе на лекционном занятии;<br>4. Тестовые задания |
| Раздел 2. | ОПК-18 | 1. Вопросы для собеседования |

| | | |
|---|---|---|
| | | при защите отчета о практической работе;<br>2. Вопросы для устного обсуждения (опроса);<br>3. Наблюдение за работой на практическом занятии;<br>4. Оценка участия в работе на лекционном занятии;<br>5. Тестовые задания |
| Раздел 3. | ОПК-18 | 1. Вопросы для собеседования при защите отчета о практической работе;<br>2. Вопросы для устного обсуждения (опроса);<br>3. Наблюдение за работой на практическом занятии;<br>4. Оценка участия в работе на лекционном занятии;<br>5. Тестовые задания |
| Раздел 4. | ОПК-18 | 1. Вопросы для устного обсуждения (опроса);<br>2. Оценка участия в работе на лекционном занятии;<br>3. Тестовые задания |
| Раздел 5. | ОПК-18 | 1. Вопросы для устного обсуждения (опроса);<br>2. Оценка участия в работе на лекционном занятии;<br>3. Тестовые задания |
| Раздел 6. | ОПК-18 | 1. Вопросы для собеседования при защите отчета о практической работе;<br>2. Вопросы для устного обсуждения (опроса);<br>3. Наблюдение за работой на практическом занятии;<br>4. Оценка участия в работе на лекционном занятии;<br>5. Тестовые задания |
| Раздел 7. | ОПК-18 | 1. Вопросы для собеседования при защите отчета о практической работе;<br>2. Вопросы для устного обсуждения (опроса);<br>3. Наблюдение за работой на практическом занятии;<br>4. Оценка участия в работе на лекционном занятии;<br>5. Тестовые задания |
| Раздел 8. | ОПК-18 | 1. Вопросы для собеседования при защите отчета о практической работе; |

| | | |
|---|---|---|
| | | 2. Вопросы для устного обсуждения (опроса);<br>3. Наблюдение за работой на практическом занятии;<br>4. Оценка участия в работе на лекционном занятии;<br>5. Тестовые задания |
| Раздел 9. | ОПК-18 | 1. Вопросы для собеседования при защите отчета о практической работе;<br>2. Вопросы для устного обсуждения (опроса);<br>3. Наблюдение за работой на практическом занятии;<br>4. Оценка участия в работе на лекционном занятии;<br>5. Тестовые задания |
| Экзамен. | ОПК-18 | 1. Задачи к экзамену |

## 11 Входной контроль

**11.1 Цель входного контроля** − определить начальный уровень подготовленности обучающихся и выстроить индивидуальную траекторию обучения. В условиях личностно-ориентированной образовательной среды результаты входного оценивания обучающегося используются как начальные значения в индивидуальном профиле академической успешности обучающегося.

### 11.2 Описание оценочных средств

Форма проведения входного контроля – тестирование.

Длительность тестирования – 20 минут.

Тестирование проводится в течение первых двух недель изучения учебной дисциплины в СУО «Moodle».

Для проведения тестирования используются тестовые задания для входного контроля (для ответа на 1 вопрос, как правило, выделяется 1 минута).

### Шкала оценивания результатов тестирования

За каждый правильный ответ выставляется 1 балл. Оценка выставляется в зависимости от процента правильных ответов:

Оценка формируется в соответствии с критериями таблицы:

| Процент результативности (правильных ответов) | Оценка |
|---|---|
| 86 до 100 | «отлично» |
| от 67до 85 | «хорошо» |
| от 50 до 66 | «удовлетворительно» |
| менее 50 | «неудовлетворительно» |

Основываясь на результатах тестирования, формируется индивидуальная траектория обучающегося (группы обучающихся), исходя из следующих соображений:

– 86 – 100 % – обучающийся готов к изучению учебной дисциплины без дополнительного повторения изученного ранее материала;

– 50 – 67 % – обучающийся в целом готов к изучению учебной дисциплины, требуется повторение отдельных вопросов(тем) изученного ранее материала, необходимого для успешного освоения учебной дисциплины;

– 49% и менее – обучающийся имеет слабую подготовку к изучению учебной дисциплины, необходимы корректирующие занятия и консультации.

**Тестовые задания для входного контроля знаний обучающихся приведены в приложении.**

## 12 Текущий контроль

**12.1 Текущий контроль знаний** используется для оперативного и регулярного управления учебной деятельностью (в том числе самостоятельной) обучающихся. Данный вид контроля стимулирует у обучающихся стремление к систематической самостоятельной работе по изучению учебной дисциплины и позволяет оценить степень освоения изученного материала.

Текущий контроль успеваемости осуществляется в течение семестра, в ходе повседневной учебной работы по индивидуальной инициативе педагогического работника, в том числе посредством использования СУО «Moodle».

Формы проведения текущего контроля – вопросы для собеседования при защите отчета о практической работе; вопросы для устного обсуждения (опроса); конспект лекций; наблюдение за работой на практическом занятии; оценка участия в работе на лекционном занятии; тестовые задания.

### 12.2 Описание оценочных средств

**Шкалы оценивания (методики оценки)**

#### 12.2.1 Рекомендации по оцениванию устных ответов обучающихся

С целью контроля и подготовки обучающихся к изучению новой темы в начале занятия лекционного типа (лекции) педагогическим работником проводится индивидуальный или фронтальный устный опрос по выполненным заданиям предыдущего раздела (темы).

**Критерии оценки:**

– правильность ответа по содержанию задания (учитывается количество и характер ошибок при ответе);

– полнота и глубина ответа (учитывается количество усвоенных фактов, понятий и т.п.);

– сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала);

– логика изложения материала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться специальной терминологией);

– рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели);

– своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается умение грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе);

– использование дополнительного материала (обязательное условие);

– рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени).

Оценка «отлично» ставится, если обучающийся:

– полно и аргументировано отвечает по содержанию задания;

– обнаруживает понимание материала, может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры, в том числе самостоятельно составленные;

– излагает материал последовательно и правильно.

Оценка «хорошо» ставится, если обучающийся дает ответ, удовлетворяющий тем же требованиям, что и для оценки «отлично», но допускает 1 – 2 ошибки, которые сам же исправляет.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если обучающийся обнаруживает знание и понимание основных положений данного задания, но:

– излагает материал неполно и допускает неточности в определении понятий или формулировке правил;

– не умеет достаточно глубоко и доказательно обосновать свои суждения и привести свои примеры;

– излагает материал непоследовательно и допускает ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если обучающийся обнаруживает незнание ответа на соответствующее задание, допускает ошибки в формулировке определений и правил, искажающие их смысл, беспорядочно и неуверенно излагает материал. Оценка «неудовлетворительно» отмечает такие недостатки в подготовке обучающегося, которые являются серьезным препятствием к успешному освоению последующего материала.

### 12.2.2 Рекомендации по оцениванию конспекта лекций

### 12.2.3 Рекомендации по оцениванию результатов тестирования обучающихся

Тестирование проводится по изученным разделам (темам) учебной дисциплины для выявления уровня знаний и умений обучающегося, мотивирования обучающегося к активизации самостоятельной работы по усвоению учебного материала, выявления и устранения пробелов в знаниях, повышения дисциплины и организации учебной деятельности обучающегося.

Тестирование проводится в СУО «Moodle» в рамках часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся. Для тестирования используется 20 вопросов из базы типовых тестовых заданий по изученным разделам (темам) учебной дисциплины. Обучающийся выбирает один ответ из предложенных вариантов ответа. В случае выбора неправильного ответа обучающийся получает за данный вопрос 0 баллов; в случае правильного ответа – 1 балл.

Оценка формируется в соответствии с критериями таблицы:

| Максимальный балл | Проходной балл | Оценка |
|---|---|---|
| 20 | не менее 18 | отлично |
| 17 | не менее 14 | хорошо |
| 13 | не менее 10 | удовлетворительно |
| 9 | – | неудовлетворительно |

### 12.2.4 Рекомендации по оцениванию участия обучающихся в работе на лекционных занятиях

Формирование у обучающихся добросовестного и ответственного отношения к собственному профессиональному образованию проявляется в обязательном его присутствии на лекционном занятии.

На лекционных занятиях происходит формирование информационной компетентности обучающихся, в том числе способности фиксировать информацию с помощью конспектирования учебного материала. Преподаватель на лекционных занятиях акцентирует внимание обучающихся на том, как необходимо оформлять конспект лекций в тетради. По окончании лекционных занятий преподаватель осуществляет проверку тетрадей обучающихся и оценивает их.

Критерии оценки участия обучающихся в работе на лекционных занятиях

| Наименование параметра оценки | Максимальное количество баллов за одно лекционное |
|---|---|

| | занятие |
|---|---|
| Наличие у обучающихся добросовестного и ответственного отношения к собственному профессиональному образованию, выраженное в посещении лекций | 0,5 |
| Умение конспектировать учебный материал в тетради, в том числе:<br>- материал изложен последовательно, четко и аккуратно<br>- в конспекте имеются изученные темы, основные термины, схемы | 0,5 |
| Всего | 1 |

Если по результатам оценки участия обучающийся в лекционных занятиях в среднем за семестр обучающийся набрал не менее 0,5 баллов, то ему выставляется оценка «зачтено», менее 0,5 баллов – «не зачтено».

### 12.2.5 Рекомендации по оцениванию в процессе наблюдения за работой на практическом занятии

Наблюдение за работой на практическом занятии – важнейший компонент контроля деятельности обучающихся и качества их обучения.

**Критерии оценки в процессе наблюдения за работой на практическом занятии:**

– самостоятельность выполнения задания и работы с методическими указаниями (учитывается работа в течение занятия, быстрота и способность нахождения в методических указаниях нужной информации);

– правильность выполнения работы (учитывается последовательность выполняемых действий, умение работать с инструментами и/или средствами вычислительной техники);

– рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения работы с учетом индивидуальных особенностей обучающихся);

– активность обучающегося при выполнении практической работы (учитывается индивидуальная работа и работа в группе).

Критерии оценки по результатам наблюдения за работой на практическом занятии

| Наименование параметра оценки | Максимальное количество баллов |
|---|---|
| Самостоятельно выполняет задания; умеет работать с методическими указаниями. | 2,5 |
| Указанные в методических указаниях действия выполняет в правильной последовательности; умеет работать с | 1,25 |

| Наименование параметра оценки | Максимальное количество баллов |
|---|---|
| инструментами и/или средствами вычислительной техники. | |
| Рационально использует время, отведенное на задание; проявляет активность при выполнении практической работы. | 1,25 |
| **Итого** | **5** |

Максимальное количество – 5 баллов соответствует оценке «отлично», 4 балла – «хорошо», 3 балла – «удовлетворительно», 2 балла – «неудовлетворительно».

### 12.2.6 Рекомендации по оцениванию ответов на вопросы в процессе собеседования при защите отчета о практической работе

Подготовку к защите отчета о практической работе обучающиеся осуществляют в рамках самостоятельной работы. Вопросы для подготовки к защите отчета о практической работе представлены в методических указаниях к практическим занятиям.

**Критерии оценки устных ответов на вопросы при защите отчета о практической работе:**

– правильность ответа по содержанию задания (учитывается количество и характер ошибок при ответе);

– полнота и глубина ответа (учитывается количество усвоенных фактов, понятий и т.п.);

– сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала);

– логика изложения материала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться специальной терминологией);

– сопровождение ответа примерами (учитывается умение грамотно и с пользой применять фактический материал для подкрепления теоретического при устном ответе);

– рациональность использования времени, отведенного на ответ (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени, с учетом индивидуальных особенностей обучающихся).

Критерии оценки устных ответов обучающихся на вопросы при защите отчета о практической работе

| Наименование параметра оценки | Максимальное количество баллов |
|---|---|
| Излагает материал последовательно и правильно; полно и аргументировано отвечает по содержанию задания. | 2,5 |
| Обнаруживает понимание материала, может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры, в том числе и самостоятельно составленные. | 1,25 |
| Рационально использует время, отведенное на ответ; устный | 1,25 |

| Наименование параметра оценки | Максимальное количество баллов |
|---|---|
| ответ не затянут во времени. | |
| **Итого** | **5** |

Максимальное количество – 5 баллов соответствует оценке «отлично», 4 балла – «хорошо», 3 балла – «удовлетворительно», 2 балла – «неудовлетворительно».

**Задания и вопросы для текущего контроля знаний обучающихся по разделам (темам) учебной дисциплины приведены в приложении.**

## 13 Промежуточная аттестация

**13.1 Оценочные материалы для промежуточной аттестации** обучающихся по учебной дисциплине предназначены для оценки степени достижения запланированных результатов обучения по завершению изучения учебной дисциплины в установленной учебным планом форме и позволяют определить качество усвоения изученного материала.

Итоговой формой контроля сформированности компетенций у обучающихся по учебной дисциплине является: экзамен.

Оценочные материалы для промежуточной аттестации обучающихся включают: задачи к экзамену.

### 13.2 Оценивание обучающегося на экзамене

| Оценка | Требования к знаниям |
|---|---|
| отлично | Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал различной литературы, правильно обосновывает принятое нестандартное решение, обладает приемами выполнения практических задач по формированию компетенций. |
| хорошо | Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, обладает необходимыми умениями и приемами их выполнения. |
| удовлетворительно | Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, испытывает сложности при выполнении практических работ и затрудняется связать |

| Оценка | Требования к знаниям |
|---|---|
| | теорию вопроса с практикой. |
| неудовлетворительно | Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает значительной части программного материала, неуверенно отвечает, допускает серьезные ошибки, не имеет представлений по методике выполнения практической работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по данной учебной дисциплине. |

**Задания и вопросы для промежуточной аттестации обучающихся приведены в приложении.**

## 14 Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины

**а) литература:**

1 Валишвили, Н. В. Сопротивление материалов и конструкций : учебник для вузов / Н. В. Валишвили, С. С. Гаврюшин. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 429 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-8247-3. – URL: https://urait.ru/bcode/536795 (дата обращения: 20.03.2025);

2 Ахметзянов, М. Х. Сопротивление материалов : учебник для вузов / М. Х. Ахметзянов, И. Б. Лазарев. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 297 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08113-8. – URL: https://urait.ru/bcode/535602 (дата обращения: 20.03.2025);

3 Минин, Л. С. Сопротивление материалов. Расчетные и тестовые задания : учебное пособие для вузов / Л. С. Минин, Ю. П. Самсонов, В. Е. Хроматов ; под редакцией В. Е. Хроматова. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 213 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08416-0. – URL: https://urait.ru/bcode/539421 (дата обращения: 20.03.2025);

4 Асадулина, Е. Ю. Сопротивление материалов : учебное пособие для вузов / Е. Ю. Асадулина. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 279 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-02370-1. – URL: https://urait.ru/bcode/538889 (дата обращения: 20.03.2025);

5 Атапин, В. Г. Сопротивление материалов. Сборник заданий с примерами их решений : учебное пособие для вузов / В. Г. Атапин. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 122 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-17691-9. – URL: https://urait.ru/bcode/533550 (дата обращения: 20.03.2025).

**б) ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:**

1 Электронный каталог : сайт / Научно-техническая библиотека СибГИУ. – Новокузнецк, [199 – ]. – URL: http://libr.sibsiu.ru. – URL: https://libr.sibsiu.ru;

2 Электронная библиотека // Научно-техническая библиотека СибГИУ : сайт. – Новокузнецк, [200 – ]. – URL: http://library.sibsiu.ru/LibrELibraryFullText.asp. – Режим доступа: для авторизир. пользователей. – URL: https://library.sibsiu.ru/LibrELibraryFullText.asp;

3 Консультант студента : электронно-библиотечная система / ООО «КОНСУЛЬТАНТ СТУДЕНТА». – Москва, [200 – ]. – URL: http://www.studentlibrary.ru. – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

4 ЛАНЬ : электронно-библиотечная система : [коллекция «Единая профессиональная база знаний для технических вузов - Издательство Лань" ЭБС»] / ООО «Издательство ЛАНЬ». – Санкт-Петербург, [200 – ]. – URL: http://e.lanbook.com. – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

5 Образовательная платформа ЮРАЙТ / ООО «Электронное издательство ЮРАЙТ». – Москва, [200 – ]. – URL: https://urait.ru. – Режим доступа: для авторизир. пользователей;

6 Университетская библиотека онлайн : электронно-библиотечная система / ООО «Директ-Медиа». – Москва, [200 – ]. – URL: https://biblioclub.ru. – Режим доступа: для авторизир. пользователей. – URL: http://www.biblioclub.ru;

7 НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА eLIBRARY.RU : база данных / ООО «НЭБ». – Москва, [200 – ]. – URL: http://elibrary.ru. – Режим доступа: по подписке;

8 Электронные периодические издания ИВИС : универсальная база данных / ООО «ИВИС». – Москва, [200 – ]. – URL: http://eivis.ru. – Режим доступа: по подписке.

**в) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

– 7-Zip;
– Adobe Acrobat Reader;
– Astra Linux Special Edition;
– Kaspersky Endpoint Security;
– Mathcad;
– Microsoft Office;
– Microsoft Windows;
– OnlyOffice;
– WinRAR;
– КОМПАС-3D;
– Р7-Офис.

**г) базы данных и информационно-справочные системы:**

1 ГАРАНТ : справочно-правовая система / ООО «Правовой центр «Гарант». – Кемерово, [200 – ]. – Режим доступа: компьютерная сеть Сиб. гос. индустр. ун-та.;

2 КонсультантПлюс : справочно-правовая система / ООО «Информационный центр АНВИК». – Новокузнецк, [199 – ]. – Режим доступа: компьютерная сеть библиотеки Сиб. гос. индустр. ун-та.;

3 Техэксперт : информационно-справочная система / ООО «Группа компаний «Кодекс». – Кемерово, [200 – ]. – Режим доступа: компьютерная сеть Сиб. гос. индустр. ун-та.

## 15 Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины включает учебные аудитории, оснащенные оборудованием, компьютерной техникой, и техническими средствами обучения, в том числе:

- учебную аудиторию для проведения занятий лекционного типа, оборудованную учебной доской, экраном и мультимедийным проектором;
- учебную аудиторию для проведения занятий семинарского типа (практических занятий);
- учебную аудиторию (помещения) для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду, научно-техническую библиотеку СибГИУ.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) 21.05.04 «Горное дело».

Составитель(и):

доцент Горелов Валерий Николаевич (кафедра механики и машиностроения).

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и утверждена на заседании кафедры.

Согласована:

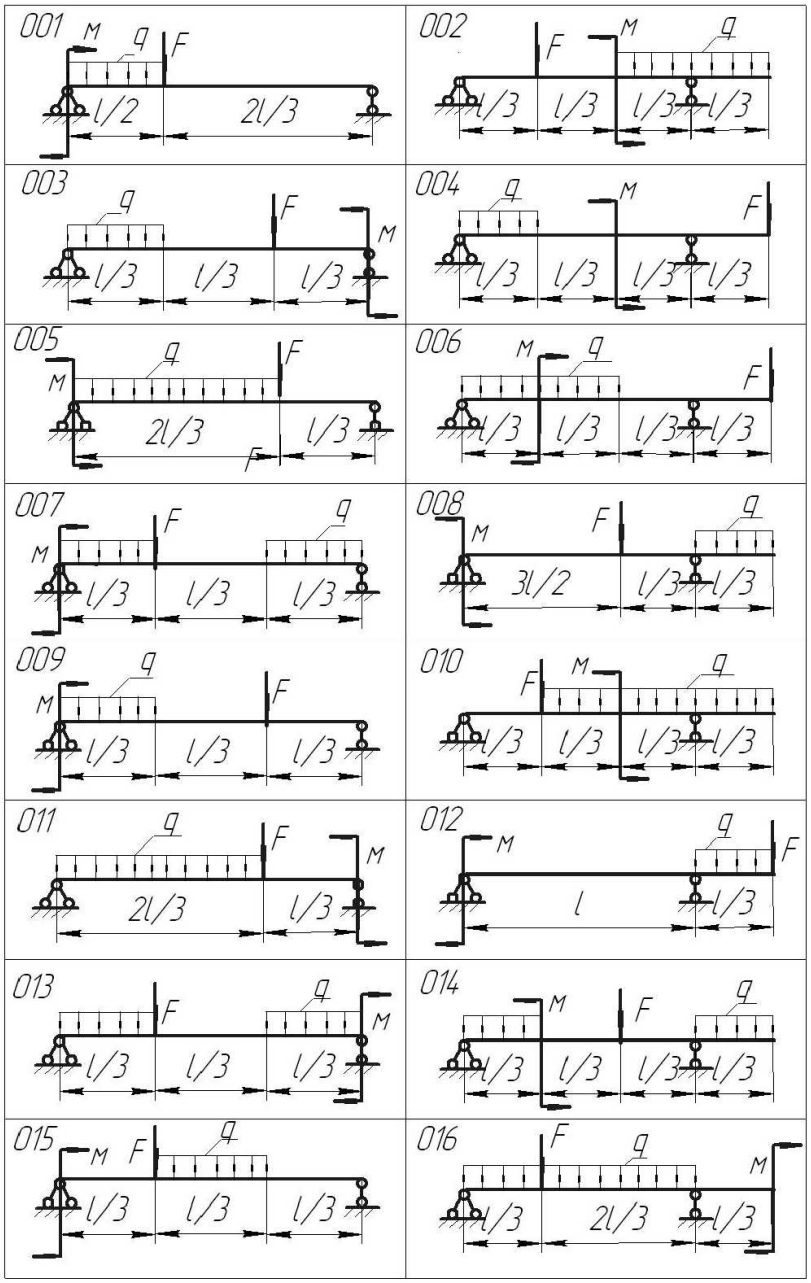
Начальник конструкторского отдела
ООО «СпецСвязь Оборудование» к. т. н.  В.В. Гаряшин

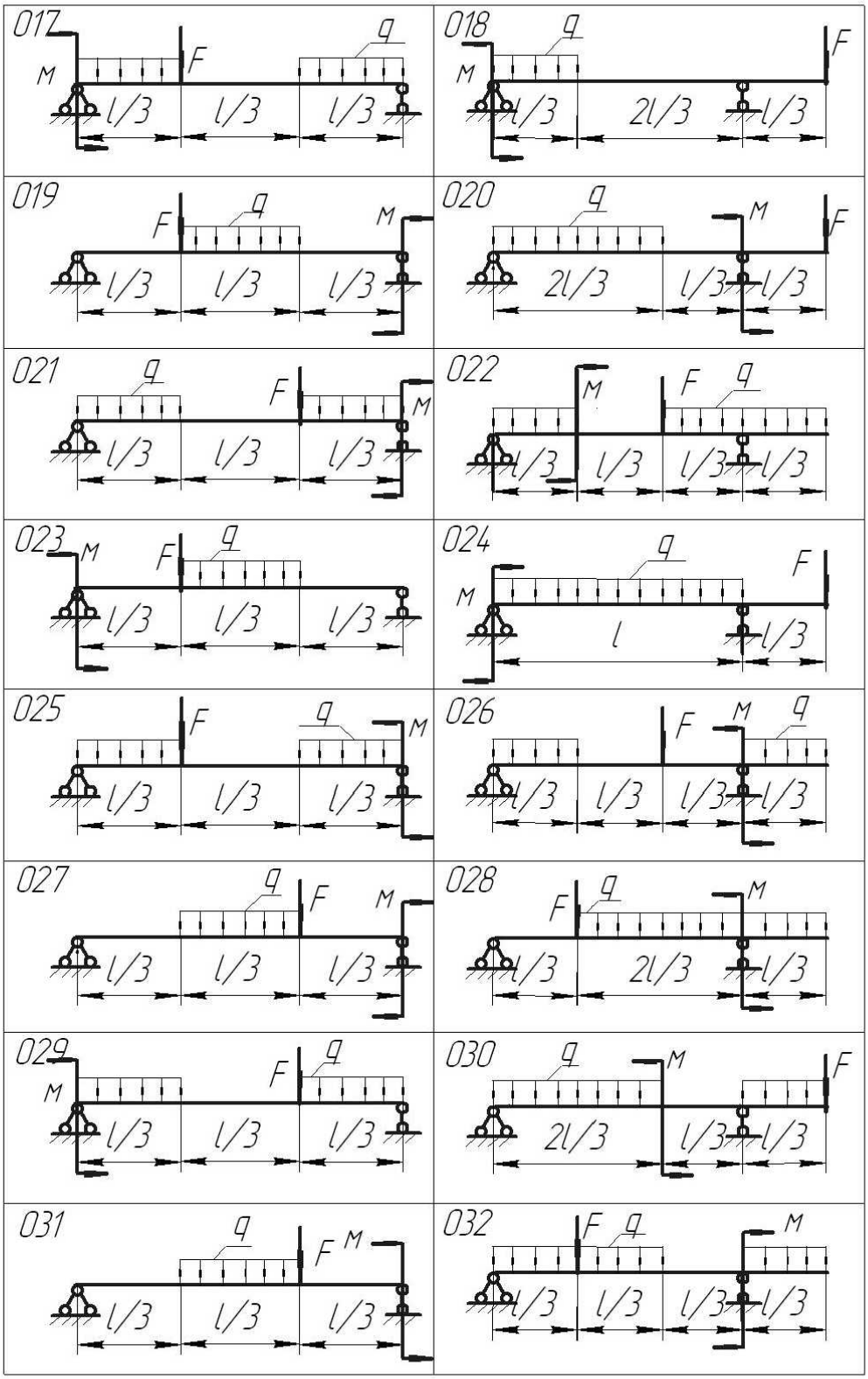
| _____ | _____ | _____ |
|---|---|---|
| должность, степень, звание представителя работодателя | подпись | инициалы, фамилия |

**Приложение**

## Входной контроль – примеры задач

Определить опорные реакции в двухопорной балке




017
M
F
q
l/3
l/3
l/3
018
M
q
F
l/3
2l/3
l/3
019
F
q
M
l/3
l/3
l/3
020
q
M
F
2l/3
l/3
l/3
021
q
F
M
l/3
l/3
l/3
022
M
F
q
l/3
l/3
l/3
l/3
023
M
F
q
l/3
l/3
l/3
024
q
F
M
l
l/3
025
F
q
M
l/3
l/3
l/3
026
F
M
q
l/3
l/3
l/3
l/3
027
q
F
M
l/3
l/3
l/3
028
F
q
M
l/3
2l/3
l/3
029
M
F
q
l/3
l/3
l/3
030
q
M
F
2l/3
l/3
l/3
031
q
F
M
l/3
l/3
l/3
032
F
q
M
l/3
l/3
l/3
l/3

**Текущий контроль**

## Раздел 1 Введение.

### 1.1 Устный опрос по теме лекции

Примеры вопросов к устному опросу:

1. Что называется прочностью. жесткостью и устойчивостью элементов конструкций?
2. Что такое абсолютная и относительная деформации?
3. Что такое напряжение?
4. Виды напряжений?
5. Сформулируйте закон Гука?
6. Что характеризует модуль упругости материалов ?
7. В чем заключается метод сечений?
8. Вид деформаций в стержнях?
9. Какое напряжение действует в поперечном сечении стержня?
10. Как определить степень статической неопределимости системы?

**Раздел 2** Центральное растяжение и сжатие стержней

Тема 2.1 Напряженно-деформированное состояние при растяжении-сжатии

### 2.1 Устный опрос по теме лекции

Примеры вопросов для устного опроса:

1. Что называется стержнем?
2. Какой вид нагружения стержня называются осевым растяжением (сжатием)?
3. Какие внутренние силовые факторы возникают в сечении бруса при растяжении и сжатии?
4. Дайте определение эпюры внутреннего силового фактора.
5. Что называют нормальной силой?
6. Что представляет собой эпюра продольных сил и как она строится?
7. Как распределены нормальные напряжения $\sigma_x$ в поперечных сечениях центрального растянутого бруса и чему они равны?
8. В каких сечениях растянутого бруса возникают наибольшие нормальные напряжения?
9. Что называется жесткостью поперечного сечения при растяжении?
10. Как формулируется закон Гука? Запишите формулы абсолютной и относительной продольной деформации бруса?
11. Как записывается условие прочности бруса при растяжении (сжатии)? Какие виды задач решаются с помощью условия прочности?

12. Вывести формулу определения нормальных напряжений при растяжении-сжатии.

Тема 2.2 Механические свойства материалов

### .2.2 Устный опрос по теме лекции

Примеры вопросов для устного опроса:

1. Сформулируйте цель и опишите методику испытания на растяжение стального образца
2. Диаграммы деформирования образцов из пластичных материалов: первичная, условная и истинная
3. Опишите характерные участки условной диаграммы деформирования пластичного материала на растяжение и сжатие
4. Опишите характерные участки условной диаграммы деформирования хрупкого материала на растяжение и сжатие
5. Укажите характерные точки на условной диаграмме растяжения пластичного материала
6. Явление упрочнения (наклепа, нагартовки) материала
7. Охарактеризуйте форму и процесс разрушения пластичных и хрупких образцов при растяжении и сжатии
8. Сформулируйте цель и опишите методику испытания металла на срез
9. Сформулируйте цель и опишите методику испытания круглого образца на кручение
10. Методика экспериментального определения перемещений при изгибе 2-х опорной балки
11. Экспериментальное определение деформаций и перемещений при изгибе
12. Сравнительные характеристики условных диаграмм деформирования пластичного и хрупкого материала при растяжении и сжатии
13. Основные механические характеристики прочности и пластичности конструкционных материалов
14. Опишите испытательные машины и измерительные приборы, используемые при разрушающих и неразрушающих механических испытаниях материалов
15. С какой целью снимается диаграмма растяжения? Указать характерные зоны на диаграмме.
16. В каких координатах строится диаграмма растяжения?
17. Как происходит разрушение при растяжении и сжатии пластичных и хрупких материалов?
18. Чем отличается диаграммы сжатия пластичной и хрупкой сталей от диаграмм растяжения?

19. Что называется остаточным относительным удлинением образца и остаточным относительным сужением шейки образца? Какое свойство материала характеризуют эти величины?
20. Как определить по диаграмме растяжения упругую и пластическую деформации?
21. Что называется условным пределом текучести, и для каких материалов введена эта характеристика?
22. Что называется пределами пропорциональности, упругости, текучести, прочности?
23. Назвать основные характеристики пластичности материала. Как получить их опытным путем?
24. В чем особенности испытания деревянного образца на сжатие? Объяснить характер разрушения. Назвать прочностные характеристики.
25. В чем заключается испытание материала на кручение? В каких координатах строится диаграмма кручения.
26. Что называется остаточным относительным удлинением образца и остаточным относительным сужением шейки образца? Какое свойство материала они характеризуют?
27. Какие материалы называются анизотропными?

**Раздел 3** Геометрические характеристики поперечных сечений

### 3.1 Устный опрос по теме лекции

Примеры вопросов для устного опроса:

1. Что такое $S_x, J_x, J_p, J_{xy}$ и их единицы измерения?

2. Чему равен статический момент сечения относительно оси, проходящей через центр его тяжести?
3. Как определяются координаты центра тяжести сложного сечения?
4. Как записываются формулы перехода для моментов инерции при параллельном переносе осей?
5. Чему равна сумма осевых моментов инерции сечения относительно двух взаимно перпендикулярных осей?
6. Формулы для определения осевых моментов инерции относительно центральных осей круга, прямоугольника, кольца?
7. Чему равны полярные моменты инерции круга и кольца относительно их центров?
8. Если в плоскости сечения несколько параллельных осей, относительно какой из них $J_x$ равен минимальному значению?

9. Изменяется ли сумма осевых моментов инерции относительно двух взаимно перпендикулярных осей при их повороте?

10. Как отражается на знаке центробежного момента инерции сечения расположение уголка по квадрантам координатных осей?

11. Что такое главные моменты инерции?
12. Какие оси называются главными и главными центральными осями инерции?
13. Чему равен $J_{xy}$ относительно главных осей инерции?
14. В каких случаях без вычисления можно установить положение главных осей инерции сечения?
15. Если $J_x = J_y$ и $J_{xy} = 0$, то какие оси сечения являются главными?

**Раздел 4** Двухосное напряженное состояние

### 4.1 Устный опрос по теме лекции

Примеры вопросов для устного опроса:

1. Что понимается под напряженным состоянием в точке твердого тела, если оно нагружено внешними силами?
2. Какие напряжения называются главными?
3. Чем характеризуется и как изображается напряженное состояние в точке?
4. Какие площадки и какие напряжения называют главными?
5. Чем характеризуется деформированное состояние в точке?
6. Сколькими параметрами определяется плоское напряженное состояние точки? Назовите эти параметры?
7. Сформулируйте закон парности касательных напряжений?
8. Какие существуют типы напряженного состояния в точке тела, чем они отличаются?
9. Что понимается под линейным напряженным состоянием?
10. Что понимается под плоским напряженным состоянием?
11. Соотношение между главными напряжениями.

**Раздел 5** Сдвиг

### 5.1 Устный опрос по теме лекции

Примеры вопросов для устного опроса:

1. Как формулируется закон Гука при сдвиге?
2. Какой случай плоского напряженного состояния называется чистым сдвигом?
3. Что представляет собой деформация сдвига?
4. Как обозначается деформация при сдвиге?
5. Укажите единицы измерения напряжений сдвига и смятия и модуля упругости.
6. Какой вид напряженного состояния называют чистым сдвигом?
7. Что понимается под абсолютным сдвигом?

8. Определите понятие относительного сдвига?
9. Как записывается условие прочности при сдвиге?
10. Какие внутренние силовые факторы возникают при сдвиге?
11.Что такое срез?
12. Опишите процесс разрушения при срезе?

**Раздел 6** Кручение стержня круглого сечения

**6.1 Устный опрос по теме лекции**

Примеры вопросов для устного опроса:

1. Какой вид нагружения называется кручением?
2. При каком нагружении возникает кручение бруса (вала)?
3. Какой силовой фактор вызывает закручивание бруса?
4. Что такое крутящий момент?
5. Когда в брусе возникают деформации кручения?
6. Как определяют величину крутящего момента, действующего в сечении?
7. Как строятся эпюры крутящих моментов?
8. Как определяют угол закручивания на участке вала?
9. Что называют относительным углом закручивания θ (или кривизной кручения $k_t$)?
10. Какие напряжения возникают в поперечном сечении круглого вала при кручении и как они направлены?
11. Какое напряженное состояние возникает в каждой точке вала круглого сечения при кручении?
12. Что называется жесткостью сечения при кручении?
13. Чем объясняется, что вал кольцевого сечения при кручении экономичнее вала сплошного сечения?
14. Как выполняют расчет вала на прочность?
15. Какие деформации возникают при кручении?
16. Какие гипотезы выполняются при деформации кручения?
17. Записать условие прочности при кручении.

**Раздел 7** Прямой поперечный изгиб

Тема 7.1 . Поперечные силы и изгибающие моменты

**7.1 Устный опрос по теме лекции**

Примеры вопросов для устного опроса:

1. Что называется балкой?

2. Какой вид нагружения называется изгибом?
3. Какой изгиб называется чистым, поперечным?
4. Какую плоскость называют силовой?
5. Что понимается под волокнами бруса? В чем сущность гипотезы плоских сечений и допущения о ненадавливании волокон друг на друга?
6. Что такое нейтральная линия, силовая линия?
7. Какие внутренние усилия возникают в поперечных сечениях балки в общем случае действия на неё плоской системы сил?
8. Как формулируется гипотеза плоских сечений?
9. Что представляет собой нейтральный слой и нейтральная ось?
10. Докажите, что при прямом изгибе нейтральная линия является центральной главной осью поперечного сечения бруса?
11. Какие силовые факторы возникают в сечении балки при чистом изгибе?
12. Какие силовые факторы возникают в сечении при поперечном изгибе?
13. Что такое изгибающий момент ($M_x$)? Выразите $M_x$ через напряжения в рассматриваемом сечении? Как определяется $M_x$ через внешние силы?
14. Что такое поперечная сила ($Q_y$)? Как определяется $Q_y$ через внешние силы?
15. Какие виды нагрузок могут действовать на балку?
16. Какие виды опор встречаются при расчете балок? Чем они отличаются?
17. Какое правило законов для определения поперечной силы используется?
18. Каково правило законов для определения изгибающего момента используется?
19. Как вычисляется изгибающий момент в поперечном сечении балки?
20. Как вычисляются поперечная и продольная силы в поперечном сечении балки?
21. Как определить значение поперечной силы и изгибающего момента в произвольном сечении балки?
22. Как определить знаки поперечной силы и изгибающего момента?
23. Для чего строят эпюры внутренних силовых факторов?
24. Как можно контролировать построение эпюр поперечных сил $Q$ и изгибающих моментов $M$?

Тема 7.2 . Нормальные и касательные напряжения

### 7.2 Устный опрос по теме лекции

Примеры вопросов для устного опроса:

1. По какой формуле определяются нормальные напряжения в поперечном сечении балки при чистом изгибе и как они изменяются по высоте балки?
2. Что называется моментом сопротивления при изгибе и какова его размерность?
3. Как распределены нормальные напряжения по сечению балки при изгибе?
4. Как записывается условие прочности по нормальным напряжениям при изгибе?
5. Какой параметр в условии прочности используется для определения размеров сечения?
6. По какой формуле определяются касательные напряжения при поперечном изгибе? Как распределены эти напряжения по сечению?
7. Условия прочности балки по нормальным и касательным напряжениям.
8. Расчеты на прочность при изгибе. Подбор сечения. Как определяются допускаемые нагрузки?
9. Как распределяются нормальные и касательные напряжения по поперечному сечению балки прямоугольного профиля?
10. Как распределяются нормальные и касательные напряжения по поперечному сечению балки двутаврового профиля?
11. В каких случаях и как проводится проверка прочности балки по главным напряжениям?
12. Что называется осевым моментом сопротивления?
13. Вывод формулы Журавского для определения касательных напряжений при изгибе.
14. Какие поперечные сечения являются рациональными для балок.

# Тема 7.3 Определение деформаций при изгибе

### 7.3 Устный опрос по теме лекции

Примеры вопросов для устного опроса:

1. Какой геометрический смысл имеют постоянные интегрирования приближённых дифференциальных уравнений изогнутой оси балки?
2. Основные понятия при определении перемещений при изгибе. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки.
3. Из каких условий определяют постоянные интегрирования приближённых дифференциальных уравнений? Приведите примеры таких условий для консольной и двухопорной балок?
4. Запишите условия составления и интегрирования приближённых дифференциальных уравнений для балки с несколькими участками?

5. Как записывается дифференциальное уравнение натянутой оси балки?
6. Как находят прогиб балки графоаналитическим методом?
7. Напишите универсальное уравнение для определения перемещений при изгибе?
8. Что называется жесткостью сечения при изгибе?
9. В чем состоит сущность расчета на жесткость при изгибе?
10. Какие перемещения получают поперечные сечения балок при изгибе?
11. Из каких граничных условий определятся постоянные интегрирования при нахождении прогибов балки?
12. Какими дифференциальными зависимостями связаны между собой внутренние усилия и перемещения при поперечном изгибе?
13. Почему при определении прогибов балки можно пользоваться приближенным дифференциальным уравнением изогнутой оси балки?
14. Как записываются уравнения метода начальных параметров для поперечной силы, изгибающего момента, углов поворота сечений и прогибов?

Тема 7.4 Статически неопределимые балки

**7.4 Устный опрос по теме лекции**

Примеры вопросов для устного опроса:

1. Какие системы называются статически неопределимыми?
2. Что такое степень статической неопределимости и как она вычисляется?
3. Каков общий план решения статически неопределимых задач?
4. Объяснить преимущества и недостатки статически неопределимых балок.
5. Показать, как проводится раскрытие статической неопределимости при изгибе.
6. Методика раскрытия статической неопределимости в балках и рамах.
7. Раскрытие статической неопределимости балки методом сил.
8. В чем заключается идея метода сил?
9. Какие неизвестные усилия могут рассматриваться как «лишние»?
10. Что выражает каждое из уравнений метода сил?
11. В чём заключается выбор основной системы?
12. Сколько канонических уравнений метода сил необходимо записать для статически неопределимой системы?
13. Как записывается система канонических уравнений метода сил? Чему равно число этих уравнений?

14. Перемножением каких эпюр определяются коэффициенты и свободные члены системы канонических уравнений?
15. Какие существуют способы проверки правильности раскрытия статической неопределимости?
16. Как проводят деформационную проверку правильности построения окончательной эпюры *M* статически неопределимой системы?

**Раздел 8** Сложное сопротивление

Тема 8.1 Гипотезы прочности

### 8.1 Устный опрос по теме лекции

Примеры вопросов для устного опроса:

1. Каково назначение теорий прочности? Что называют опасным состоянием материала, опасной точкой?
2. Почему прочность материала, находящегося в любом напряжённом состоянии, оценивают на основе экспериментальных данных для одноосного напряжённого состояния?
3. В чём сущность первой (теория наибольших нормальных напряжений), второй (теория наибольших относительных удлинений), третьей (теория наибольших касательных напряжений), четвёртой (энергетической) теорий прочности и теории прочности Мора?
4. Как записывается условие прочности по этим теориям?
5. Что называется предельным состоянием материала?
6. Какими напряжениями характеризуется наступление опасного состояния для пластичных и для хрупких материалов?
7. Что называется эквивалентным напряжением?

## 3. Тестирование по результатам освоения лекционного материала и самостоятельной работы

Тестирование проводится для определения степени усвоения материалов лекций, а также выполнения самостоятельной работы в рамках часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся, в СУО «Moodle».

Перечень вопросов для тестирования:

1. Относительно какой из множества параллельных осей осевой момент инерции сечения принимает наименьшее значение?
   1) относительно оси, проходящей через контур сечения;

2) относительно оси, проходящей через центр тяжести;
3) относительно оси, проходящей вне контура сечения.

2. Нагрузка, при которой первичная форма равновесия конструкции перестает быть устойчивой, называется:
1) динамической;
2) предельной;
3) критической;
4) допускаемой;
5) разрушающей.

3. Какие оси называются главными осями инерции?
1) центральные;
2) оси, проходящие через центр тяжести;
3) оси, относительно которых моменты инерции принимают экстремальные значения.

4. Как изменится гибкость стержня при увеличении его длины в два раза?
1) увеличится в четыре раза;
2) увеличится в два раза;
3) не изменится;
4) уменьшится в два раза;
5) уменьшится в четыре раза.

5. Чему равна поперечная сила Q в сечениях бруса, в которых изгибающий момент достигает экстремального значения?
1) максимальному значению эпюры;
2) максимальному значению приложенной внешней силы;
3) нулю.

6. Способность конструкции сопротивляться деформации называется:
1) жесткостью;
2) выносливостью;
3) твердостью;
4) устойчивостью;
5) прочностью.

7. Как изменяется изгибающий момент в сечении, в котором к балке приложен сосредоточенный внешний момент?
1) изменяется значение знака;
2) не изменяется;
3) изменяется скачкообразно на величину этого момента.

8. Как называется способность тела сохранять первоначальную форму равновесия?
1) прочностью;
2) надежностью;
3) жесткостью;
4) упругостью;
5) устойчивостью.

9. Какие точки являются опасными при косом изгибе?

1) расположенные на нейтральной оси;
2) расположенные в области ядра сечения;
3) наиболее удаленные от нейтральной оси.

10. Напряжение, при котором наблюдается рост деформации без изменения нагрузки, называется:
1) пределом текучести;
2) критическим;
3) пределом пропорциональности;
4) пределом прочности;
5) допускаемым.

11. Как изменяется поперечная сила в сечении, в котором к балке приложена сосредоточенная внешняя сила, перпендикулярная оси балки?
1) скачкообразно на величину этой силы;
2) не изменяется;
3) изменяется значение знака.

12. В каких точках поперечного сечения балки при изгибе возникает наибольшее нормальное напряжение?
1) в центре тяжести сечения;
2) в точках нейтральной оси сечения;
3) в точках, наиболее удаленных от нейтральной оси;
4) в точках контура поперечного сечения;
5) в точках, наиболее удаленных от центра тяжести сечения.

13. Как проходит нейтральная ось при косом изгибе?
1) вне сечения;
2) через точку, наиболее удаленную от центра тяжести сечения;
3) через центр тяжести сечения.

14. Как называется проекция главного вектора внутренних сил в поперечном сечении нагруженного бруса на его продольную ось?
1) нормальным напряжением;
2) продольной силой;
3) касательным напряжением;
4) критической силой;
5) поперечной силой.

15. Если сжимающая сила приложена в области ядра сечения, то какие напряжения возникают в поперечном сечении бруса?
1) сжимающие и растягивающие;
2) сжимающие;
3) растягивающие.

16. Число, показывающее во сколько раз надо увеличить напряжение в теле, чтобы получить опасное состояние, называется:
1) коэффициент чувствительности;
2) коэффициент концентрации;
3) пределом текучести;
4) пределом прочности;

5) коэффициентом запаса прочности.

17. В каких точках поперечного сечения балки при изгибе отсутствуют нормальные напряжения?

1) в точках, наиболее удаленных от нейтральной оси;
2) в точках, наиболее удаленных от центра тяжести сечения;
3) в точках контура поперечного сечения;
4) в ядре сечения;
5) в точках нейтральной оси сечения.

18. Как называется момент внутренних сил в поперечном сечении бруса относительно его продольной оси?

1) изгибающим моментом;
2) осевым моментом инерции;
3) главным моментом;
4) крутящим моментом;
5) полярным моментом инерции.

19. Что является мерой интенсивности внутренних сил?

1) главный момент;
2) изгибающий момент;
3) напряжение;
4) главный вектор внутренних сил;
5) критическая сила.

20. При определении прогиба балки путем перемножения площади грузовой эпюры на ординату под ее центром тяжести в единичной эпюре соответствует:

1) интегралу Мора;
2) правилу Верещагина;
3) способу Симпсона

21. Механическое свойство, характеризующее способность материала сопротивляться его разрушению под действием внешних сил, называется:

1)твердостью;
2)упругостью;
3) изотропностью;
4) прочностью.

22. Если свойства материала образца, выделенного из тела , не зависят отего угловой ориентации, то такой материал называется6

1) однородным;
2) изотропным;
3) идеально- упругим;
4) анизотропным.

23. Разделение тела на части под действием внешних нагрузок называется:

1) разрушением;
2) пластичностью;
3) прочностью;

4) идеальной упругостью.

24. Объект, освобожденный от особенностей, несущественных при решении данной задачи, называется:

1) реальной конструкцией;
2) расчетной схемой;
3) абсолютно твердым телом;
4) математической моделью.

25. Тело, один размер которого намного больше двух других размеров, называется:

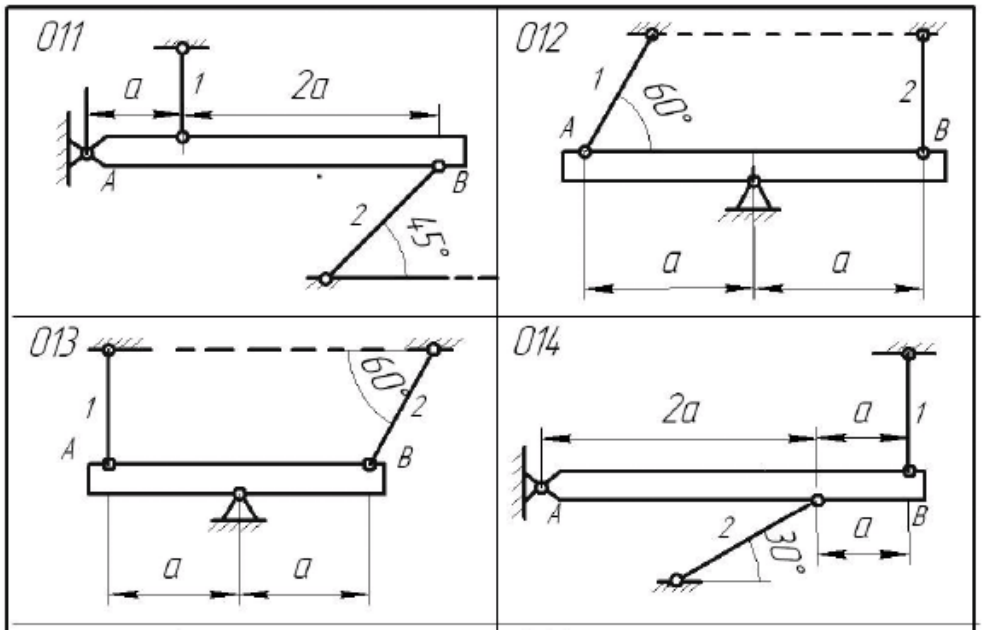
1) стержнем;
2) пластиной;
3) оболочкой;
4) массивом.

## 4 Выполнение практических работ

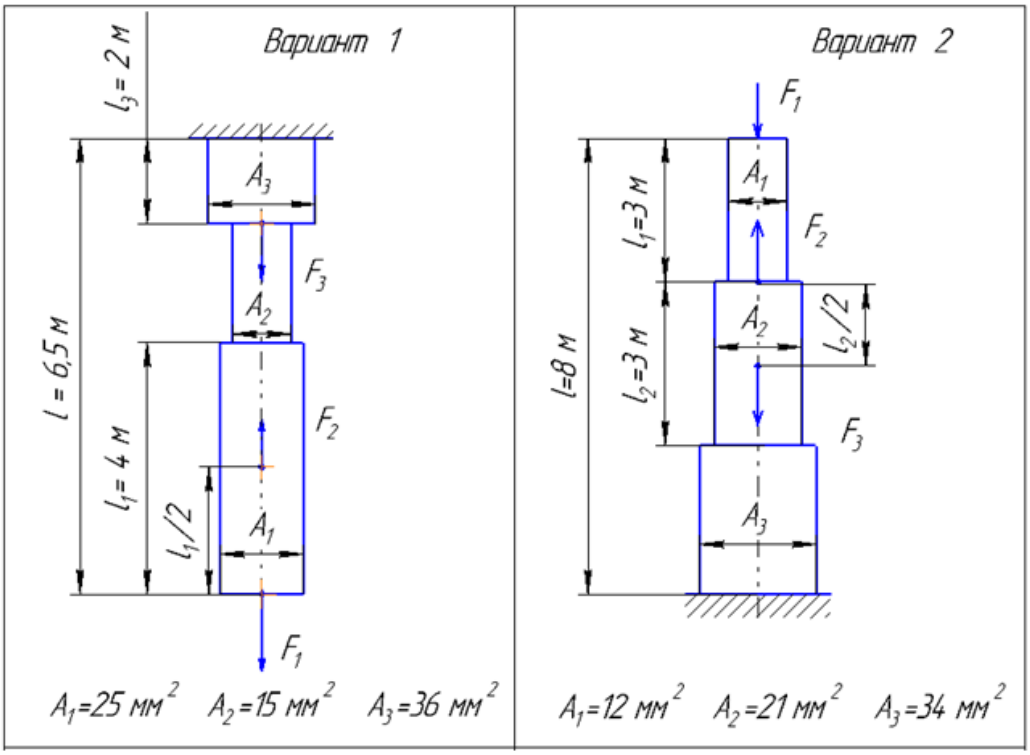
Задания для практических работ, теоретический и методический материал для самостоятельного изучения и вопросы для собеседования представлены в методических указаниях к практическим занятиям.

Примеры задач для практических занятий:

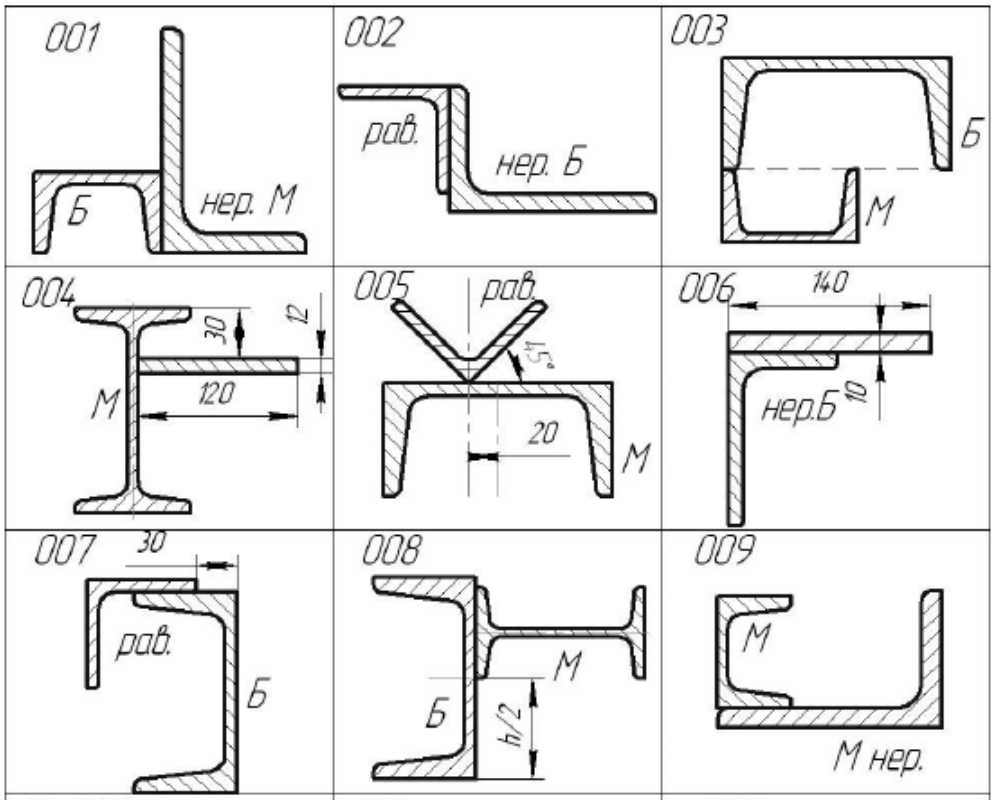
- определить напряжения в стержнях:



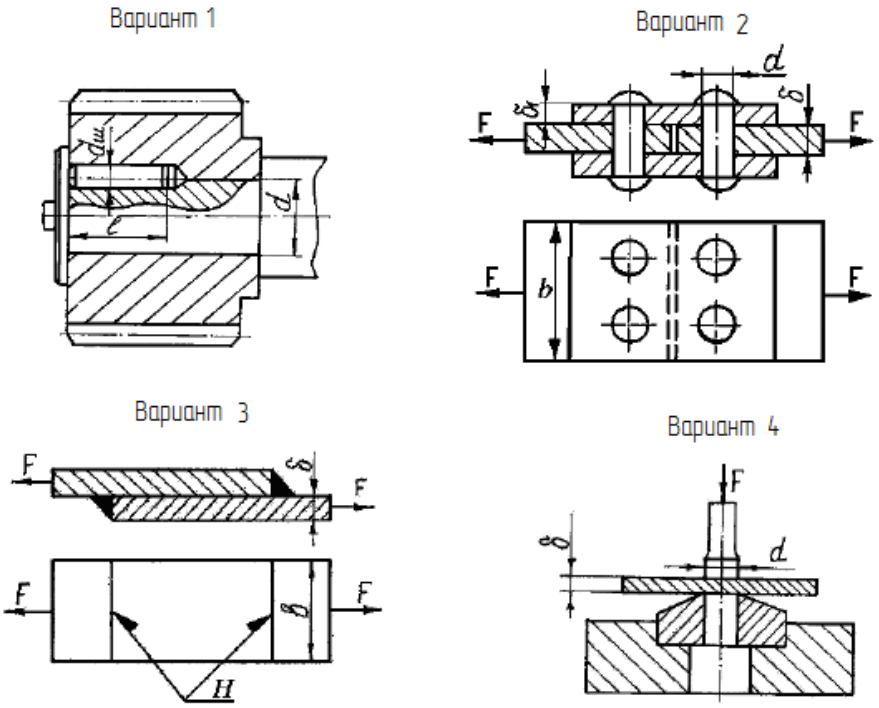

- рассчитать на прочность и построить эпюры внутренних сил стержней, работающих на растяжение-сжатие:



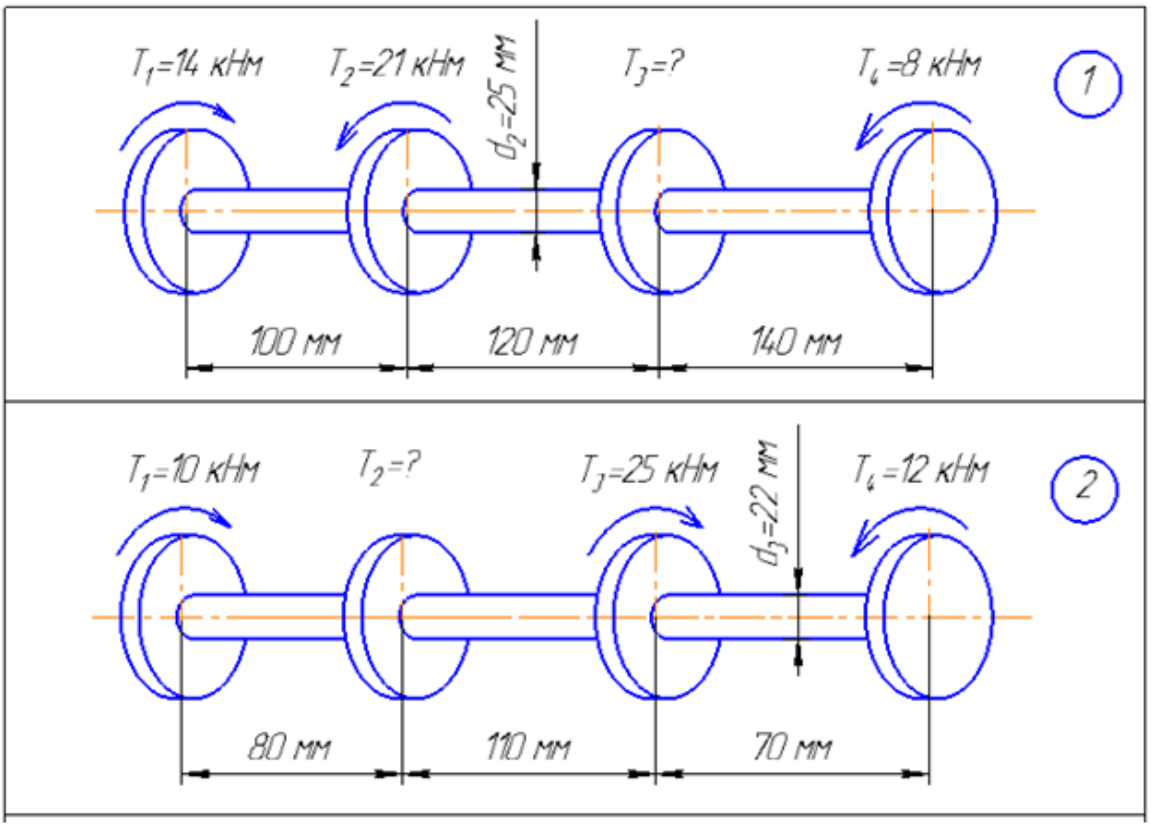

- определить геометрические характеристики сложных поперечных сечений:



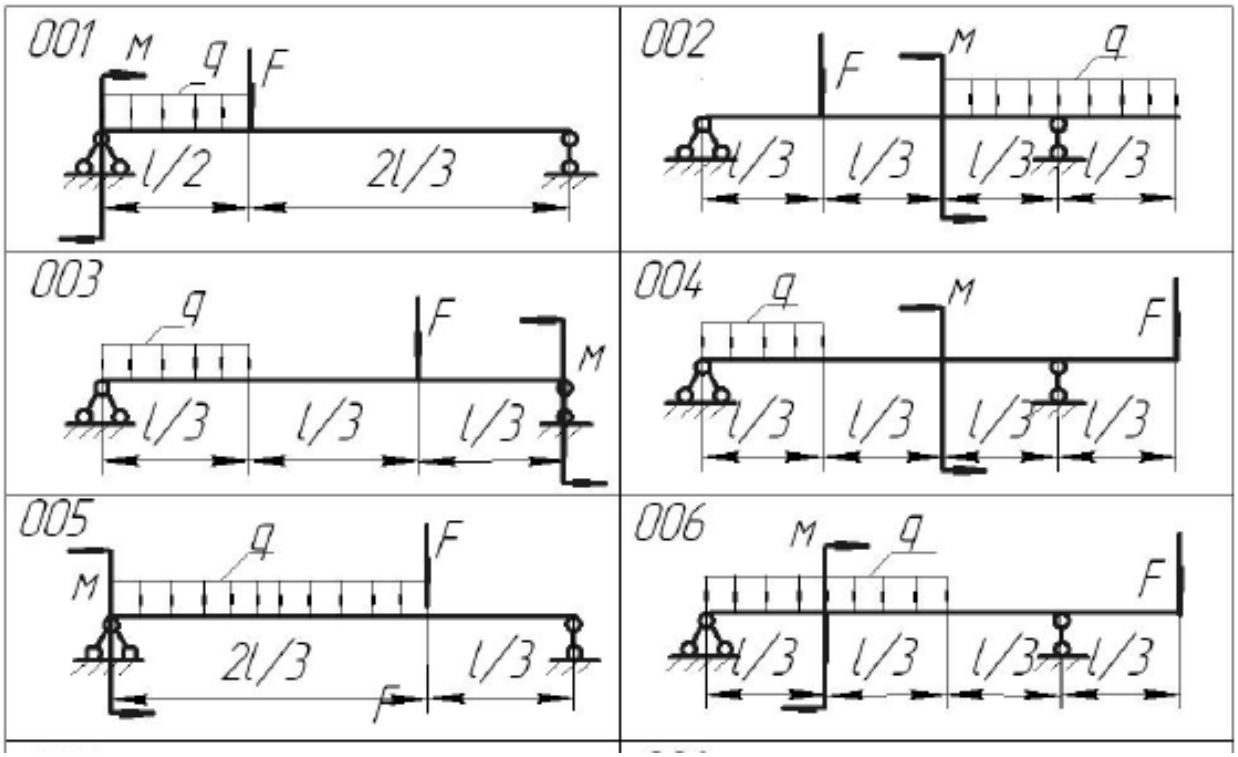

- рассчитать прочность сварных и заклепочных соединений:



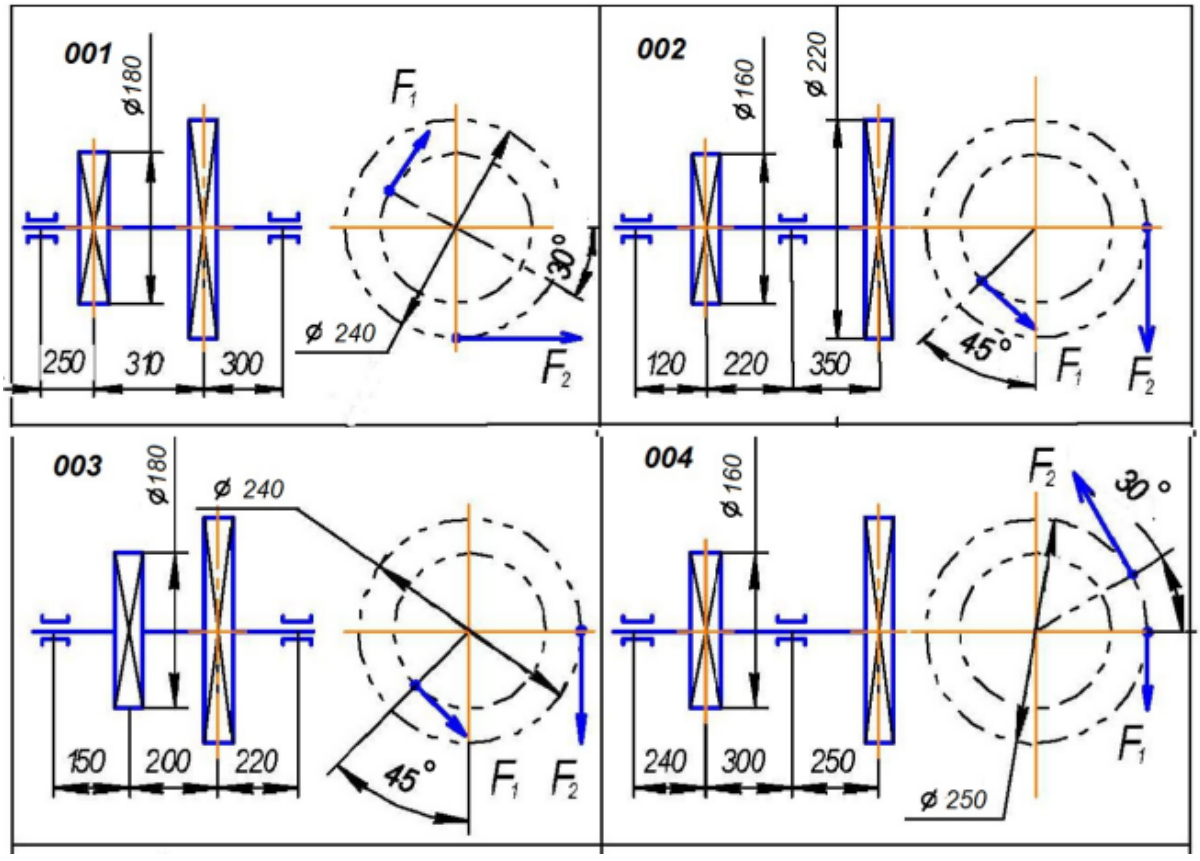

- рассчитать на прочность и построить эпюры крутящих моментов и углов закручивания вала:




- рассчитать на прочность и подобрать двутавровое сечение балок, работающих на изгиб:




- рассчитать  диаметр вала , работающего на изгиб и кручение:




5 **Выполнение домашнего задания**.

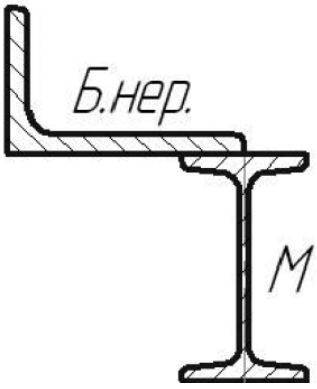
Задания для выполнения самостоятельных работ представлены в соответствующих методических указаниях .

**Пример выполнения домашнего задания.**

**По разделу 3**

Определить геометрические характеристики плоского сечения.

Дано: сечение состоит из неравнополочного уголка 75х50х8 с параметрами $B_1$ = 75мм, $b_1$= 50мм, $t_1$=8мм, $A_1$=9,47см$^2$, $J_{x1}$=52,38 см$^4$, $J_{y1}$=18,52 см$^4$, $x_0$=1,29см, $y_0$=2,52 см, $J_{xy}$=17,8 см$^4$ и двутавра №10 с параметрами $h_2$=100мм, $b_2$=55мм, $A_2$=12см$^2$, $J_{x2}$=198 см$^4$, $J_{y2}$=17,9 см$^4$.




Координаты центра тяжести сечения относительно осей $X_0$, $Y_0$:

$$x_c = \frac{A_1 \cdot x_{c1} + A_2 \cdot x_{c2}}{A_1 + A_2} = \frac{9{,}47 \cdot 1{,}29 + 12 \cdot 7{,}5}{9{,}47 + 12} = 4{,}76\text{см}$$

$$y_c = \frac{A_1 \cdot y_{c1} + A_2 \cdot y_{c2}}{A_1 + A_2} = \frac{9{,}47 \cdot 12{,}52 + 12 \cdot 5}{9{,}47 + 12} = 8{,}32\text{см}$$

Осевые моменты инерции относительно центральных осей $X_c$, $Y_c$:

$$\mathrm{J_{xc}} = \mathrm{J^1_{xc}} + \mathrm{J^2_{xc}} = \mathrm{J_{x1}} + \mathrm{A_1 \cdot a_1^2} + \mathrm{J_{x2}} + \mathrm{A_2 \cdot a_2^2}$$

$$\mathrm{J_{yc}} = \mathrm{J^1_{yc}} + \mathrm{J^2_{yc}} = \mathrm{J_{y1}} + \mathrm{A_1 \cdot b_1^2} + \mathrm{J_{y2}} + \mathrm{A_2 \cdot b_2^2}$$

$$\mathrm{J_{xcyc}} = \mathrm{J^1_{xcyc}} + \mathrm{J^2_{xcyc}} = \mathrm{J_{x1y1}} + \mathrm{A_1 \cdot a_1 \cdot b_1} + \mathrm{J_{x2y2}} + \mathrm{A_2 \cdot a_2 \cdot b_2}$$

$$b_1 = 4{,}76 - 1{,}29 = (-3{,}47)\text{см;} \qquad a_1 = 12{,}52 - 8{,}32 = 4{,}2$$

$$b_2 = 7{,}5 - 4{,}76 = 2{,}74\text{см;} \qquad a_2 = 8{,}32 - 5 = (-3{,}32)$$

$$\mathrm{J_{xc}} = 52{,}38 + 9{,}47 \cdot 4{,}2^2 + 198 + 12 \cdot (-3{,}32)^2 = 549{,}7\text{см}^4$$

$$J_{yc} = 18{,}52 + 9{,}47 \cdot (-3{,}47)^2 + 17{,}9 + 12 \cdot 2{,}74^2 = 240{,}54 \text{см}^4$$

$$J_{x2y2} = 0$$

$$J_{xcyc} = 17{,}8 + 9{,}47 \cdot 4{,}2 \cdot (-3{,}47) + 0 + 12 \cdot (-3{,}32) \cdot 2{,}74 = -229{,}38 \text{см}^4$$

Угол поворота главных центральных осей относительно осей $X_c$, $Y_c$

$\tan 2\alpha = \frac{2 \cdot J_{xcyc}}{J_{yc} - J_{xc}} = \frac{2 \cdot (-229{,}38)}{240{,}54 - 549{,}7} = 1{,}484$; α=28°

Поворачивая оси $X_c$, $Y_c$ против хода часовой стрелки на угол $\alpha$ = 28°, получаем положение главных центральных осей.

Величины моментов инерции относительно главных центральных осей

$$J_{max}^{min} = \frac{J_{xc} + J_{yc}}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{(J_{xc} - J_{yc})^2 + 4 \cdot J_{xcyc}^2}$$

$$J_{min}^{U} = \frac{549{,}7 + 240{,}54}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{(549{,}7 - 240{,}54)^2 + 4 \cdot (-229{,}38)^2} = 118{,}52 \text{см}^4$$

$$J_{max}^{V} = \frac{549{,}7 + 240{,}54}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{(549{,}7 - 240{,}54)^2 + 4 \cdot (-229{,}38)^2} = 671{,}72 \text{см}^4$$

Проверка: $J_{min}^{U} + J_{max}^{V} = J_{xc} + J_{yc}$

118,52+671,72=549,7+240,54; 790,24=790,24.

По разделу 7.

Рассчитать на прочность и жесткость консольные и двухопорные балки.

*Задание*. Для заданной схемы нагружения балки (рисунок 14) требуется:

1. Построить эпюры внутренних изгибающих моментов и поперечных сил.
2. Подобрать по условию прочности размеры поперечных сечений при $[\sigma] = 160$ МПа:

– круглого;

– квадратного;

– прямоугольного пустотелого (рисунок 10);

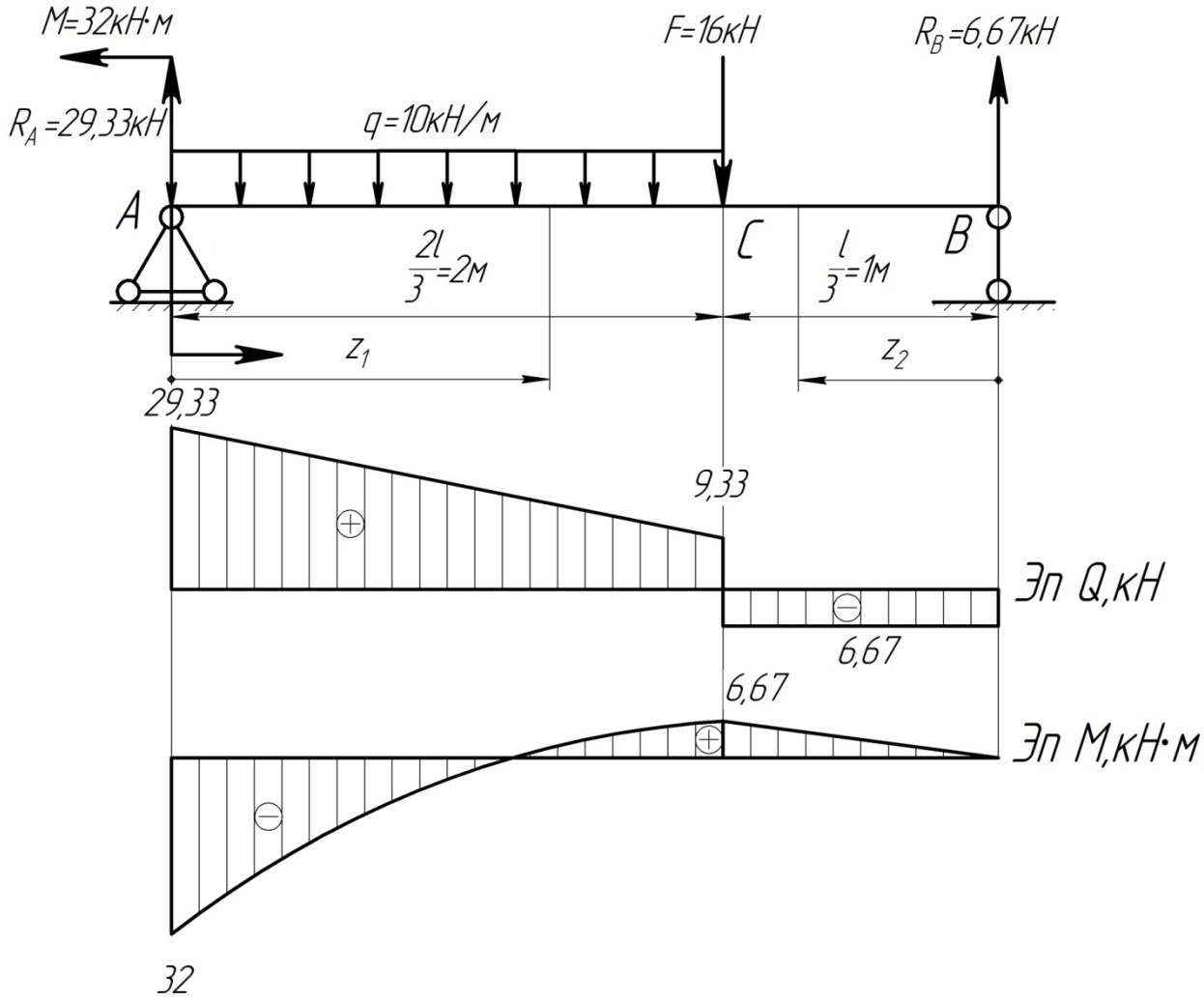
– двутаврового.

Сопоставить затраты материала для этих вариантов сечения.

3. Построить эпюры распределения нормальных и касательных напряжений для двутаврового сечения балки. Определить главные напряжения в опасных точках сечения.

***Исходные данные:*** $l = 3$ м, $q = 10$ кН/м, $F = 16$ кН, $M = 32$ кН · м.

**Решение.**




1.1. *Вычисление опорных реакций*.

Реакции опор определяем из условия равновесия балки:

$$\sum m_A = 0, \qquad M + R_B \cdot l - q\frac{2l}{3} \cdot \frac{l}{3} - F \cdot \frac{2l}{3} = 0;$$

$$R_B = \frac{-M + q\frac{2l}{3} \cdot \frac{l}{3} + F \cdot \frac{2l}{3}}{l} = \frac{-32 + 10 \cdot 2 \cdot 1 + 16 \cdot 2}{3} = 6{,}67 \text{ кН};$$

$$\sum m_B = 0, \qquad M - R_A \cdot l + F \cdot \frac{l}{3} + q\frac{2l}{3} \cdot \frac{2l}{3} = 0;$$

$$R_A = \frac{M + F \cdot \frac{l}{3} + q\frac{2l}{3} \cdot \frac{2l}{3}}{l} = \frac{32 + 16 \cdot 1 + 10 \cdot 2 \cdot 2}{3} = 29{,}33 \text{ кН}.$$

Производим проверку правильности найденных реакций путем проецирования всех сил на вертикальную ось $Y$:

$$\sum Y = R_A - q \cdot \frac{2l}{3} - F + R_B = 29{,}33 - 10 \cdot 2 - 16 + 6{,}67 = 36 - 36 = 0.$$

Следовательно, реакции найдены верно.

1.2. *Построение эпюр поперечных сил $Q$ и изгибающих моментов $M$.*

Участок $AC$. Рассекаем балку в произвольном месте этого участка сечением 1-1. Рассматриваем равновесие левой отсеченной части. Фиксируем сечение 1-1 текущей координатой $z_1$ от начала балки. Действие правой отброшенной части на рассматриваемую левую заменяем внутренними усилиями $Q_1(z)$ и $M_1(z)$.

Находим выражения $Q$ и $M$ в общем виде:

$$Q_1(z) = R_A - qz_1 = 29{,}33 - 10z_1;$$

$$M_1(z) = -M + R_A z_1 - 0{,}5qz_1^2 = -32 + 29{,}33z_1 - 5z_1^2;$$

$$0 \le z_1 \le 2 \text{ м}.$$

Поперечная сила на участке $AC$ изменяется по его длине по линейному закону, а изгибающий момент – по закону квадратной параболы.

Найдем ординаты эпюры $Q$:

при $z_1 = 0$ м, $\quad Q_1 = 29{,}33$ кН,

при $z_1 = 2$ м, $\quad Q_1 = 29{,}33 - 10 \cdot 2 = 9{,}33$ кН.

Поперечная сила не меняет знак на этом участке.

Найдем ординаты эпюры $M$ на границах участка:

при $z_1 = 0$ м, $\quad M_1 = -32$ кН $\cdot$ м,

при $z_1 = 2$ м, $\quad M_1 = -32 + 29{,}33 \cdot 2 - 5 \cdot 2^2 = 6{,}67$ кН $\cdot$ м.

Участок $BC$. Рассекаем балку в произвольном месте этого участка сечением 2-2. Рассматриваем равновесие правой отсеченной части. Фиксируем сечение 2-2 текущей координатой $z_2$ от правого конца балки. Действие левой отброшенной части на рассматриваемую правую заменяем внутренними усилиями $Q_2(z)$ и $M_2(z)$.

Находим выражения $Q$ и $M$ в общем виде:

$$Q_2(z) = -R_B = -6{,}67 \text{ кН};$$

$$M_2(z) = R_B z_2 = 6{,}67 z_2;$$

$$0 \le z_2 \le 1 \text{ м}.$$

Поперечная сила на участке $BC$ постоянна по его длине и равна $-6{,}67$ кН, а изгибающий момент изменяется по линейному закону.

Найдем ординаты эпюры $M$:

при $z_2 = 0$ м, $M_2 = 0$ кН · м,

при $z_2 = 1$ м, $M_2 = 6{,}67 \cdot 1 = 6{,}67$ кН · м.

По найденным значениям строим эпюры поперечной силы и изгибающего момента.

2. *Подбор сечения балки*. Находим по эпюре $M$ максимальные (по абсолютной величине) значения внутренних усилий:

$$|M_{max}| = 32 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Из условия прочности при изгибе

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

определяем требуемый момент сопротивления сечения балки:

$$W_x^{\text{тр}} = \frac{M_{max}}{[\sigma]} = \frac{32 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}}{160 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2} = 0{,}2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 200 \text{ см}^3.$$

Для круглого сечения:

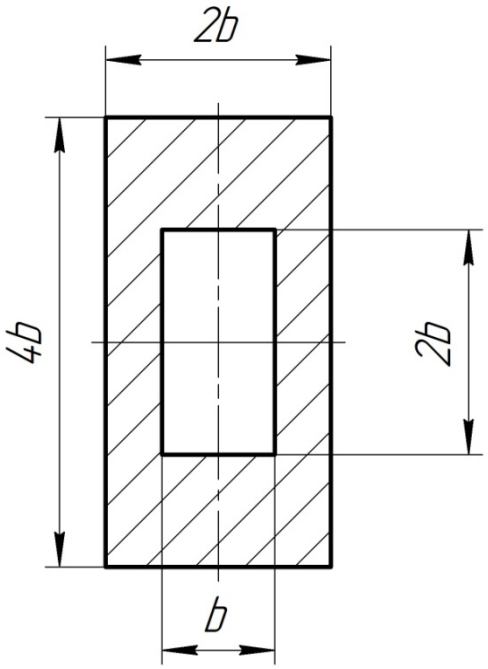
$$W_x = \frac{\pi d^3}{32}, \text{ тогда } d \ge \sqrt[3]{\frac{32 W_x^{\text{тр}}}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 200}{3{,}14}} = 12{,}68 \text{ см}.$$

Для квадратного сечения:

$$W_x = \frac{bb^2}{6}, \text{ тогда } b \geq \sqrt[3]{6W_x^{\text{тр}}} = \sqrt[3]{6 \cdot 200} = 10{,}63 \text{ см}.$$

Для прямоугольного пустотелого сечения момент сопротивления необходимо определить через момент инерции сечения:

$$J_x = \frac{b_1 h_1^3}{12} - \frac{b_2 h_2^3}{12},$$




где $b_1$, $h_1$, $b_2$, $h_2$ – соответствующие размеры внешнего (1) и внутреннего (2) прямоугольников.

$$J_x = \frac{2b \cdot (4b)^3}{12} - \frac{b(2b)^3}{12} = 10b^4.$$

Момент сопротивления сечения:

$$W_x = \frac{J_x}{y_{max}},$$

где $y_{max}$ – расстояние от нейтральной оси до наиболее удаленного волокна;

$$W_x = \frac{10b^4}{2b} = 5b^3.$$

Тогда

$$b \geq \sqrt[3]{\frac{W_x^{\text{тр}}}{5}} = \sqrt[3]{\frac{200}{5}} = 3{,}42 \text{ см}$$

Для двутаврового сечения по требуемому моменту сопротивления из таблицы ГОСТа 8239-89 принимаем двутавр № 20а, для которого $W_x = 203 \text{ см}^3$.

Вычисляем площадь поперечных сечений:

– для круглого сечения

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 12{,}68^2}{4} = 126{,}21 \text{ см}^2;$$

– для квадратного сечения

$$A = b^2 = 10{,}63^2 = 113 \text{ см}^2;$$

– для прямоугольного пустотелого сечения

$$A = 2b \cdot 4b - b \cdot 2b = 6b^2 = 6 \cdot 3{,}42^2 = 70{,}18 \text{ см}^2;$$

– для двутаврового сечения $A = 28{,}9 \text{ см}^2$.

Для сопоставления площадей сечений (а значит, и объема балок) сведем полученные данные в таблицу:

| Тип сечения | Круг | Квадрат | Прямоугольник пустотелый | Двутавр |
|---|---|---|---|---|
| Площадь, $\text{см}^2$ | 126,21 | 113 | 70,18 | 28,9 |
| Соотношение, % | 100 | 89,5 | 55,6 | 22,9 |

3. *Построение эпюр распределения напряжений для двутаврового сечения и определение главных нормальных напряжений*.

Основные геометрические характеристики двутавра № 20а:

– высота профиля $h = 200 \text{ мм}$;

– ширина полки $b = 110 \text{ мм}$;

– толщина полки $t = 8{,}6 \text{ мм}$;

– толщина стенки $s = 5{,}2 \text{ мм}$;

– площадь поперечного сечения $A = 28{,}9 \text{ см}^2$;

– статический момент полусечения $S_x = 114 \text{ см}^3$;

– момент сопротивления $W_x = 203 \text{ см}^3$;

– момент инерции относительно нейтрального слоя $J_x = 2030 \text{ см}^4$.

В точках поперечного сечения, расположенных на расстоянии $y$ от нейтральной оси, нормальные напряжения определяются по формуле:

$$\sigma = \frac{M_{max}}{J_x} \cdot y.$$

При $y = 0 \quad \sigma = 0$.

$$\text{При } y = \pm\frac{h}{2} \quad \sigma = \pm\frac{M_{max}}{J_x} \cdot \frac{h}{2} = \pm\frac{M_{max}}{W_x} = \pm\frac{32 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}}{203 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3} = \pm 157{,}6 \text{ МПа}.$$

Изгибающий момент $M_{max}$ отрицательный (рис. 1), следовательно, растягивающие (положительные) напряжения $\sigma$ возникают в верхней половине сечения балки, а сжимающие – в нижней.

Для построения эпюры касательных напряжений вычислим значения касательных напряжений в четырех точках сечения:

1 – на нейтральной оси, где касательные напряжения максимальны;

2 и 3 – где происходит резкое изменение ширины поперечного сечения;

4 – на внешней грани сечения (касательные напряжения равны нулю).

Для нахождения касательных напряжений в каждой точке пользуемся формулой Журавского

$$\tau = \frac{Q_{max} S_x}{J_x b},$$

где $Q_{max} = 29{,}33$ кН – находим по эпюре поперечных сил.

Тогда

$$\tau_1 = \frac{29{,}33 \cdot 10^3 \cdot 114 \cdot 10^{-6}}{2030 \cdot 10^{-8} \cdot 5{,}2 \cdot 10^{-3}} = 31{,}7 \cdot 10^6 \text{ Па} = 31{,}7 \text{ МПа}$$

Здесь $b = s = 5{,}2$ мм – ширина сечения двутавра № 20а на уровне нейтрального слоя, т.е. толщина его стенки

$$\tau_2 = \frac{Q_{max} S_{x2}}{J_x b} = \frac{29{,}33 \cdot 10^3 \cdot 90{,}5 \cdot 10^{-6}}{2030 \cdot 10^{-8} \cdot 5{,}2 \cdot 10^{-3}} = 25{,}1 \cdot 10^6 \text{ Па} = 25{,}1 \text{ МПа}$$

Здесь $b = s = 5{,}2$ мм. Статический момент площади полки двутавра относительно нейтрального слоя:

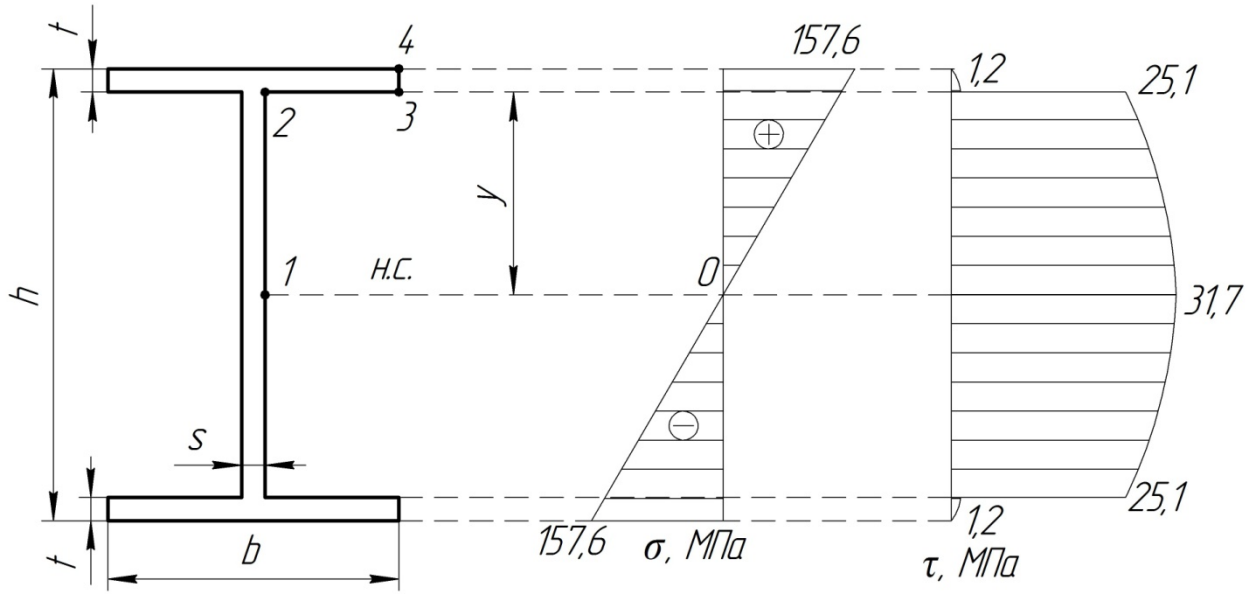
$$S_{x2} = bt\left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2}\right) = 11 \cdot 0{,}86 \cdot \left(\frac{20}{2} - \frac{0{,}86}{2}\right) = 90{,}5 \text{ см}^3$$

$$\tau_3 = \frac{Q_{max} S_{x3}}{J_x b} = \frac{29{,}33 \cdot 10^3 \cdot 90{,}5 \cdot 10^{-6}}{2030 \cdot 10^{-8} \cdot 11 \cdot 10^{-2}} = 1{,}2 \cdot 10^6 \text{ Па} = 1{,}2 \text{ МПа}$$

Здесь $b = 11$ см – ширина полки двутавра № 20а, $S_{x3} = S_{x2}$.

$$\tau_4 = \frac{Q_{max} S_{x4}}{J_x b} = 0, \text{ т.к. } S_{x4} = 0.$$

По найденным значениям строим эпюру касательных напряжений для одной симметричной по отношению к нейтральному слою части сечения. Эпюру касательных напряжений для другой части получаем способом зеркального отражения. Между точками 1 и 2, 3 и 4 касательные напряжения изменяются по квадратной параболе.




В случае поперечных сечений с резко меняющейся шириной могут возникнуть большие главные нормальные напряжения. Их определение в общем случае плоского напряженного состояния производится по формуле:

$$\sigma_{\frac{max}{min}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}.$$

При прямом поперечном изгибе $\sigma_x = \sigma$, $\sigma_y = 0$ и $\tau_{xy} = \tau$, поэтому

$$\sigma_{\frac{max}{min}} = \frac{\sigma}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}.$$

Здесь $\sigma$ и $\tau$ – нормальные и касательные напряжения в рассматриваемой точке, действующие по площадке, совпадающей с поперечным сечением балки. Из формулы видно, что напряжение $\sigma_{max}$ всегда положительно, а $\sigma_{min}$ всегда отрицательно.

При плоском напряженном состоянии одно из главных напряжений равно 0. Поэтому, в соответствии с правилом, согласно которому

$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$, напряжение $\sigma_{max}$ следует обозначить $\sigma_1$, а напряжение $\sigma_{min}$ – $\sigma_3$.

Для определения главных напряжений необходимо определить опасное сечение, где напряжения $\sigma$ и $\tau$ имеют одновременно большие значения. Согласно эпюрам $M$ и $Q$ такое сечение проходит через точку $A$, в котором $M$ и $Q$ имеют одновременно максимальные значения ($|M_{max}| = 32$ кН · м, $|Q_{max}| = 29{,}33$ кН).

В этом сечении нормальные напряжения в крайних волокнах равны:

$$\sigma_1 = \sigma_3 = \frac{M}{W_x} = \frac{32 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}}{203 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3} = 157{,}6 \text{ МПа}$$

На уровне примыкания полок к стенке ($y = h/2 - t = 20/2 - 0{,}86 = 9{,}14$ см):

$$\sigma = \frac{M}{J_x} \cdot y = \frac{32 \cdot 10^3}{2030 \cdot 10^{-8}} \cdot 9{,}14 \cdot 10^{-2} = 144{,}1 \text{ МПа}$$

Касательные напряжения на уровне нейтральной оси в сечении $A$ $\tau_1$ и на уровне сопряжения с полкой $\tau_2$:

$$\tau_1 = 31{,}7 \text{ МПа}, \ \tau_2 = 25{,}1 \text{ МПа}.$$

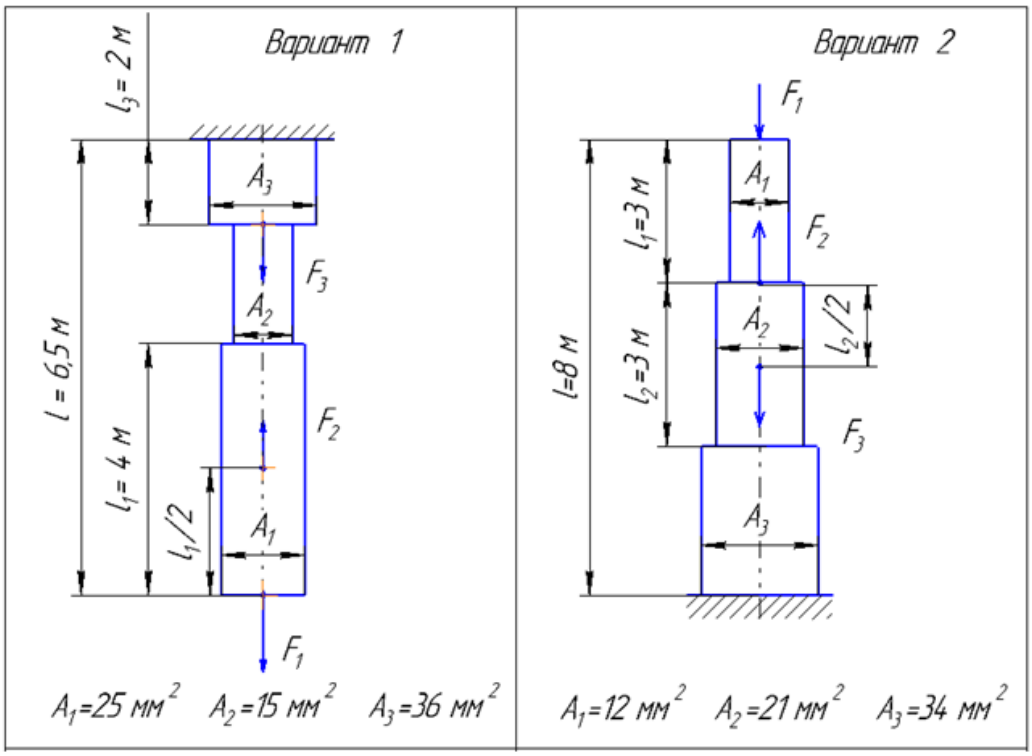
На уровне сопряжения с полкой определим значения главных напряжений:

$$\sigma_1 = \frac{144{,}1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{144{,}1^2 + 4 \cdot 25{,}1^2} = 148{,}3 \text{ МПа};$$

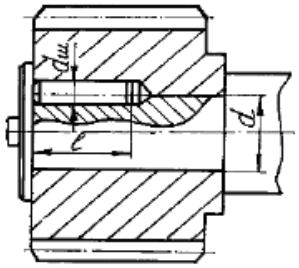
$$\sigma_3 = \frac{144{,}1}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{144{,}1^2 + 4 \cdot 25{,}1^2} = -4{,}2 \text{ МПа}.$$

Таким образом, главные напряжения в опасных точках не превосходят нормальных напряжений в крайних волокнах сечения $A$.

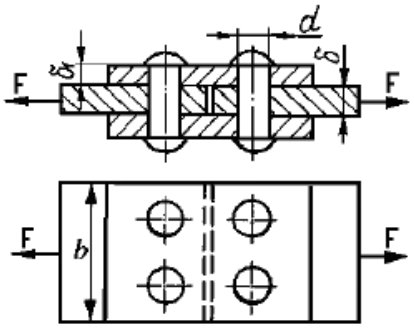
## 8 Задачи к экзамену



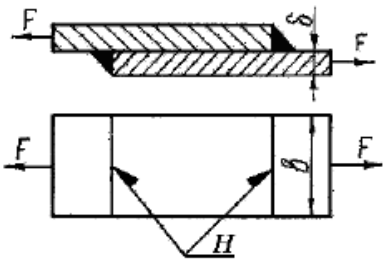
Вариант 1




Вариант 2




Вариант 3




Вариант 4

