

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Майкопский государственный технологический университет»

Факультет технологический

Кафедра строительных и общепрофессиональных дисциплин

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета


А.А. Схаляхов

«14» 05 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине Б1.В.12 Сопротивление материалов

по направлению подготовки

бакалавров 15.03.02 Технологические машины и оборудование

по профилю подготовки Машины и аппараты пищевых производств

Квалификация (степень) выпускника бакалавр

Программа подготовки академический бакалавриат

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2019

Рабочая программа составлена на основании ФГОС ВО и учебного плана МГТУ по направлению подготовки бакалавров *15.03.02 Технологические машины и оборудование* по профилю *Машины и аппараты пищевых производств*

Составитель рабочей программы
Старший преподаватель
(должность, ученое звание, степень)


(подпись)

Саенко Н.Н.
(Ф.И.О.)

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры строительных и общепрофессиональных дисциплин

Заведующий кафедрой
«11» 05 2019 г.


(подпись)

Меретуков З.А.
(Ф.И.О.)

Одобрено учебно-методической комиссией факультета
(где осуществляется обучение)

«11» 05 2019 г.

Председатель
учебно-методического
совета направления (специальности)
(где осуществляется обучение)


(подпись)

Сюхов Х.Р.
(Ф.И.О.)

Декан факультета
(где осуществляется обучение)
«11» 05 2019 г.


(подпись)

Схалыхов А.А.
(Ф.И.О.)

СОГЛАСОВАНО:

Начальник УМУ
«11» 05 2019 г.


(подпись)

Чудесова Н.Н.
(Ф.И.О.)

Зав. выпускающей кафедрой
по направлению (специальности)
«11» 05 2019 г.


(подпись)

Сюхов Х.Р.
(Ф.И.О.)

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью дисциплины является изучение основных понятий и принципов выполнения расчетов различных элементов сооружений на прочность, жесткость и устойчивость. Также цель дисциплины - заложить фундамент для грамотного проектирования инженерных конструкций и сооружений.

Задачами курса являются:

- изучить основные виды деформаций и приемы оценки прочности элементов конструкций;
- научить будущего инженера умению представить работу элемента при помощи упрощенной расчетной схемы и соответствующих аналитических зависимостей – физико-математической модели работы конструкции;
- дать оценку прочности существующей конструкции, провести оптимизацию её параметров и т.д.

Студент должен знать: основные понятия и упрощения сопротивления материалов, основные приемы определения внутренних усилий и напряжений для каждого вида деформаций; основные аналитические зависимости, определяющие характер прочностных расчетов, расчетов на жесткость и устойчивость элементов конструкций, а также методы оптимизации основных параметров элементов.

Студент должен уметь: производить расчеты на прочность и жесткость стержней и стержневых систем при растяжении-сжатии, кручении, изгибе и сложном нагружении при статическом и динамическом приложении нагрузок, расчеты тонкостенных оболочек вращения по безмоментной теории, расчеты стержней на устойчивость; определять деформации и напряжения в стержневых системах при температурных воздействиях; используя современную вычислительную технику, определять оптимальные параметры системы при изменении одного или нескольких параметров.

2. Место дисциплины в структуре ОП бакалавриата

Современная действительность требует ускорения научно-технического прогресса, повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции, снижения материалоемкости конструкции, повышения производительности, долговечности, надежности машин. Исключительная роль в обеспечении этого процесса принадлежит инженерам, конструкторам, машиностроителям. Значительная роль в формировании облика инженеров широкого профиля отводится дисциплинам общепрофессионального цикла и, в частности, дисциплине «Сопротивление материалов». Создавая новую конструкцию, инженер назначает первоначальные размеры ее элементов, проводя прочностные расчеты методами сопротивления материалов. Дальнейший расчет конструкций, как правило, производится с помощью ЭВМ численными методами с использованием пакетов прикладных программ. Однако для анализа достоверности получаемых результатов используется сравнение с результатами расчетов по упрощенным моделям методами сопротивления материалов.

Дисциплина основывается на знаниях, полученных при изучении курсов «Высшая математика», «Физика», «Теоретическая механика» и входит в перечень курсов вариативной части ОП. В свою очередь является базой для изучения таких дисциплин, как «Основы технологии машиностроения», «Технологическое оборудование», «Процессы и аппараты пищевых производств» и некоторых других.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

В результате изучения дисциплины бакалавр должен обладать следующими профессиональными компетенциями:

- способностью обеспечивать технологичность изделий и оптимальность процессов их изготовления, умением контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий (ПК-10);

- умением выбирать основные и вспомогательные материалы, способы реализации технологических процессов, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении технологических машин (ПК-15);

знать:

- технологичность изделий и оптимальность процессов их изготовления;
- прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования.

уметь:

- контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий;

- применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении технологических машин.

владеть:

- технологической дисциплиной при изготовлении изделий;
- прогрессивными методами эксплуатации технологического оборудования.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы по очной форме обучения

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы (144 часа).

| Вид учебной работы | Всего часов | Семестры | |
|---|------------------------|------------------------|--|
| | | 2 | |
| Контактные часы (всего) | 51,35/ 1,43 | 51,35/ 1,43 | |
| В том числе: | | | |
| Лекции (Л) | 17/ 0,472 | 17/ 0,472 | |
| Практические занятия (ПЗ) | 34/ 0,944 | 34/ 0,944 | |
| Семинары (С) | | | |
| Лабораторные работы (ЛР) | | | |
| Контактная работа в период аттестации (КРАТ) | 0,35/ 0,01 | 0,35/ 0,01 | |
| Самостоятельная работа под руководством преподавателя (СРП) | | | |
| Самостоятельная работа (СР) (всего) | 57/ 1,58 | 57/ 1,58 | |
| В том числе: | | | |
| Расчетно-графические работы | 50/ 1,39 | 50/ 1,39 | |
| Реферат, доклад | 7/ 0,19 | 7/ 0,19 | |
| Курсовой проект (работа) | | | |
| Контроль (всего) | 35,65/ 0,99 | 35,65/ 0,99 | |
| Форма промежуточной аттестации: (экзамен) | экзамен | экзамен | |
| Общая трудоемкость (часы/ з.е.) | 144/4 | 144/4 | |

4.2. Объем дисциплины и виды учебной работы по заочной форме обучения

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы (144 часа).

| Вид учебной работы | Всего часов | Семестры | |
|---|-----------------------|-----------------------|--|
| | | 4 | |
| Контактные часы (всего) | 6,35/ 0,18 | 6,35/ 0,18 | |
| В том числе: | | | |
| Лекции (Л) | 2/0,06 | 2/0,06 | |
| Практические занятия (ПЗ) | | | |
| Семинары (С) | 4/0,11 | 4/0,11 | |
| Лабораторные работы (ЛР) | | | |
| Контактная работа в период аттестации (КРАТ) | 0,35/ 0,01 | 0,35/ 0,01 | |
| Самостоятельная работа под руководством преподавателя (СРП) | | | |
| Самостоятельная работа (СР) (всего) | 129/ 3,58 | 129/ 3,58 | |
| В том числе: | | | |
| Расчетно-графические работы | 129/ 3,58 | 129/ 3,58 | |
| Реферат, доклад | | | |
| Курсовой проект (работа) | | | |
| Контроль (всего) | 8,65/ 0,24 | 8,65/ 0,24 | |
| Форма промежуточной аттестации: экзамен | экзамен | экзамен | |
| Общая трудоемкость (часы/ з.е.) | 144/4 | 144/4 | |

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Структура дисциплины для очной формы обучения

| № п/п | Раздел дисциплины | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу и трудоемкость (в часах) | | | | | | Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|------------------|---|-----------------|--|------|------|-----|----------|----|---|
| | | | Л | С/ПЗ | КРАТ | СРП | Контроль | СР | |
| 2 семестр | | | | | | | | | |
| 1 | Введение. Центральное растяжение-сжатие. Расчет статически определимых и неопределимых систем при растяжении-сжатии. | 1-2 | 2 | 4 | | | | 6 | Решение задач по теме. РГР № 1. Тестовые задания Реферат по теме. |
| 2 | Сдвиг и кручение. Кручение стержней круглого сечения. | 3-4 | 2 | 4 | | | | 6 | Решение задач по теме. РГР № 2. Тестовые задания. |
| 3 | Геометрические характеристики поперечных сечений. | 5-6 | 2 | 4 | | | | 6 | Решение задач по теме. РГР № 3 |
| 4 | Прямой поперечный изгиб. Напряжения при чистом и поперечном изгибе. Расчет статически определимых стержневых систем при изгибе. | 7-8 | 2 | 4 | | | | 8 | Решение задач по теме. РГР № 4. Тестовые задания Решение задач по теме. |
| 5 | Перемещение при изгибе. Интегрирование дифференциального уравнения упругой линии балки. Способ Верещагина. | 9-10 | 2 | 4 | | | | 7 | Решение задач по теме. Тестовые задания. Реферат по теме |
| 6. | Сложное сопротивление. Косой изгиб. Внецентренное растяжение-сжатие. Расчет по теориям прочности. | 11-12 | 2 | 4 | | | | 6 | Решение задач по теме. Тестовые задания. РГР № 4 |
| 7. | Динамическое нагружение (расчет элементов конструкций при движении с ускорением и при ударе). | 13-14 | 2 | 4 | | | | 6 | Решение задач по теме. Тестовые задания. |
| 8. | Устойчивость элементов конструкций. | 15-16 | 2 | 4 | | | | 6 | Решение задач по теме. РГР № 5. |

| | | | | | | | | | |
|----|--|----|-----------|-----------|-------------|--|--------------|-----------|---|
| | Работа конструкции за пределами упругости. | | | | | | | | Решение задач по теме. Тестовые задания. Реферат по теме |
| 9. | Оболочки. Циклическое нагружение. | 17 | 1 | 2 | | | | 6 | Решение задач по теме. Тестовые задания. Реферат по теме |
| | Промежуточная аттестация | 17 | | | 0,35 | | 35,65 | | Экзамен в устной форме |
| | Итого: | | 17 | 34 | 0,35 | | 35,65 | 57 | |

5.2. Структура дисциплины для заочной формы обучения

| № п/п | Раздел дисциплины | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу и трудоемкость (в часах) | | | | | |
|-----------|---|--|----------|-------------|------|-------------|------------|
| | | Л | С/ПЗ | КРАТ | СРП | контроль | СР |
| 4 семестр | | | | | | | |
| 1 | Введение. Центральное растяжение-сжатие. Расчет статически определимых и неопределимых систем при растяжении-сжатии. | 2 | 2 | | | 14 | |
| 2 | Сдвиг и кручение. Кручение стержней круглого сечения. | | | | | 14 | |
| 3 | Геометрические характеристики поперечных сечений. | | | | | 14 | |
| 4 | Прямой поперечный изгиб. Напряжения при чистом и поперечном изгибе. Расчет статически определимых стержневых систем при изгибе. | | | | | 16 | |
| 5 | Перемещение при изгибе. Интегрирование дифференциального уравнения упругой линии балки. Способ Верещагина. | | | | | 14 | |
| 6. | Сложное сопротивление. Косой изгиб. Внецентренное растяжение-сжатие. Расчет по теориям прочности. | | | | | 16 | |
| 7. | Динамическое нагружение (расчет элементов конструкций при движении с ускорением и при ударе). | | | | | 14 | |
| 8. | Устойчивость элементов конструкций. Работа конструкции за пределами упругости. | | | | | 14 | |
| 9. | Оболочки. Циклическое нагружение. | | | | | 13 | |
| | Промежуточная аттестация: Экзамен в устной форме | | | 0,35 | 8,65 | | |
| | ИТОГО: | 2 | 4 | 0,35 | | 8,65 | 129 |

5.3. Содержание разделов дисциплины «Сопротивление материалов», образовательные технологии. Лекционный курс

| № п/п | Наименование темы дисциплины | Трудоемкость (часы / зач. ед.) | | Содержание | Формируемые компетенции | Результаты освоения (знать, уметь, владеть) | Образовательные технологии |
|-------|--|--------------------------------|-----|--|-------------------------|--|-----------------------------------|
| | | ОФО | ЗФО | | | | |
| 1. | Введение. Тема 1. Центральное растяжение-сжатие. Расчет статически определимых и неопределимых систем при растяжении-сжатии. | 2/0,055 | | <p>Введение:</p> <ul style="list-style-type: none"> -основные понятия и определения сопротивления материалов; -расчетные схемы; - силы внешние и внутренние; -метод сечений; -внутренние усилия и напряжения. <p>Тема 1. Центральное растяжение и сжатие:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.1. Напряжения и деформации при растяжении и сжатии. 1.2. Удлинения, закон Гука. 1.3. Влияние температуры. 1.4. Расчет статически определимых стержневых систем при растяжении и сжатии. 1.5. Расчет статически неопределимых систем при растяжении и сжатии. 1.5.1. Методы раскрытия статической неопределимости. 1.5.2. Уравнения совместности деформаций. | ПК-10, ПК-15 | <p>Знать: основные понятия, определения и допущения сопротивления материалов; сущность метода сечений; расчетные формулы для определения напряжений и деформаций; методы раскрытия статической неопределимости.</p> <p>Уметь: анализировать содержание задания, применять метод сечений; составлять уравнения совместности деформаций при решении задач.</p> <p>Владеть: навыками составления расчетной схемы задачи, навыками определения внутренних силовых факторов, напряжений и деформаций в статически определимых и неопределимых стержневых системах.</p> | Тематическая лекция, слайд-лекция |

| | | | | | | |
|---|---|---------|--|-----------------|--|-----------------------------------|
| 2 | Тема 2. Сдвиг и кручение стержней круглого сечения. Кручение круглого сечения. | 2/0,055 | Тема 2. Сдвиг и кручение. 2.1 Напряжения при сдвиге. 2.2 Закон Гука при сдвиге. 2.3 Расчет болтовых и заклепочных соединений на срез и смятие. 2.4 Кручение стержней круглого сечения. 2.5 Напряжения и углы поворота сечения при кручении круглых стержней. 2.6 Эпюры крутящих моментов. 2.7 Условие прочности при кручении. | ПК-10, ПК-15 | Знать: суть сдвига и кручения как видов деформации, знать основные расчетные формулы для определения напряжений и деформаций при сдвиге и кручении. Уметь: анализировать задачи на сдвиг и кручение, уметь строить эпюры крутящего момента и определять максимальную нагрузку на вал. Владеть: навыками определения внутренних силовых факторов при сдвиге и кручении, расчета нагрузки, проверки прочности и подбора сечения элементов конструкции при заданных допускаемых напряжениях и деформациях. | Тематическая лекция. |
| 3 | Тема 3. Геометрические характеристики поперечных сечений. | 2/0,055 | Тема 3. Геометрические характеристики поперечных сечений. 3.1. Статические моменты площади сечения. 3.2. Моменты инерции. 3.3. Главные оси и главные моменты инерции. | ПК-10, ПК-15 | Знать: основные геометрические характеристики, формулы для их определения. Уметь: применять формулы определения геометрических характеристик и перехода к параллельным осям. Владеть: навыками определения различных геометрические характеристики сечений, положения главных центральных осей и главных моментов инерции. | Тематическая лекция. |
| 4 | Тема 4. Прямой поперечный изгиб. Напряжения при чистом и поперечном изгибе. Расчет статически определимых стержневых систем | 2/0,055 | Тема 4. Прямой поперечный изгиб. 4.1. Внутренние силовые факторы при изгибе. 4.2. Изгиб чистый и поперечный. 4.3. Дифференциальные зависимости при изгибе. 4.4. Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. | ПК-10, ПК-15 | Знать: суть изгиба, отличия чистого и поперечного изгиба, формулы определения напряжений при изгибе, кривизны изогнутого стержня. Уметь: строить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, определять опасное сечение стержня, применять расчетные формулы. | Тематическая лекция, слайд-лекция |

| | | | | | | | |
|---|--|---------|---------|--|-----------------|---|------------------------------------|
| | при изгибе. | | | 4.5. Напряжения при чистом изгибе. 4.6. Поперечный изгиб. Нормальные и касательные напряжения при поперечном изгибе. Формула Журавского. 4.7. Соотношение нормальных и касательных напряжений. 4.8. Условие прочности при изгибе. Элементы рационального проектирования простейших систем | | Владеть: навыками прочностного расчета при изгибе (определение допускаемой нагрузки, проверка прочности и подбор параметров сечения). | |
| 5 | Тема 5. Перемещение при изгибе. Интегрирование дифференциального уравнения упругой линии балки. Способ Верещагина. | 2/0,055 | 2/0,055 | Тема 5. Перемещения при изгибе. 5.1. Приближенное дифференциальное уравнение упругой линии балки. 5.2. Интегрирование приближенного дифференциального уравнения. 5.3. Методы определения перемещений при изгибе. Тема 1.7. Перемещения при изгибе. 5.4. Интегралы Мора. 5.5. Способ Верещагина. | ПК-10, ПК-15 | Знать: перемещения при изгибе, основные допущения их определения, формулы для определения перемещений при изгибе, сущность интегралов Мора, суть способа Верещагина, принцип перемножения эпюр. Уметь: определять перемещения при изгибе различными способами. Владеть: навыками определения перемещений в произвольной точке стержня различными способами. | Тематическая лекция |
| 6 | Тема 6. Сложное сопротивление. Косой изгиб. Внецентренное растяжение-сжатие. Расчет по теориям прочности. | 2/0,055 | | Тема 6.1. Косой изгиб. 6.1.1. Напряжения при косом изгибе. 6.1.2. Уравнение нейтральной линии сечения при косом изгибе. 6.1.3. Условие прочности при косом изгибе. Тема 6.2. Внецентренное растяжение и сжатие. 6.2.1. Напряжения при внецентренном растяжении и сжатии. 6.2.2. Уравнение нейтральной линии при внецентренном растяжении и | ПК-10, ПК-15 | Знать: суть определения усилий и напряжений в случае сложного сопротивления; особенности косого изгиба, внецентренного растяжения и сжатия, суть каждого критерия и условие достижения критического состояния по каждому из них, формулы определения напряжений. Уметь: анализировать задачи сложного сопротивления, определять положение нейтральной линии в сечении при косом изгибе, внецентренном растяжении и сжатии, определять положение наиболее | Тематическая лекция, слайд-лекция. |

| | | | | | | |
|---|--|---------|---|--------------|---|----------------------|
| | | | <p>сжатии.</p> <p>2.2.3. Условие прочности при внецентренном растяжении и сжатии</p> <p>Тема 6.3. Расчет по теориям прочности.</p> <p>6.3.1. Условие достижения критического состояния по каждой из теорий.</p> <p>6.3.2. Условие прочности для совместного действия кручения и изгиба по III и IV теориям прочности</p> | | <p>напряженных точек в сечении; определять эквивалентное напряжение для конкретной задачи и сравнивать его с допустимым (расчетным сопротивлением).</p> <p>Владеть: навыками расчета на прочность элементов конструкций, работающих в условиях косоугольного изгиба, внецентренного растяжения и сжатия, с использованием теорий прочности.</p> | |
| 7 | Тема 7. Динамическое нагружение (расчет элементов конструкций, движущихся с ускорением и при ударе). | 2/0,055 | <p>Тема 7.1. Учет сил инерции при динамическом нагружении. Расчет элементов конструкций, движущихся с ускорением.</p> <p>7.1.1. Динамический коэффициент.</p> <p>7.1.2. Расчет элементов конструкций, движущихся с ускорением.</p> <p>Тема 7.2. Ударное действие нагрузки.</p> <p>7.2.1. Приближенный расчет на удар.</p> <p>7.2.2. Динамический коэффициент при ударе.</p> | ПК-10, ПК-15 | <p>Знать: принципы динамического расчета, формулы определения усилий, напряжений и перемещений для элементов конструкций, движущихся с ускорением и подвергающихся ударному воздействию.</p> <p>Уметь: записывать выражения для динамических усилий, напряжений и перемещений с использованием соответствующего динамического коэффициента.</p> <p>Владеть: навыками расчета на прочность элементов конструкций, движущихся с ускорением, и подвергающихся ударному воздействию.</p> | Тематическая лекция. |
| 8 | Тема 8. Устойчивость элементов конструкций. Тема 9. Работа конструкции за пределами упругости. | 2/0,055 | <p>Тема 8. Устойчивость продольно сжатых стержней.</p> <p>8.1 Формула Эйлера для критической силы.</p> <p>8.2 Влияние условий закрепления концов стержня.</p> <p>8.3 Пределы применимости</p> | ПК-10, ПК-15 | <p>Знать: формулы критической силы и критического напряжения, пределы применимости формулы Эйлера; стадии, проходимые балкой вплоть до исчерпания ее несущей способности, формулы пластического предельного момента и пластического момента</p> | Тематическая лекция. |

| | | | | | | | |
|---------------|---|-----------------|---------------|---|--------------|---|---------------------|
| | | | | <p>формулы Эйлера. Гибкость стержня.</p> <p>Тема 9. Работа конструкций за пределами упругости.</p> <p>9.1. Стадии, проходимые балкой до исчерпания несущей способности.</p> <p>9.2. Пластический предельный момент и пластический момент сопротивления.</p> <p>9.3. Расчет по несущей способности.</p> | | <p>сопротивления.</p> <p>Уметь: определять величины критической силы и напряжения; предельно допустимые нагрузки и параметры конструкции при расчете по предельному состоянию.</p> <p>Владеть: навыками расчета сжатых стержней (подбор сечения, нагрузки и т.д.) на устойчивость; навыками расчета элементов конструкций по предельному состоянию</p> | |
| 9 | <p>Тема 10. Оболочки.</p> <p>Тема 11. Циклическое нагружение.</p> | 1/0,028 | | <p>Тема 10. Оболочки.</p> <p>10.1. Характеристики оболочек.</p> <p>10.2. Расчет симметричных оболочек по безмоментной теории.</p> <p>Тема 11. Циклическое нагружение. Усталость материала.</p> <p>11.1. Усталость материала.</p> <p>11.2. Предел выносливости.</p> <p>11.3. Влияние различных факторов на предел выносливости: масштабный коэффициент, эффективный коэффициент концентрации напряжений.</p> <p>11.4. Расчет на усталость.</p> | ПК-10, ПК-15 | <p>Знать: уравнения равновесия для симметричных оболочек, рассчитываемых по безмоментной теории; суть усталостного разрушения, характеристики цикла, факторы, влияющие на выносливость материала.</p> <p>Уметь: определять нагрузку и параметры оболочек, рассчитываемых по безмоментной теории; строить и пользоваться диаграммой выносливости материала, учитывать факторы, влияющие на предел выносливости.</p> <p>Владеть: навыками прочностного расчета симметричных оболочек по безмоментной теории; навыками расчета на выносливость.</p> | Тематическая лекция |
| Итого: | | 17/0,472 | 2/0,06 | | | | |

5.4. Практические и семинарские занятия, их наименование, содержание и объем в часах

| № п/п | № раздела дисциплины | Наименование практических и семинарских занятий | Объем в часах / трудоем-кость в з.е. | |
|---------------|---|--|--------------------------------------|---------|
| | | | ОФО | ЗФО |
| 1. | Введение. Центральное растяжение-сжатие. Расчет статически определимых и неопределимых систем при растяжении-сжатии. | Расчет статически определимых и неопределимых стержневых систем при растяжении и сжатии. | 4/0,11 | 2/0,055 |
| 2. | Сдвиг и кручение. Кручение стержней круглого сечения. | Расчет болтовых и заклепочных соединений на срез и смятие. Расчет стержней круглого сечения на прочность и жесткость при кручении. | 4/0,11 | |
| 3. | Геометрические характеристики поперечных сечений. | Определение геометрических характеристик простых и составных сечений. | 4/0,11 | |
| 4. | Прямой поперечный изгиб. Напряжения при чистом и поперечном изгибе. Расчет статически определимых стержневых систем при изгибе. | Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Расчет на прочность статически определимых стержневых систем при изгибе. | 4/0,11 | |
| 5. | Перемещение при изгибе. Интегрирование дифференциального уравнения упругой линии балки. Способ Верещагина. | Определение перемещений при изгибе методом интегрирования дифференциального уравнения упругой линии балки; способом Верещагина. | 4/0,11 | |
| 6. | Сложное сопротивление. Косой изгиб. Внецентренное растяжение-сжатие. Расчет по теориям прочности. | Расчет статически определимых конструкций, работающих в условиях сложного сопротивления (косой изгиб, внецентренное растяжение и сжатие, расчет по теориям прочности). | 4/0,11 | 2/0,055 |
| 7. | Динамическое нагружение (расчет элементов конструкций при движении с ускорением и при ударе). | Расчет элементов конструкций, движущихся с ускорением и работающих при ударных нагрузках. | 4/0,11 | |
| 8. | Устойчивость элементов конструкций. Работа конструкции за пределами упругости. | Расчет продольно сжатых стержней на устойчивость. Расчет элементов конструкций по предельному состоянию (по несущей способности). | 4/0,11 | |
| 9. | Оболочки. Циклическое нагружение. | Расчет симметричных оболочек по безмоментной теории. Расчет элементов конструкций на выносливость. | 2/0,055 | |
| Итого: | | | 34/0,944 | 4/0,11 |

5.5. Лабораторные занятия, их наименование и объем в часах

Лабораторные занятия учебным планом не предусмотрены

5.6. Примерная тематика курсовых проектов (работ)

Курсовой проект (работа) учебным планом не предусмотрен.

5.7. Самостоятельная работа обучающихся Содержание и объем самостоятельной работы обучающихся

| № п/п | Разделы и темы рабочей программы самостоятельного изучения | Перечень домашних заданий и других вопросов для самостоятельного изучения | Сроки выполнения | Объем в часах / трудоемкость в з.е. | |
|-------|---|--|------------------|-------------------------------------|---------|
| | | | | ОФО | ЗФО |
| 1. | Введение. Центральное растяжение-сжатие. Расчет статически определимых и неопределимых систем при растяжении-сжатии. | Напряжения и деформации при растяжении и сжатии. Решение задач по теме. РГР № 1. | Неделя 1-2 | 6/0,17 | 14/0,39 |
| 2. | Сдвиг и кручение. Кручение стержней круглого сечения. | Напряжения и деформации при сдвиге и кручении. Решение задач по теме. РГР № 2. | Неделя 3-4 | 6/0,17 | 14/0,39 |
| 3. | Геометрические характеристики поперечных сечений. | Геометрические характеристики поперечных сечений. Решение задач по теме. РГР № 3 | Неделя 5-6 | 6/0,17 | 14/0,39 |
| 4. | Прямой поперечный изгиб. Напряжения при чистом и поперечном изгибе. Расчет статически определимых стержневых систем при изгибе. | Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Решение задач по теме. РГР № 4. | Неделя 7-8 | 8/0,22 | 16/0,44 |
| 5. | Перемещение при изгибе. Интегрирование дифференциального уравнения упругой линии балки. Способ Верещагина. | Перемещения при изгибе. Решение задач по теме. Реферат по теме. | Неделя 9-10 | 7/0,19 | 14/0,39 |
| 6. | Сложное сопротивление. Косой изгиб. Внецентренное растяжение-сжатие. Расчет по теориям прочности. | Расчеты на прочность в случае сложного сопротивления. Решение задач по теме. РГР № 5. | Неделя 11-12 | 6/0,17 | 16/0,44 |
| 7. | Динамическое нагружение (расчет элементов конструкций при движении с ускорением и при ударе). | Расчеты на прочность элементов конструкций, движущихся с ускорением и при ударных нагрузках. Решение задач по теме. РГР № 6. | Неделя 13-14 | 6/0,17 | 14/0,39 |
| 8. | Устойчивость элементов конструкций. Работа конструкции за пределами упругости. | Расчеты на устойчивость продольно сжатых стержней. Решение задач по теме. РГР № 7. Реферат по теме. | Неделя 15-16 | 6/0,17 | 14/0,39 |

| | | | | | |
|---------------|--------------------------------------|---|-----------|----------------|-----------------|
| 9. | Оболочки. Циклическое нагружение. | Расчет на прочность симметричных оболочек по безмоментной теории. Решение задач по теме. Реферат по теме. | Неделя 17 | 6/0,17 | 13/0,36 |
| Итого: | | | | 57/1,58 | 129/3,58 |

6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю).

6.1. Методические указания (собственные разработки)

1. Учебно-методическое пособие по дисциплине "Сопrotивление материалов" [Электронный ресурс]: для студентов технических специальностей и направлений подготовки очной и заочной форм обучения / [сост.: Саенко Н.Н., Стерехова Н.В.]. - Майкоп: Магарин О.Г., 2015. - 107 с. - Режим доступа: <http://lib.mkgtu.ru:8002/libdata.php?id=2100025092>
2. Учебно-методическое пособие для выполнения расчетно-графических работ по курсу «Сопrotивление материалов» [Электронный ресурс]: для студентов технических специальностей и направлений подготовки (очной и заочной форм обучения) / сост. А.З. Уджуху, Н.Н. Саенко, Н.В. Стерехова – Майкоп, ИП Магарин О.Г., 2011. – 75 с. - Режим доступа: <http://mark.nbmgtu.ru/libdata.php?id=1000053068>

6.2. Литература для самостоятельной работы

1. Схиртладзе, А.Г. Сопrotивление материалов. В 2-х ч. Ч.1 [Электронный ресурс]: учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Чеканин, В.В. Волков. - Москва: КУРС: ИНФРА-М, 2018. - 272 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <https://new.znanium.com/catalog/product/933939>
2. Схиртладзе, А.Г. Сопrotивление материалов. В 2-х ч. Ч. 2 [Электронный ресурс]: учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Чеканин, В.В. Волков. - Москва: КУРС: ИНФРА-М, 2018. - 192 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <https://new.znanium.com/catalog/product/933947>
3. Сидорин, С.Г. Сопrotивление материалов: теория, тестовые задания, примеры решения [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.Г. Сидорин, Ф.С. Хайруллин. - М. : РИОР : ИНФРА-М, 2018. - 184 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/792606>
4. Евтушенко, С.И. Сопrotивление материалов: Сборник задач с решениями [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.И. Евтушенко, Т.А. Дукмасова, Н.А. Вильбицкая. - М.: РИОР: ИНФРА-М, 2017. - 344 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/792242>
5. Атаров, Н.М. Сопrotивление материалов в примерах и задачах [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.М. Атаров. - М.: ИНФРА-М, 2017. - 407 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=872437>
6. Межецкий, Г. Д. Сопrotивление материалов [Электронный ресурс]: учебник / Г. Д. Межецкий, Г. Г. Загребин, Н. Н. Решетник; под общ. ред. Г. Д. Межецкого, Г. Г. Загребина. - М.: Дашков и К, 2016. - 432 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=414836>
7. Логвинов, В.Б. Сопrotивление материалов. Лабораторные работы [Электронный ресурс]: учебное пособие / Логвинов В. Б., Волосухин В. А., Евтушенко С. И. - М.: РИОР, ИНФРА-

М, 2016. - 212 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=537040>

8. Муморцев, А.Н. Сборник задач по сопротивлению материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Н. Муморцев, Е.А. Фролов. - М.: Форум: ИНФРА-М, 2015. - 112 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=494537>
9. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности: учебник / В.И.Андреев и др.; под ред. Г.С. Варданяна, Н.М. Атарова. - М.: ИНФРА-М, 2014. - 512 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=448729>

7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

| Этапы формирования компетенции (номер семестра согласно учебному плану) | | Наименование учебных дисциплин, формирующих компетенции в процессе освоения образовательной программы |
|---|----------|---|
| ОФО | ЗФО | |
| <i>ПК-10 - способность обеспечивать технологичность изделий и оптимальность процессов их изготовления, умением контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий</i> | | |
| 2,3 | 2,3 | Теоретическая механика |
| 4 | 4 | Техническая механика |
| 3 | 3 | Материаловедение |
| 5 | 5 | Основы технологии машиностроения |
| 7 | 7 | Системы управления технологическими процессами |
| 5 | 5 | Детали машин |
| 2 | 4 | <i>Сопротивление материалов</i> |
| 4 | 4 | Метрология, стандартизация и сертификация |
| 8 | 7 | Резание материалов и режущий инструмент |
| 8 | 7 | Металлорежущие станки |
| 7 | 9 | Технологическое оборудование по переработке полуфабрикатов |
| 7 | 9 | Оборудование для консервирования |
| 2 | 2 | Введение в специальность |
| 2 | 2 | Введение в технику и технологию |
| 4 | 4 | Пищевая биотехнология |
| 4 | 4 | Современные методы техно-химического контроля пищевых |

| | | |
|---|----------|---|
| | | производств |
| 8 | 9 | Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы |
| <i>ПК-15 - умением выбирать основные и вспомогательные материалы, способы реализации технологических процессов, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении технологических машин</i> | | |
| 3 | 3 | Материаловедение |
| 5 | 5 | Основы технологии машиностроения |
| 7 | 7 | Монтаж, эксплуатация и ремонт оборудования |
| 4,5 | 8,9 | Процессы и аппараты пищевых производств |
| 2 | 4 | <i>Сопротивление материалов</i> |
| 4 | 6 | Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности |
| 6 | 8 | Технологическая практика |
| 8 | 9 | Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена |
| 8 | 9 | Подготовка к процедуре защиты и процедура защиты выпускной квалификационной работы |

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкалы оценивания

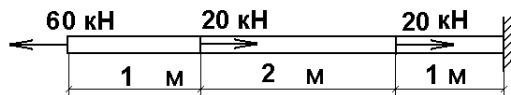
| Планируемые результаты освоения компетенции | Критерии оценивания результатов обучения | | | | Наименование оценочного средства |
|---|--|--------------------------------------|--|---|---|
| | неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо | отлично | |
| <i>ПК-10 - способность обеспечивать технологичность изделий и оптимальность процессов их изготовления, умением контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий</i> | | | | | |
| Знать: - технологичность изделий и оптимальность процессов их изготовления. | Фрагментарные знания | Неполные знания | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания | Сформированные систематические знания | контрольная работа, защита расчетно-графических работ тесты, письменный опрос, рефераты, доклады, экзамен |
| Уметь: - контролировать соблюдение технологической дисциплины при изготовлении изделий. | Частичные умения | Неполные умения | Учения полные, допускаются небольшие ошибки | Сформированные умения | |
| Владеть: - технологической дисциплиной при изготовлении изделий. | Частичное владение навыками | Несистематическое применение навыков | В систематическом применении навыков допускаются пробелы | Успешное и систематическое применение навыков | |
| <i>ПК-15 - умением выбирать основные и вспомогательные материалы, способы реализации технологических процессов, применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении технологических машин</i> | | | | | |
| Знать: прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования. | Фрагментарные знания | Неполные знания | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания | Сформированные систематические знания | контрольная работа, защита расчетно-графических работ тесты, письменный опрос, |
| Уметь: - применять прогрессивные методы эксплуатации технологического оборудования при изготовлении | Частичные умения | Неполные умения | Учения полные, допускаются | Сформированные умения | |

| | | | | | |
|---|-----------------------------|--------------------------------------|--|---|----------------------------------|
| технологических машин. | | | небольшие ошибки | | рефераты, доклады, экзамен |
| Владеть: - прогрессивными методами эксплуатации технологического оборудования. | Частичное владение навыками | Несистематическое применение навыков | В систематическом применении навыков допускаются пробелы | Успешное и систематическое применение навыков | |

7.3. Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

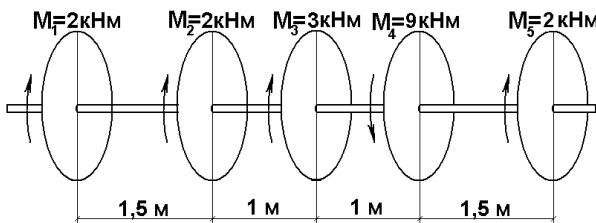
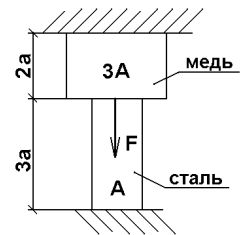
Задания для контрольной работы (приведено несколько вариантов)

Вариант 1



1) Определить напряжения и удлинения в каждом участке стального стержня модуль упругости стали $E_{ст}=2 \cdot 10^{11}$ Па. Площадь сечения $A=4 \text{ см}^2$.

2) Определить внутренние усилия и напряжения в каждом участке стержня. $E_{ст}=2 \cdot 10^{11}$ Па, $E_{меди}=1 \cdot 10^{11}$ Па, $a=0,5$ м, $F=20$ кН, $A=10 \text{ см}^2$.

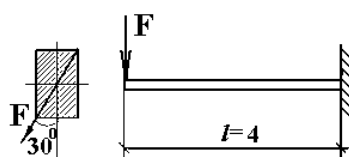


3) На стальной вал через пять шкивов передается крутящий момент. Построить эпюру крутящего момента, подобрать сечение вала при $[\tau]=90$ МПа. Определить величину угла поворота левого торцевого сечения относительно правого.

Модуль сдвига $G=8 \cdot 10^{10}$ Па.

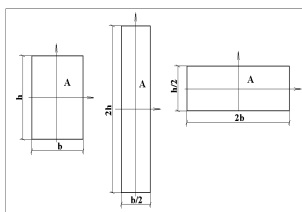
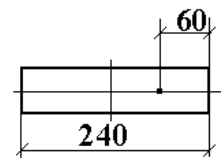
4) Определить, как и во сколько раз изменятся осевые моменты инерции прямоугольного сечения, если его
 а) высота уменьшится в 2 раза?
 б) Ширина увеличится в 3 раза? Доказать рассуждение (в общем виде).

Вариант 2



1) Подобрать прямоугольное ($h/b=2$) сечение деревянного стержня, подвергающегося действию силы $F=3$ кН, линия действия которой составляет с вертикалью угол 30° , $l=4$ м, $[\sigma]=10$ МПа.

2) Определить необходимую толщину стальной полосы шириной 24 см, растягиваемой двумя параллельными ее оси силами 120 кН, приложенными посередине ее толщины на расстоянии 6 см от края полосы; $[\sigma]=180$ МПа.



3) Сплошной стальной вал круглого поперечного сечения в опасном сечении подвергается действию крутящего момента $M_z=14$ кНм, и изгибающего момента $M_x=12$ кНм. Из условия прочности по третьей теории прочности, определить необходимый диаметр вала, если допускаемое напряжение $[\sigma]=80$ МПа.

4) Какое из трех сечений стержней наиболее выгодно с точки зрения изгиба? Докажите. А с точки зрения растяжения (сжатия)?

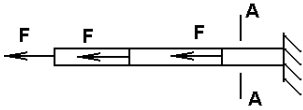
Тесты

Тема: Простое и сложное сопротивление

Вариант 1

1. Как называется способность твердых тел сопротивляться внешним нагрузкам, не разрушаясь?

- | | |
|------------------|------------------|
| 1) прочностью | 3) жесткостью |
| 2) устойчивостью | 4) выносливостью |

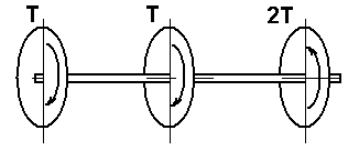


2. Какое усилие действует в сечении А-А?

- | | |
|-----------|-------------|
| 1) F. | 3) $-3F$. |
| 2) $3F$. | 4) Никакое. |

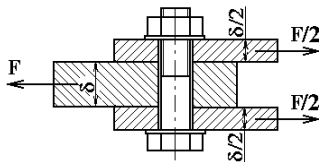
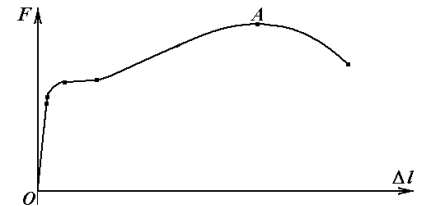
3. Определите вид эпюры крутящего момента для представленного вала.

- | | |
|----|----|
| 1) | 3) |
| 2) | 4) |



4. Какую величину рассчитывают, сняв показание по диаграмме в указанной точке А?

- 1) предел пропорциональности
- 2) предел текучести
- 3) предел упругости
- 4) временное сопротивление

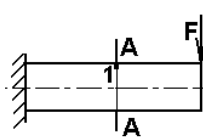


5. Укажите число плоскостей среза для болта, приведенного на рисунке

- | | |
|-------|-------|
| 1) 1. | 3) 2. |
| 2) 3. | 4) 4. |

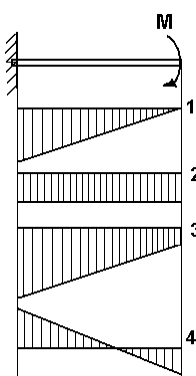
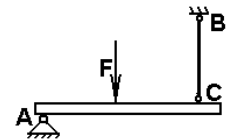
6. Какие напряжения действуют в точке 1 сечения А - А балки?

- | |
|---|
| 1) действуют нормальные σ и касательные τ напряжения. |
| 2) действуют касательные напряжения τ . |
| 3) действуют нормальные напряжения σ . |
| 4) нет напряжений. |



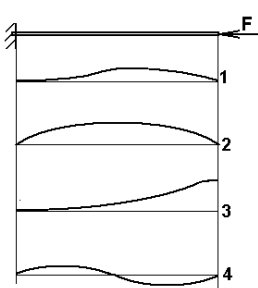
7. По какой формуле проводят проверку прочности стержня ВС, имеющего разные допускаемые напряжения на растяжение $[\sigma_p]$ и сжатие $[\sigma_{сж}]$?

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 1) $\sigma \leq \sigma_t$. | 3) $\sigma \leq [\sigma_p]$. |
| 2) $\sigma \leq [\sigma_{сж}]$. | 4) $\sigma \leq \sigma_{пш}$. |



8. Какой вид имеет эпюра изгибающего момента для указанной балки?

- | | |
|-------------|-------------|
| 1) Эпюра 4. | 3) Эпюра 2. |
| 2) Эпюра 1. | 4) Эпюра 3. |

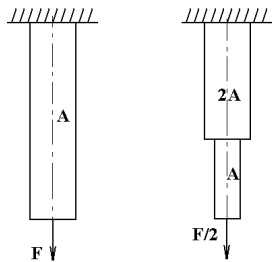


9. Какой вид имеет форма потери устойчивости при сжатии упругого стержня, показанного на рисунке силой $F \geq F_{кр}$?

- 1) 1 3) 3
2) 2 4) 4

10. Для определения критической нагрузки за пределом пропорциональности используется формула...

- 1) Эйлера 3) Ясинского
2) Нормальных напряжений 4) гибкости стержня

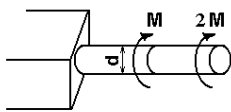


11. Как соотносятся максимальные напряжения в изображенных стержнях?

- 1) Отсутствуют.
2) Равны.
3) Во втором вдвое больше первого
4) В первом вдвое больше второго.

12. Какая геометрическая характеристика сечения влияет на величину напряжений при кручении?

- 1) статический момент 3) площадь
2) осевой момент инерции 4) полярный момент инерции



13. Чему равны максимальные напряжения для данного вала?

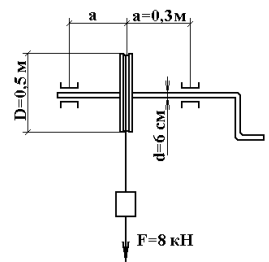
- 1) $\sigma = 8M/\pi d^2$ 3) $\tau = 96M/\pi d^4$
2) $\tau = 48M/\pi d^3$ 4) $\sigma = 24M/\pi d^3$

14. Какая из формул соответствует осевому моменту инерции J_x прямоугольного сечения?

- 1) $J_x = hb^2/6$ 3) $J_x = bh^2/6$
2) $J_x = bh^3/12$ 4) $J_x = hb^3/12$

15. Какой вид деформаций возникает в поперечных сечениях указанного стержня?

- 1) изгиб 3) изгиб с кручением
2) кручение 4) растяжение с изгибом

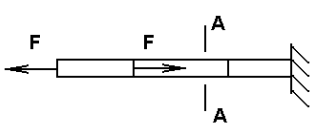


Тема: Простое и сложное сопротивление

Вариант 2

1. Как называется способность твердого тела после снятия внешней нагрузки возвращать первоначальные геометрические параметры?

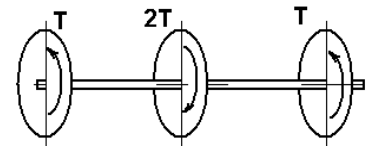
- 1) прочностью 3) упругостью
2) жесткостью 4) устойчивостью



2. Какое усилие действует в сечении А-А?

- 1) 2F. 3) Никакое.
2) F. 4) -F.

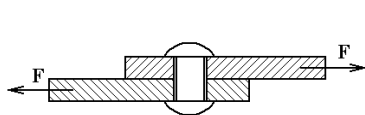
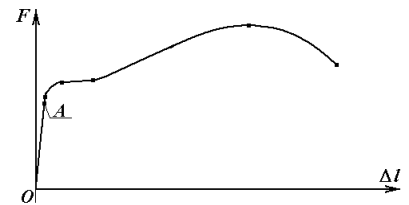
3. Определите вид эпюры крутящего момента для представленного вала.



- 1) 3) 2) 4)

4. Какую величину рассчитывают, сняв показание по диаграмме в указанной точке А?

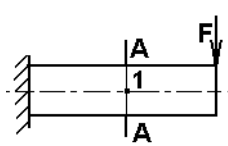
- 1) предел пропорциональности
2) предел текучести
3) предел упругости
4) предел прочности.



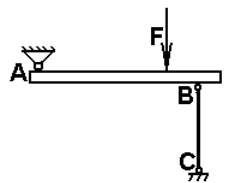
5. Укажите число плоскостей среза для заклепки, приведенной на рисунке

- 1) 4. 3) 2.
2) 3. 4) 1.

6. Какие напряжения действуют в точке 1 сечения А - А балки?



- 1) действуют нормальные напряжения σ .
2) действуют касательные напряжения τ .
3) нет напряжений.
4) действуют нормальные σ и касательные τ напряжения.

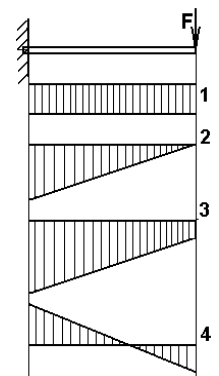


7. По какой формуле проводят проверку прочности стержня ВС, имеющего разные допускаемые напряжения на растяжение $[\sigma_p]$ и сжатие $[\sigma_{сж}]$?

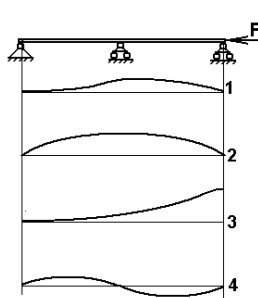
- 1) $\sigma \leq \sigma_T$ 3) $\sigma \leq [\sigma_p]$
2) $\sigma \leq [\sigma_{сж}]$ 4) $\sigma \leq \sigma_{шт}$

8. Какой вид имеет эпюра изгибающего момента для указанной на рисунке балки ?

- 1) 1 3) 3
2) 2 4) 4



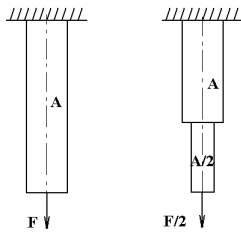
9. Какой вид имеет формула Эйлера для определения критической силы?



- 1) $F_{кр} = \frac{\pi^2 EI_{max}}{l^2}$ 3) $F_{кр} = EA\varepsilon$
2) $F_{кр} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{(\mu l)^2}$ 4) $F_{кр} = \sigma A$

10. Какая форма потери устойчивости имеет место при сжатии упругого стержня, показанного на рисунке ниже силой $F \geq F_{кр}$?

- 1) 1 3) 3
2) 2 4) 4

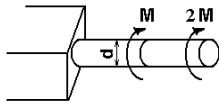


11. Максимальные напряжения в изображенных стержнях соотносятся следующим образом...

- 1) Отсутствуют.
- 2) Равны.
- 3) Во втором вдвое больше первого
- 4) В первом вдвое больше второго.

12. Какая геометрическая характеристика сечения влияет на величину напряжений при изгибе?

- 1) статический момент
- 2) осевой момент инерции
- 3) площадь
- 4) полярный момент инерции

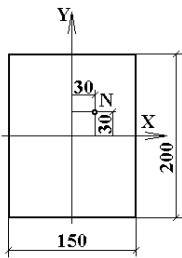


13. Чему равно максимальное перемещение для данного вала?

- 1) $\varphi = 12Ml/G\pi d^2$
- 2) $\varphi = 48M/G\pi d^3$
- 3) $\varphi = 96Ml/G\pi d^4$
- 4) $\varphi = 24M/E\pi d^4$

14. Какая из формул соответствует полярному моменту инерции круглого сечения?

- 1) $J_p = \pi d^3/12$
- 2) $J_p = \pi d^3/16$
- 3) $J_p = \pi d^4/64$
- 4) $J_p = \pi d^4/32$



15. Какой вид нагружения возникнет в стержне, если в точке N его поперечного сечения, приложить растягивающую силу F?

- 1) изгиб
- 2) растяжение с изгибом
- 3) растяжение
- 4) изгиб с кручением

Темы расчетно-графических работ

1. Растяжение и сжатие. Статически определимые и неопределимые системы.
2. Кручение стержней с круглым поперечным сечением.
3. .
4. Построение плана положений механизма. Определение рабочего положения механизма. Построение плана скоростей и ускорений.
5. Определение усилий в стержнях при растяжении и сжатии.
6. Построение эпюр крутящих моментов, подбор сечения вала. Определение углов закручивания.
7. Построение эпюр изгибающих моментов, подбор сечения балки.
8. Расчет стержня при внецентренном сжатии.

Темы рефератов и докладов

1. Система сил, произвольно расположенных на плоскости. Составные конструкции.
2. Простейшие движения твердого тела. Практические задачи.
3. Сложное движение материальной точки. Основные элементы движения. Практические задачи.
4. Кинематический анализ рычажных механизмов. Кинематические диаграммы.
5. Силовой анализ рычажных механизмов. Кинестатический метод. Жесткий рычаг Жуковского.
6. Кулачковые механизмы. Основные характеристики. Проектирование кулачковых механизмов.
7. Статически неопределимые задачи при растяжении и сжатии.

8. Статически неопределимые задачи при кручении.
9. Перемещения при изгибе. Способы определения.
10. Статически неопределимые задачи при изгибе.
11. Основные элементы деталей машин. Соединения разъемные и неразъемные.
12. Передачи трением и зацеплением.
13. Зубчатые передачи с эвольвентным профилем. Основные характеристики.
14. Изготовление зубчатых колес. Применение зубчатых передач.

Примерный список вопросов к экзамену

1. Предмет и задачи курса сопротивления материалов.
2. Основные понятия и определения сопротивления материалов: абсолютно жесткое тело, сплошная среда, расчетная схема, внешние и внутренние силы и т.д.
3. Метод сечений и его применение при определении внутренних усилий.
4. Растяжение и сжатие. Внутренние усилия при растяжении-сжатии.
5. Деформации при растяжении-сжатии. Закон Гука для случая растяжения-сжатия.
6. Напряжения при растяжении-сжатии. Влияние температуры на напряжения (деформации) при растяжении-сжатии.
7. Механические испытания материалов. Испытание материалов на растяжение-сжатие. Диаграмма растяжения углеродистой стали.
8. Механические испытания материалов. Основные механические характеристики материалов. Диаграмма истинных напряжений.
9. Статически определимые и статически неопределимые системы при растяжении-сжатии. Раскрытие статической неопределимости.
10. Сдвиг и кручение. Закон Гука для сдвига. Касательные напряжения при сдвиге. Расчет болтовых и заклепочных соединений.
11. Кручение. Внутренние усилия при кручении. Кручение стержней круглого поперечного сечения. Условие прочности при кручении.
12. Эпюры крутящих моментов.
13. Условия прочности и жесткости при кручении.
14. Геометрические характеристики поперечных сечений. Статические моменты, осевые и центробежные моменты инерции.
15. Формулы перехода к параллельным осям.
16. Главные оси и главные моменты инерции.
17. Изгиб. Внутренние силовые факторы при изгибе. Чистый изгиб. Напряжения при чистом изгибе.
18. Поперечный изгиб. Внутренние силовые факторы при поперечном изгибе. Напряжения при поперечном изгибе. Условие прочности при изгибе.
19. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов.
20. Перемещения в стержне при изгибе. Способы определения перемещений в стержнях при изгибе.
21. Интегрирование приближенного дифференциального уравнения изогнутой оси балки.
22. Аналитические и графо-аналитические способы определения перемещений. Интегралы Мора. Способ Верещагина.
23. Статически неопределимые системы при изгибе. Метод сил. Решение простейших статически неопределимых задач при изгибе.
24. Косой изгиб. Нормальные напряжения при косом изгибе. Уравнение нейтральной линии сечения. Условие прочности при косом изгибе.
25. Внецентренное растяжение и сжатие. Нормальные напряжения при внецентренном растяжении и сжатии. Уравнение нейтральной линии сечения при внецентренном растяжении и сжатии.

26. Условие прочности при внецентренном растяжении и сжатии. Ядро сечения.
27. Теории прочности. Теория максимальных касательных напряжений. Энергетическая теория прочности. Выражения для эквивалентных напряжений по III и IV теории прочности.
28. Совместное действие кручения и изгиба. Особенности этого вида нагружения и расчета на прочность.
29. Оболочки. Основные характеристики и свойства оболочек.
30. Расчет оболочек по безмоментной теории. Уравнение Лапласа.
31. Устойчивость сжатых стержней. Критическая сила и критическое напряжение при устойчивости. Пределы применимости формулы Эйлера.
32. Устойчивость сжатых стержней. Влияние закрепления концов стержня на величину критической силы. Гибкость стержня.
33. Динамическое нагружение. Учет сил инерции при динамическом нагружении. Динамический коэффициент при движении тел с ускорением.
34. Динамическое нагружение. Ударные нагрузки. Приближенный расчет на удар. Динамический коэффициент при ударе.
35. Повторно-переменные нагрузки. Характеристики цикла при повторно-переменном нагружении. Усталость материала. Основные свойства.
36. Работа конструкции за пределами упругости. Расчет по несущей способности.

7.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков, и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Результаты текущего контроля используются при проведении промежуточной аттестации

Критерии оценки знаний студентов при проведении тестирования

1. Индивидуальная балльная оценка:
 - оценка «отлично» выставляется при условии правильного ответа студента не менее чем 85% тестовых заданий;
 - оценка «хорошо» выставляется при условии правильного ответа студента не менее чем 70% тестовых заданий;
 - оценка «удовлетворительно» - не менее 51 %;
 - оценка «неудовлетворительно» - если студент правильно ответил менее чем на 50% тестовых заданий.
2. Показатели уровня усвоения учебного элемента или дисциплины в целом:
 - процент студентов, правильно выполнивших задание;
 - процент студентов, освоивших все дидактические единицы дисциплины.

Требования к расчетно-графической работе

Расчетно-графическая работа представляет собой один из видов самостоятельной работы обучающихся. По сути – это изложение ответов на определенные теоретические вопросы по учебной дисциплине с решением практических задач. Расчетно-графические работы проводятся для того, чтобы развить у обучающихся способность к анализу научной и учебной литературы, умение обобщать, систематизировать и оценивать практический и научный материал, укреплять навыки овладения понятиями определенной науки и другие.

При оценке расчетно-графической работы преподаватель руководствуется следующими критериями:

- работа была выполнена автором самостоятельно;

- обучающийся освоил лекционный материал, который необходим для осмысления темы работы;
- автор сумел составить логически обоснованный план, который соответствует поставленным задачам и сформулированной цели;
- обучающийся проанализировал дополнительный материал в виде основной дополнительной литературы, информации сайтов интернета;
- расчетно-графическая работа отвечает всем требованиям четкости изложения и аргументированности, объективности и логичности, грамотности и корректности;
- обучающийся сумел обосновать свою точку зрения;
- расчетно-графическая работа оформлена в соответствии с требованиями;
- автор защитил расчетно-графическую работу и успешно ответил на все вопросы преподавателя.

Расчетно-графическая работа, выполненная небрежно, без соблюдения правил, предъявляемых к ее оформлению, возвращается без проверки с указанием причин, которые доводятся обучающемуся. В этом случае работа выполняется повторно.

Критерии оценки знаний при написании расчетно-графической работы

Отметка «отлично» выставляется обучающемуся, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания вопросов работы и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Отметка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности, которые может устранить с помощью дополнительных вопросов преподавателя.

Отметка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными понятиями выносимых на расчетно-графическую работу тем, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Отметка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает большей части основного содержания выносимых на расчетно-графическую работу вопросов тем дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий и не умеет использовать полученные знания.

Обучающийся для полного освоения материала должен выполнить весь комплекс расчетно-графических работ. Получить общую среднеарифметическую оценку.

Требования к выполнению контрольной работы

Контрольная работа представляет собой один из видов самостоятельной работы обучающихся. По сути – это изложение ответов на определенные теоретические вопросы по учебной дисциплине, а также решение практических задач. Контрольные проводятся для того, чтобы развить у обучающихся способности к анализу научной и учебной литературы, умение обобщать, систематизировать и оценивать практический и научный материал, укреплять навыки овладения понятиями определенной науки и другие.

При оценке контрольной преподаватель руководствуется следующими критериями:

- работа была выполнена автором самостоятельно;
- обучающийся подобрал достаточный список литературы, который необходим для осмысления темы контрольной;

- автор сумел составить логически обоснованный план, который соответствует поставленным задачам и сформулированной цели;
- обучающийся проанализировал материал;
- контрольная работа отвечает всем требованиям четкости изложения и аргументированности, объективности и логичности, грамотности и корректности;
- обучающийся сумел обосновать свою точку зрения;
- контрольная работа оформлена в соответствии с требованиями;
- автор защитил контрольную работу и успешно ответил на все вопросы преподавателя.

Контрольная работа, выполненная небрежно, не по своему варианту, без соблюдения правил, предъявляемых к ее оформлению, возвращается без проверки с указанием причин, которые доводятся до обучающегося. В этом случае контрольная работа выполняется повторно.

Вариант контрольной работы выдается в соответствии с порядковым номером в списке студентов.

Критерии оценки знаний при написании контрольной работы

Отметка «отлично» выставляется обучающемуся, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания вопросов контрольной работы и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Отметка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности, которые может устранить с помощью дополнительных вопросов преподавателя.

Отметка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными понятиями выносимых на контрольную работу тем, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Отметка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает большей части основного содержания выносимых на контрольную работу вопросов тем дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий и не умеет использовать полученные знания.

Результаты промежуточной аттестации

Экзамен

Экзамен по дисциплине (модулю) служит для оценки работы обучающегося в течение семестра (семестров) и призван выявить уровень, прочность и систематичность полученных им теоретических и практических знаний, приобретения навыков самостоятельной работы, развития творческого мышления, умение синтезировать полученные знания и применять их в решении профессиональных задач.

Критерии оценки знаний на экзамене

Экзамен может проводиться в форме устного опроса по билетам (вопросам) или без билетов, с предварительной подготовкой или без подготовки, по усмотрению преподавателя. Экзаменатор вправе задавать вопросы сверх билета, а также, помимо теоретических вопросов, давать задачи по программе данного курса.

Экзаменационные билеты (вопросы) утверждаются на заседании кафедры и подписываются заведующим кафедрой. В билете должно содержаться не более трех вопросов. Комплект экзаменационных билетов по дисциплине должен содержать 20-25 билетов.

Экзаменатор может проставить экзамен без опроса или собеседования тем студентам, которые активно участвовали в семинарских занятиях.

Отметка «отлично» - студент глубоко и прочно усвоил весь программный материал, исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно его излагает, тесно увязывает теорию с практикой. Студент не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с задачами, заданиями и другими видами применения знаний, показывает знания законодательного и нормативно-технического материалов, правильно обосновывает принятые решения, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических работ, обнаруживает умение самостоятельно обобщать и излагать материал, не допуская ошибок.

Отметка «хорошо» - студент твердо знает программный материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, может правильно применять теоретические положения и владеет необходимыми навыками при выполнении практических заданий.

Отметка «удовлетворительно» - студент усвоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении программного материала и испытывает затруднения в выполнении практических заданий.

Отметка «неудовлетворительно» - студент не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями выполняет практические работы.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Основная литература:

1. Схиртладзе, А.Г. Сопротивление материалов. В 2-х ч. Ч.1 [Электронный ресурс]: учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Чеканин, В.В. Волков. - Москва: КУРС: ИНФРА-М, 2018. - 272 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <https://new.znanium.com/catalog/product/933939>
2. Схиртладзе, А.Г. Сопротивление материалов. В 2-х ч. Ч. 2 [Электронный ресурс]: учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Чеканин, В.В. Волков. - Москва: КУРС: ИНФРА-М, 2018. - 192 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <https://new.znanium.com/catalog/product/933947>
3. Сидорин, С.Г. Сопротивление материалов: теория, тестовые задания, примеры решения [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.Г. Сидорин, Ф.С. Хайруллин. - М. : РИОР : ИНФРА-М, 2018. - 184 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/792606>
4. Евтушенко, С.И. Сопротивление материалов: Сборник задач с решениями [Электронный ресурс]: учебное пособие / С.И. Евтушенко, Т.А. Дукмасова, Н.А. Вильбицкая. - М.: РИОР: ИНФРА-М, 2017. - 344 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/792242>
5. Атаров, Н.М. Сопротивление материалов в примерах и задачах [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.М. Атаров. - М.: ИНФРА-М, 2017. - 407 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=872437>
6. Межецкий, Г. Д. Сопротивление материалов [Электронный ресурс]: учебник / Г. Д. Межецкий, Г. Г. Загребин, Н. Н. Решетник; под общ. ред. Г. Д. Межецкого, Г. Г. Загребина. - М.: Дашков и К, 2016. - 432 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=414836>

7. Логвинов, В.Б. Сопротивление материалов. Лабораторные работы [Электронный ресурс]: учебное пособие / Логвинов В. Б., Волосухин В. А., Евтушенко С. И. - М.: РИОР, ИНФРА-М, 2016. - 212 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=537040>

8.2. Дополнительная литература:

1. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности: учебник / В.И.Андреев и др.; под ред. Г.С. Варданяна, Н.М. Атарова. - М.: ИНФРА-М, 2014. - 512 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=448729>
2. Учебно-методическое пособие по дисциплине "Сопротивление материалов" [Электронный ресурс]: для студентов технических специальностей и направлений подготовки очной и заочной форм обучения / [сост.: Саенко Н.Н., Стерехова Н.В.]. - Майкоп: Магарин О.Г., 2015. - 107 с. - Режим доступа: <http://lib.mkgtu.ru:8002/libdata.php?id=2100025092>
3. Учебное пособие по дисциплине "Сопротивление материалов" [Электронный ресурс]: для студентов технических специальностей и направлений подготовки очной и заочной форм обучения / [сост. Саенко Н.Н.]. - Майкоп: Магарин О.Г., 2013. - 168 с. – Режим доступа: <http://lib.mkgtu.ru:8002/libdata.php?id=2100025096>
4. Учебно-методическое пособие для выполнения расчетно-графических работ по курсу «Сопротивление материалов» [Электронный ресурс]: для студентов технических специальностей и направлений подготовки (очной и заочной форм обучения) / сост. А.З. Уджуху, Н.Н. Саенко, Н.В. Стерехова – Майкоп, ИП Магарин О.Г., 2011. – 75 с. - Режим доступа: <http://mark.nbmgtu.ru/libdata.php?id=1000053068>

8.3. Информационно-телекоммуникационные ресурсы сети «Интернет»

1. Образовательный портал ФГБОУ ВО «МГТУ» [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://mkgtu.ru/>
4. Научная электронная библиотека www.eLIBRARY.RU – Режим доступа: <http://elibrary.ru/>
5. Электронный каталог библиотеки – Режим доступа: <http://lib.mkgtu.ru:8004/catalog/fo12;>
6. Единое окно доступа к образовательным ресурсам: Режим доступа: <http://window.edu.ru/>
7. http://mysopromat.ru/uchebnye_kursy/sopromat/ На сайте представлены лекции, учебные и учебно-методические материалы по сопротивлению материалов.
8. [https:// www.soprotmat.ru](https://www.soprotmat.ru) На сайте представлены лекционный курс, учебно-методические материалы, олимпиадные задачи и другие материалы по курсу «Сопротивление материалов».

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Разделы лекционного курса дисциплины: Введение. Основные понятия и определения сопротивления материалов. Метод сечений. Внутренние усилия и напряжения. Центральное растяжение и сжатие. Механические характеристики материалов. Диаграмма растяжения углеродистой стали. Сдвиг и кручение. Расчет болтовых и заклепочных соединений. Кручение. Эпюры крутящих моментов. Прямой поперечный изгиб. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Напряжения при чистом и поперечном изгибе. Перемещения при изгибе. Интегрирование дифференциального уравнения упругой линии балки. Интегралы Мора. Способ Верещагина. Статически неопределимые системы при изгибе. Метод сил. Сложное сопротивление. Косой изгиб. Внецентренное растяжение и сжатие. Анализ напряженного и деформированного состояния в точке тела. Критерии прочности и пластичности. Устойчивость

продольно сжатых стержней. Пределы применимости формулы Эйлера. Продольно-поперечный изгиб. Динамическое нагружение. Расчет элементов конструкций,двигающихся с ускорением. Расчет при ударе. Оболочки. Расчет симметричных оболочек по безмоментной теории. Работа конструкции за пределами упругости. Расчет по несущей способности. Повторно-переменные нагрузки. Выносливость материала. Факторы, влияющие на предел выносливости.

Для освоения лекционного курса применяются тематические лекции и лекции-визуализации. Тематические лекции представляют студентам основные вопросы темы, практические вопросы и возникающие в связи с ними задачи, способы их решения. Основные блоки лекции, которые обязательно должен усвоить студент, конспектируются. Лекции-визуализации помогают освоить темы, как на слух, так и зрительно, что способствует лучшему усвоению материала.

Практические работы включают в себя решение практических задач на основе теоретического материала, усвоенного студентом на лекционном занятии, а также подготавливают почву для самостоятельного выполнения студентом расчетно-графической работы по соответствующей теме курса. Каждое практическое занятие и расчетно-графическая работа дополняет лекционный материал и позволяет студентам самостоятельно использовать свои знания для решения профильных задач. Для выполнения расчетно-графических работ требуются листы формата А4, со стандартной рамкой. Первый лист – титульный включает название работы – тему, данные о студенте, выполнившем работу и соответствующий вариант работы. Последующие листы - постановка задачи (проблемы) и ее решение. Каждая новая расчетно-графическая работа оформляется с нового листа. Для оформления исходных схем и схем расчета необходимы чертежные инструменты. Для грамотного выполнения работы обучающийся обязан изучить предварительно лекционный материал, соответствующую основную и дополнительную литературу, материалы практических занятий по темам. Расчетно-графические работы можно выполнять, используя современные компьютерные технологии.

Каждая выполненная работа защищается преподавателю и оценивается им.

Методические указания по изучению лекционного курса

Введение. Основные понятия и определения сопротивления материалов

Тема 1.1. Растяжение и сжатие. Расчет статически определимых систем

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Назовите предмет и задачи курса.
2. Назовите основные понятия и определения сопротивления материалов.
3. Что такое расчетная схема? Какие расчетные схемы вы знаете?
4. Для чего служит метод сечений? В чем его суть?
5. Назовите основные компоненты внутренних усилий.
6. Назовите основные компоненты напряжений.
7. Что такое простое и сложное сопротивление?
8. Что собой представляет нагрузка растяжения-сжатия?
9. Какие напряжения и деформации возникают при растяжении-сжатии?
10. Как изменится напряжение на наклонных площадках?
11. Назовите основные компоненты формулы закона Гука.
12. Как определяются удлинения стержня при растяжении-сжатии? То же в случае стержня постоянной жесткости; при действии температуры?

Тема 1.2. Механические испытания материалов

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Какие виды механических испытаний материалов вы знаете?
2. Какие испытательные машины при этом применяются?
3. Какие образцы испытываются на разрыв (соотношение размеров)?
4. Назовите характерные участки диаграммы и соответствующие механические характеристики?
5. Как строится диаграмма истинных напряжений при разрыве?
6. Назовите характеристики пластичности материала, получаемые в процессе испытаний на разрыв.

Тема 1.3. Статически неопределимые системы при растяжении и сжатии

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Какие системы являются статически определимыми, а какие – статически неопределимыми?
2. Что такое степень статической неопределимости?

3. Расскажите о методах раскрытия статической неопределимости.
4. Уравнение совместности деформаций, его суть и составление. Приведите примеры.

Тема 1.4. Сдвиг и кручение. Расчет болтовых и заклепочных соединений

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Деформация сдвига и ее развитие.
2. Напряжения при сдвиге.
3. Закон Гука для сдвига. Модуль сдвига.
4. Кручение. Правило знаков для крутящих моментов.
5. Построение эпюр крутящих моментов.
6. Формулы напряжений и деформаций при кручении.
7. Условия прочности и жесткости при кручении.
8. Какие типы деформаций и разрушений возникают при работе болтового и заклепочного соединений?
9. Какие напряжения возникают при работе болтового и заклепочного соединений?
10. Запишите формулы условий прочности и назовите компоненты, входящие в них?
11. Как подобрать необходимую толщину соединения? Диаметр болта (заклепки)?

Тема 1.5. Геометрические характеристики поперечных сечений

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Какие геометрические характеристики плоских сечений вы знаете?
2. Напишите формулы для статических моментов площади сечения. Как они изменятся при переходе к параллельным осям?
3. Что такое центр тяжести сечения? Как определить его положение?
4. Напишите формулы для моментов инерции. Как они изменятся при переходе к параллельным осям?
5. Как изменятся моменты инерции при повороте осей на некоторый угол?
6. Что такое главные оси и главные моменты инерции?
7. Как определить положение главных осей?
8. Запишите формулы для определения главных моментов инерции.

Тема 1.6. Прямой поперечный изгиб

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Что такое изгиб? Какие виды изгиба вы знаете?
2. Какие силовые факторы возникают при чистом и поперечном изгибе?
3. Запишите дифференциальные зависимости изгиба и объясните их суть.
4. Как можно использовать дифференциальные зависимости изгиба при построении эпюр?
5. Расскажите правило знаков для поперечной силы и изгибающего момента.
6. Запишите формулы для нормальных напряжений при чистом изгибе, напряжений при поперечном изгибе.
7. Как изменяется характер изгиба с появлением поперечной силы?
8. Запишите формулы условия прочности по нормальным и по касательным напряжениям.

Тема 1.7. Перемещения при изгибе. Интегрирование дифференциального уравнения упругой линии балки

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Назовите характерные перемещения при изгибе. Какие силовые факторы влияют на возникновение перемещений?
2. Как связаны угол поворота сечения и угол наклона касательной к изогнутой оси балки? Запишите это соотношение.
3. Как было получено дифференциальное уравнение упругой линии балки? Повторите этот вывод.
4. Запишите основные параметры изгибаемого стержня (кривизну оси, угол поворота, поперечную силу, изгибающий момент и интенсивность распределенной нагрузки) с помощью дифференциальных зависимостей.
5. Как определяются характерные перемещения при изгибе с помощью дифференциального уравнения упругой линии (алгоритм)?
6. Постоянные интегрирования и их физический смысл.

Тема 1.7. Перемещения при изгибе. Интегралы Мора. Способ Верещагина

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Что такое интегралы Мора и для чего они используются?
2. Как определяется обобщенное перемещение в точке, где отсутствует внешняя нагрузка?
3. Запишите формулы интегралов Мора для каждого вида нагружения.
4. Как связаны способ Верещагина и интегралы Мора?
5. Объясните суть способа Верещагина.
6. Запишите формулы площадей и положения центров тяжести для наиболее часто встречающихся эпюр.

Тема 1.8. Статически неопределимые системы при изгибе. Метод сил

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Какие системы называются статически неопределимыми?
2. Как разрешается статическая неопределимость по методу сил?
3. В чем заключается суть канонического уравнения метода сил?
4. Запишите уравнение и объясните, что собой представляет каждый его член.
5. Как определяются коэффициенты канонического уравнения метода сил?
6. Как определяются опорные реакции статически неопределимой балки?

Раздел 2. Сложное сопротивление

Тема 2.1. Косой изгиб. Тема 2.2. Внецентренное растяжение и сжатие

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Что представляет собой простое и сложное сопротивление? Приведите примеры.
2. Какой принцип применяется при рассмотрении вопросов сложного сопротивления, например напряжений и перемещений?
3. Что собой представляет косой изгиб? Какие при этом возникают усилия и напряжения?
4. Запишите формулу для определения нормальных напряжений при косом изгибе в произвольной точке сечения. Назовите входящие в нее компоненты.
5. Где возникают максимальные нормальные напряжения при косом изгибе? Как они определяются?
6. Приведите формулу положения нейтральной линии сечения при косом изгибе. В чем отличие ее от прямого поперечного изгиба?
7. Как проверить прочность сечения при косом изгибе? Запишите формулу условия прочности.
8. Что собой представляет внецентренное растяжение и сжатие?
9. Как определяются нормальные напряжения в произвольной точке сечения?
10. Где возникают максимальные напряжения в сечении? Запишите формулу максимальных напряжений.
11. Запишите формулу положения нейтральной линии при внецентренном растяжении и сжатии.
12. В чем состоит отличие положения нейтральной линии при косом изгибе и при внецентренном растяжении и сжатии? Обоснуйте свой ответ.
13. Что такое ядро сечения и в чем его особенность?
14. Запишите условие прочности при внецентренном растяжении и сжатии.

Тема 2.3. Напряженное и деформированное состояние в точке тела

Тема 2.4. Расчет по теориям прочности

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Что представляет собой напряженное состояние в точке тела? Нарисуйте схему.
2. Что такое главные площадки и главные напряжения?
3. Как определяется тип напряженного состояния? Приведите схемы.
4. Запишите формулы определения главных напряжений.
5. Что такое тензор напряжения? Запишите его, выражая через неглавные и главные напряжения.
6. Что представляет собой деформированное состояние в точке тела?
7. Что такое главные деформации?
8. Запишите тензор деформации, выраженный через неглавные и главные деформации.
9. Как определяются главные деформации в случае плоского деформированного состояния?
10. Чем определяется возникновение критического состояния для разнообразных материалов?
11. Что такое эквивалентное напряженное состояние? Как его описывают?
12. Расскажите суть каждой из теорий прочности. Приведите формулы условий прочности.
13. Какие критерии являются критериями прочности, а какие – пластичности?

14. Какие из рассмотренных теорий дают наиболее близкие к теоретическим прогнозам результаты?
15. Запишите формулы условий наступления критического состояния, формулы условия прочности и расчетных моментов по III и IV теориям прочности.
16. Приведите пример применения критериев прочности и пластичности.

Раздел 3. Устойчивость элементов конструкций

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Почему необходим расчет на устойчивость помимо расчета на прочность и жесткость?
2. Для какого стержня выведена формула Эйлера? Запишите ее.
3. Что собой представляет критическая сила? Каким образом получена формула?
4. Как закрепление концов стержня влияет на величину критической силы? Что такое приведенная длина? Коэффициент приведения? Запишите примеры.
5. Запишите формулу критической силы, применимую для стержня с любым закреплением концов.
6. В каких пределах применима формула Эйлера?
7. Что такое критическое напряжение? Запишите формулу.
8. Что такое гибкость стержня? Предельная гибкость стержня?
9. Как определяется критическая сила и напряжение за пределами применимости формулы Эйлера? Приведите примеры.

Тема 4.1 Продольно-поперечный изгиб

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Что представляет собой продольно-поперечный изгиб?
2. Назовите основные характеристики продольно-поперечного изгиба.
3. Чем отличается определение момента при поперечном изгибе и при продольно-поперечном изгибе?
4. Запишите дифференциальное уравнение продольно-поперечного изгиба.
5. В каком виде получается решение дифференциального уравнения продольно-поперечного изгиба?
6. Запишите формулу напряжения при продольно-поперечном изгибе, и формулу условия прочности.

Раздел 5. Динамическое нагружение

Тема 5.1. Расчет элементов конструкций,двигающихся с ускорением

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Что представляет собой динамическая нагрузка?
2. Какова особенность динамического нагружения по сравнению со статическим?
3. Опишите принцип Даламбера и его применение.
4. Запишите формулу динамического коэффициента при равноускоренном движении элементов конструкций.
5. Расскажите принцип определения различных характеристик динамического нагружения с использованием динамического коэффициента.

Тема 5.2. Расчет при ударном действии нагрузки

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Назовите основные характеристики ударного взаимодействия.
2. Назовите основные допущения, принимаемые при рассмотрении удара.
3. Что представляет собой динамический коэффициент при ударе?
4. Запишите уравнение изменения кинетической энергии при ударе и охарактеризуйте входящие в него компоненты.
5. Запишите формулу динамического коэффициента при ударе.
6. Что собой представляет величина $\lambda_{\text{стат}}$ в выражении динамического коэффициента при ударе?
7. Запишите возможные выражения для определения динамического коэффициента и назовите входящие в них компоненты.

Раздел 6. Тема 6.1. Расчет элементов конструкций за пределами упругости

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Назовите стадии, проходимые балкой до исчерпания несущей способности.

2. Охарактеризуйте диаграмму Прандтля, используемую при решении задачи об определении несущей способности.
3. Запишите и сравните формулы предельных моментов при расчете по допускаемым напряжениям и предельному состоянию.
4. Что такое пластический шарнир? Что такое пластический механизм?
5. Запишите формулу пластического момента сопротивления и сравните его с осевым моментом сопротивления.
6. Как изменяется эпюра нормального напряжения при прохождении балкой всех стадий до исчерпания несущей способности?

Раздел 7. Тема 7.1 Оболочки

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Что такое оболочки? Какие параметры оболочек используются при расчете?
2. Какие оболочки называются симметричными? В чем особенность расчета по безмоментной теории?
3. Формула Лапласа и компоненты, входящие в нее.
4. Расчет сферических сосудов, нагруженных внутренним давлением.
5. Расчет цилиндрических сосудов, нагруженных внутренним давлением

Раздел 8. Тема 8.1 Повторно-переменное действие нагрузки

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Опишите характер разрушения элементов конструкции по причине усталости.
2. Что является причиной возникновения усталостного разрушения?
3. Запишите основные характеристики цикла.
4. Как определяется предел выносливости? Опишите диаграмму и порядок ее построения.
5. Какие факторы влияют на величину предела выносливости и как?
6. Опишите порядок выполнения расчета на прочность при циклических нагрузках.

Методические указания к расчетно-графическим работам Расчетно-графическая работа № 1

Статически неопределимые системы при растяжении и сжатии.

Необходимые данные для расчёта взять из Таблицы 1.4 и рисунка 1.11.

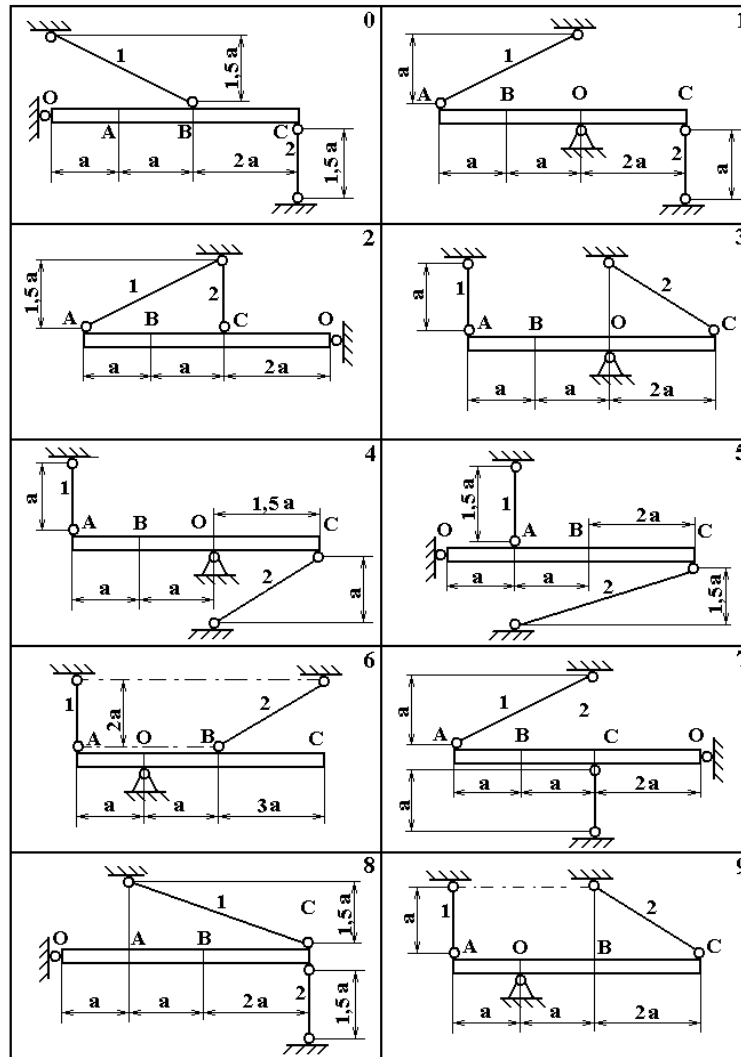


Рисунок 1.11 – Схемы конструкций

Абсолютно жесткий брус опирается на шарнирно-неподвижную опору и прикреплен к двум стержням с равным поперечным сечением. Сечение стержней указано в Таблице 1.4, согласно варианту. Модуль упругости материала стержней $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, коэффициент линейного расширения $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/град}$. Коэффициент запаса прочности принять $n=2$.

Требуется:

1. Вычислить допускаемую нагрузку $[Q]$, приняв большее из напряжений за допускаемое $[\sigma]$.
2. Вычислить допускаемую нагрузку по предельному состоянию $[Q]_{\text{пр}}$.
3. Сравнить полученные результаты.
4. Вычислить монтажные напряжения в обоих стержнях, если длина второго стержня отличается от номинальной на величину δ_2 .
5. Вычислить напряжения в обоих стержнях, если температура первого стержня изменится на величину Δt_1 .
6. Вычислить напряжения в обоих стержнях от совместного действия нагрузки, неточности изготовления второго стержня и изменение температуры первого стержня.

Таблица 1.4

| Номер варианта | a м | Сечение стержней | Точка приложения силы Q | δ_2 , мм | Δt_1 , | σ_T , МПа |
|----------------|-----|------------------|-------------------------|-----------------|----------------|------------------|
| 0 | 0,4 | Д №14 | A | 2 | -40 | 280 |
| 1 | 0,5 | Ш №14 | -B | -1,5 | 20 | 250 |

| | | | | | | |
|---|-----|-------|----|------|-----|-----|
| 2 | 0,6 | Д №16 | С | 2,5 | 50 | 280 |
| 3 | 0,7 | Ш №16 | А | -3 | -30 | 300 |
| 4 | 0,6 | Д №18 | -В | 2,5 | -60 | 240 |
| 5 | 0,8 | Ш №18 | -С | -4 | -70 | 400 |
| 6 | 0,8 | Д №20 | В | -1,5 | 55 | 320 |
| 7 | 1,0 | Ш №22 | -С | 2,5 | 40 | 360 |
| 8 | 1,2 | Д №24 | -А | -3,5 | -45 | 400 |
| 9 | 1,3 | Ш №24 | В | 4 | 35 | 320 |

Примечания:

1. Д - двутавр; Ш - швеллер;
2. Знак «-» в графе «Точка приложения силы Q» означает направление силы Q снизу вверх; в противном случае - сверху вниз.
3. Знак «-» в графах δ_2 и Δt_1 означает, что стержень укорачивается.

Пример решения задачи 1.4

Абсолютно жесткий брус опирается на шарнирно-неподвижную опору и прикреплен к двум стержням с равным поперечным сечением (рис. 1.12). Площадь сечения стержней $A=35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Модуль упругости материала стержней $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, коэффициент линейного расширения материала $\alpha=12 \cdot 10^{-6} \text{ 1/град}$, $a=0,5 \text{ м}$. Допускаемое напряжение материала

$$[\sigma] = \frac{\sigma_m}{n} = \frac{320}{2} = 160 \text{ МПа.}$$

Требуется:

1. Вычислить допускаемую нагрузку [Q], приняв большее из напряжений за допускаемое $[\sigma]$.

2. Вычислить допускаемую нагрузку по предельному состоянию $[Q]_{\text{пр}}$.

3. Сравнить полученные результаты.

4. Вычислить монтажные напряжения в обоих стержнях, если длина второго стержня меньше номинальной длины на величину $\delta_2=-3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

5. Вычислить напряжения в обоих стержнях, если температура первого стержня изменится на величину $\Delta t_1=30^\circ\text{C}$.

6. Вычислить напряжения в обоих стержнях от совместного действия нагрузки, неточности изготовления второго стержня и изменения температуры первого стержня.

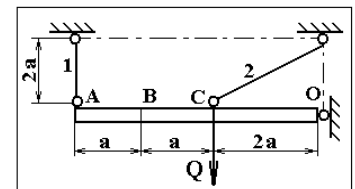


Рис. 1.12

Решение

1. Вычислить допускаемую нагрузку [Q], приняв большее из напряжений в стержнях за допускаемое $[\sigma]$.

Составляем расчетную схему (рис. 1.13). Под действием силы Q брус OA повернется вокруг шарнира O на некоторый угол. Стержни 1 и 2 вследствие этого растянутся. Как результат этого, появятся внутренние силы N_1 и N_2 . Составим уравнение моментов относительно точки O:

$$\sum M_O(F_k) = 0. \tag{1.23}$$

$$Q \cdot 2a - N_1 \cdot 4a - N_2 \cdot 2a \cdot \sin \alpha = 0.$$

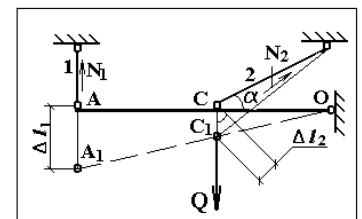


Рис. 1.13

При неизвестных реактивных усилиях N_1 , N_2 , R_{ox} , R_{oy} и трех уравнений статики (плоская система сил), заданная стержневая система является статически неопределимой, и степень статической неопределимости (ССН) определяется:

$$\text{ССН} = m - n, \tag{1.24}$$

где m – количество неизвестных реакций, а n – количество уравнений равновесия для данной системы сил. Таким образом, $\text{ССН} = 4 - 3 = 1$, то есть для решения данной задачи необходимо составить еще одно дополнительное уравнение, называемое уравнением совместности деформаций.

Составляем уравнение совместности деформаций. Из подобия треугольников OAA_1 и OCC_1 имеем:

$$\frac{AA_1}{CC_1} = \frac{OA}{OC} \tag{1.25}$$

$AA_1 = \Delta l_1$, $CC_1 = \frac{\Delta l_2}{\sin \alpha}$. То есть:

$$\frac{\Delta l_1 \cdot \sin \alpha}{\Delta l_2} = \frac{4}{2} = 2 \quad (1.26)$$

По закону Гука имеем:

$$\Delta l_1 = \frac{N_1 l_1}{EA}; \quad \Delta l_2 = \frac{N_2 l_2}{EA}. \quad (1.27)$$

Длину второго стержня определяем по теореме Пифагора:

$$l_2 = \sqrt{(2a)^2 + (2a)^2} = 1,414 \text{ м}$$

Подставляем значения удлинений в уравнение (1.26):

$$\frac{N_1 l_1 \cdot \sin \alpha}{EA} = \frac{2 \cdot N_2 l_2}{EA}.$$

Изменением угла α пренебрегаем, так как перемещение CC_1 значительно меньше, чем длина балки. Тогда,

$$\sin \alpha = \frac{2a}{\sqrt{(2a)^2 + (2a)^2}} = 0,707.$$

Окончательно имеем:

$$N_1 = \frac{2 \cdot N_2 \cdot 1,414}{0,707} = 4 \cdot N_2.$$

Из этого выражения видно, что $N_1 > N_2$. Соответственно, напряжения в первом стержне σ_1 больше, чем напряжения во втором σ_2 . Поэтому, максимальные напряжения по абсолютному значению будут в первом стержне: $\sigma_1 = [\sigma]$ и

$$N_1 = [\sigma] \cdot A = 160 \cdot 10^6 \cdot 35 \cdot 10^{-4} = 560000 \text{ Н} = 560 \text{ кН}.$$

Значение $N_2 = \frac{N_1}{4} = \frac{560}{4} = 140 \text{ кН}$.

Найдем напряжения в обоих стержнях:

$$\sigma_1 = [\sigma] = 160 \text{ МПа}; \quad \sigma_2 = [\sigma]/4 = 40 \text{ МПа}.$$

Оба стержня растянуты.

Подставим значения сил N_1 и N_2 в уравнение (1.23) и определим значение $[Q]$:

$$[Q] = 2N_1 + N_2 \cdot \sin \alpha = 2 \cdot 560 + 140 \cdot 0,707 = 1219 \text{ кН}.$$

2. Вычислить допускаемую нагрузку по предельному состоянию $[Q]_{пр}$.

Предельное состояние будет возникать, если напряжения в стержнях будут равны предельным, то есть пределу текучести σ_T :

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_T \quad (1.28)$$

Составляем уравнение предельного равновесия:

$$\sum M_o(F_k) = 0.$$

$$Q^0 \cdot 2a - N_1^0 \cdot 4a - N_2^0 \cdot 2a \cdot \sin \alpha = 0. \quad (1.29)$$

Предельные усилия в каждом из стержней:

$$N_1^0 = N_2^0 = \sigma_0 \cdot A. \quad (1.30)$$

Решаем относительно предельной нагрузки для системы:

$$Q^0 = N_1^0 \cdot 2 + N_2^0 \sin \alpha.$$

Допускаемая нагрузка по предельному состоянию $[Q]_{пр}$ определяется как:

$$[Q]_{пр} = \frac{Q^0}{n} = \frac{N_1^0 \cdot 2 + N_2^0 \sin \alpha}{n} = [\sigma] \cdot A \cdot (2 + \sin \alpha), \quad (1.31)$$

где n – коэффициент запаса прочности, тогда

$$\begin{aligned} [Q]_{пр} &= 160 \cdot 10^6 \cdot 35 \cdot 10^{-4} \cdot 2,707 = 1515,9 \cdot 10^3 \text{ Н} \\ [Q]_{пр} &= 1515,9 \text{ кН}. \end{aligned}$$

3. Сравнить полученные результаты.

Определяем погрешность между расчетами:

$$\delta = \frac{[Q]_{пр} - [Q]}{[Q]} \cdot 100\% = 24,4\%.$$

Таким образом, расчет по предельному состоянию позволяет увеличить допускаемую нагрузку на 24,4 %.

4. Вычислить монтажные напряжения в обоих стержнях, если длина второго стержня отличается от номинальной на величину $\delta_2=3$ мм (без учета нагрузки Q).

Исходная схема представлена на рисунке 1.14.

Составляем расчетную схему (рис. 1.15). С учетом укорочения стержня 2 точка С должна совпасть с точкой Е, если бы не было стержня 1. Сопротивление первого стержня приводит к тому, что точка А занимает положение А₁. В связи с этим, в стержнях появляются внутренние усилия N₁ и N₂. Составим уравнение статики:

$$\sum M_O(F_k) = 0.; N_1 \cdot 4a - N_2 \cdot 2a \cdot \sin \alpha = 0 \quad (1.32)$$

Из этого уравнения следует, что:

$$N_1 = \frac{2 \cdot \sin \alpha}{4} = 0,3535 \cdot N_2$$

Составляем уравнение совместности деформаций. Из подобия треугольников AA₁O и CC₁O имеем:

$$\frac{AA_1}{CC_1} = \frac{OA}{OC}; CC_1 = CA - C_1A;$$

$$AA_1 = \Delta l_1; CE = \frac{\delta_2}{\sin \alpha}; C_1E = \frac{\Delta l_2}{\sin \alpha}, \text{ следовательно } \frac{\Delta l_1 \cdot \sin \alpha}{(\delta_2 - \Delta l_2)} =$$

2.

По закону Гука: $\Delta l_1 = \frac{N_1 l_1}{EA}; \Delta l_2 = \frac{N_2 l_2}{EA}$, тогда

$$\frac{N_1 \cdot l_1 \cdot \sin \alpha}{EA} = 2 \cdot \left(\delta_2 - \frac{N_2 \cdot l_2}{EA} \right)$$

Решая совместно уравнения, получим:

$$N_1 = \frac{2 \cdot (\delta_2 \cdot EA - N_2 \cdot l_2)}{l_1 \cdot \sin \alpha} = \frac{2 \cdot \delta_2 \cdot EA - 2 \cdot 2,829 N_1 \cdot l_2}{l_1 \cdot \sin \alpha}$$

$$N_1 = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 35 \cdot 10^{-4}}{12,32} = 341020H$$

N₁=341,02 кН; N₂=964,7 кН

1 стержень сжат; 2 – растянут.

Определим напряжения:

$\sigma_1 = -97,4$ МПа; $\sigma_2 = 275,6$ МПа.

5. Вычислить напряжения в обоих стержнях, если температура первого стержня изменится на величину $\Delta t_1=50^\circ$.

Исходная схема дана на рисунке 1.16.

Составим расчетную схему (рис. 1.17). С учетом удлинения стержня 1 точка А должна совпасть с точкой Е, если бы не было стержня 2. Сопротивление второго стержня приводит

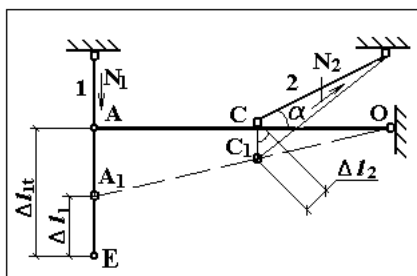


Рис. 1.17

к тому, что точка А занимает положение А₁. В связи с этим, в стержнях появляются внутренние усилия N₁ и N₂. Составим уравнение статики:

$$\sum M_O(F_k) = 0.; N_1 \cdot 4a - N_2 \cdot 2a \cdot \sin \alpha = 0$$

Из этого уравнения следует, что:

$$N_1 = 0,3535 \cdot N_2$$

Составляем уравнение совместности деформаций. Из подобия треугольников AA₁O и CC₁O имеем:

$$\frac{AA_1}{CC_1} = \frac{OA}{OC}; AA_1 = AE - A_1E; A_1E = \Delta l_1; AE = \Delta l_{it}; \Delta l_{it} = \alpha \cdot \Delta t \cdot l_1, a$$

$$\tilde{N} \tilde{N}_1 = \frac{\Delta l_2}{\sin \alpha}.$$

По закону Гука: $\Delta l_1 = \frac{N_1 l_1}{EA}; \Delta l_2 = \frac{N_2 l_2}{EA}$. Решая совместно получим:

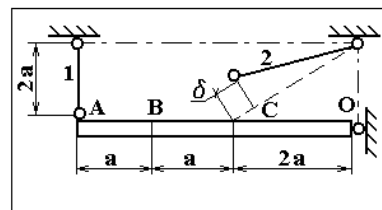


Рис. 1.14

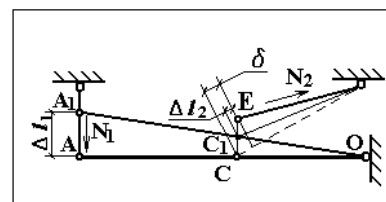


Рис. 1.15

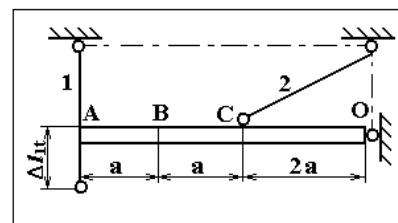


Рис. 1.16

$$\frac{(\Delta l_{1t} - \Delta l_1) \cdot \sin \alpha}{\Delta l_2} = 2$$

$$2\Delta l_2 + \Delta l_1 \cdot \sin \alpha = l \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot \sin \alpha$$

$$N_2 = \frac{E \cdot A \cdot l_1 \cdot \alpha \cdot \Delta t}{2 \cdot l_2 + 0,3535 \cdot l_1 \cdot \sin \alpha}$$

$N_1=48,24$ кН; $N_2=136,5$ кН.

1 стержень сжат; 2 – растянут.

Определим напряжения:

$\sigma_1=-13,78$ МПа; $\sigma_2=39$ МПа.

6. Вычислить напряжения в обоих стержнях от совместного действия нагрузки, неточности изготовления второго стержня и изменения температуры первого стержня.

Для удобства сведем результаты расчетов в таблицу 1.5.

Таблица 1.5

| Фактор, вызывающий напряжения | Напряжения, МПа | |
|--------------------------------------|-----------------|------------|
| | 1 стержень | 2 стержень |
| Нагрузка [Q]=1219 кН | 160 | 40 |
| Неточность изготовления 2-го стержня | -97,4 | +275,6 |
| Изменение температуры 1-го стержня | -13,78 | +39 |
| Суммарные напряжения | 48,82 | 354,6 |

Из таблицы видно, что при данной схеме нагружения, сочетание всех трех факторов является благоприятным для первого стержня (итоговое напряжение меньше допускаемого) и неблагоприятным – для второго стержня, который, скорее всего, разрушится (его итоговое напряжение значительно больше допускаемого).

Расчетно-графическая работа № 2

Определение геометрических характеристик составного сечения. Согласно номеру и схеме задания (рис. 2.1), табл. 2.1, определить положение главных центральных осей и главные моменты инерции сечения. Схему расположения ЦТ и главных центральных осей сечения выполнить на листах миллиметровой бумаги в масштабе (1:1 или 1:2).

Таблица 2.1

| № условия | Составляющие элементы сечения | | | |
|-----------|-------------------------------|-------------------|---------------------|--------|
| | Швеллер | Уголок равнобокий | Уголок неравнобокий | Лист |
| 0 | №16 | 100x100x10 | 160x100x12 | 180x20 |
| 1 | №20 | 120x120x12 | 110x70x8 | 300x16 |
| 2 | №18 | 100x100x12 | 180x110x10 | 260x10 |
| 3 | №22 | 160x160x12 | 140x90x10 | 300x12 |
| 4 | №24 | 140x140x12 | 160x100x14 | 360x20 |
| 5 | №20a | 120x120x15 | 160x100x12 | 320x16 |
| 6 | №18a | 100x100x14 | 160x100x12 | 300x16 |
| 7 | №16a | 125x125x12 | 125x80x10 | 250x12 |
| 8 | №18 | 100x100x12 | 140x90x10 | 260x16 |
| 9 | №14 | 125x125x10 | 110x70x8 | 240x10 |

Примечание. Если в составе сечения отсутствует какой-либо из профилей, то данные из таблицы, относящиеся к нему, игнорируются, а учитываются только присутствующие элементы.

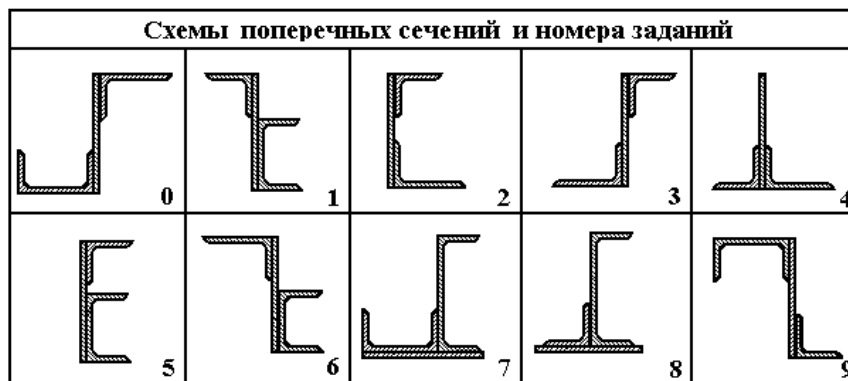


Рисунок 2.1

Пример выполнения задачи 2

Для неравнополочного уголка 100×63×10 полосы 220×14 и швеллера №18 (рис. 2.2) определить положение главных центральных осей и величину главных моментов инерции.

Решение

Из сортамента выбираем параметры сечения Таблица 2.2.

Показываем центры тяжести сечений C_1 , C_2 и C_3 , проводим центральные оси для каждого сечения

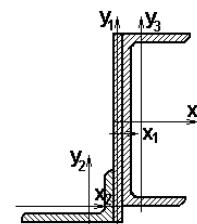


Рис. 2.2

Таблица 2.2

| Параметры сечения | Элементы сечения | | |
|---|------------------|-------------------------------------|------------------|
| | Полоса 220×14 №1 | Уголок неравнополочный 100×65×10 №2 | Швеллер №18 №3 |
| Площадь A , $см^2$ | 30,8 | 15,67 | 20,7 |
| Моменты инерции J_x , $см^4$ | 1242 | 51,68 | 1090 |
| Моменты инерции J_y , $см^4$ | 5 | 155,52 | 86 |
| Расстояние до центра тяжести x_0 , $см$ | На оси симметрии | 3,37 | 1,94 |
| Расстояние до центра тяжести y_0 , $см$ | На оси симметрии | 1,64 | На оси симметрии |
| Центробежный момент инерции J_{xy} , $см^4$ | 0 | 51,18 | 0 |

Моменты инерции полосы рассчитываем как для прямоугольника:

$$I_x = \frac{bh^3}{12} = \frac{1,4 \cdot 22^3}{12} = 1242 см^4$$

$$I_y = \frac{hb^3}{12} = \frac{22 \cdot 1,4^3}{12} = 5 см^4$$

Выбираем в качестве вспомогательных осей центральные оси полосы. Тогда, координаты центров тяжести сечений 1, 2 и 3 относительно выбранных осей:

$C_1(0;0)$; $C_2(-3,37;0,7)$; $C_3(1,94;0,7)$ то есть $C_1(0;0)$; $C_2(-4,07; -0,936)$; $C_3(2,64; 2)$

Определяем координаты центра тяжести сечения в этих осях по формулам [1]:

$$y_c = \frac{S_x}{A} = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}, \quad x_c = \frac{S_y}{A} = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i} \quad (2.1)$$

$$x_c = \frac{15,67 \cdot (-4,07) + 20,7 \cdot 2,64}{30,8 + 20,7 + 15,67} = -0,14 \text{ см}; \quad y_c = -\frac{15,67 \cdot (-9,36) + 20,7 \cdot 2}{30,8 + 20,7 + 15,67} = -1,57 \text{ см}.$$

Отложив полученные значения от осей x_1, y_1 , находим положение центра тяжести сечения (рис. 2.3).

Проводим центральные оси сечения X, Y . Положение центров тяжести элементов сечения C_1, C_2 и C_3 относительно этих осей запишутся следующим образом:

$C_1(0,14; 1,57), C_2(-4,07-0,14; -9,36-1,57), C_3(2,64+0,14; 2+1,57)$, то есть $C_1(0,14; 1,57), C_2(-3,93; -7,79), C_3(2,78; 3,57)$

Находим осевые и центробежные моменты инерции сечения относительно центральных осей X, Y по формулам: $J_X = \sum J_{x_i} + a_i^2 \cdot A_i$; $J_Y = \sum J_{y_i} + b_i^2 \cdot A_i$;

$$J_{XY} = \sum J_{x_i y_i} + a_i \cdot b_i \cdot A_i. \quad (2.2)$$

причем здесь $a_i = y_i$ и $b_i = x_i$.

$$J_X = 1242 + 1,57^2 \cdot 30,8 + 51,68 + (-7,79)^2 \cdot 15,67 + 1090 + 3,57^2 \cdot 20,7 = 3674 \text{ см}^4$$

$$J_Y = 5 + 0,14^2 \cdot 30,8 + 155,52 + (-3,93)^2 \cdot 15,67 + 86 + 2,78^2 \cdot 20,7 = 649 \text{ см}^4$$

$$J_{XY} = 0 + 0,14 \cdot 1,57 \cdot 30,8 + 51,18 + (-3,93) \cdot (-7,79) \cdot 15,67 + 0 + 2,78 \cdot 3,57 \cdot 20,7 = 743 \text{ см}^4$$

$$J_{XY} = 0 + 0,14 \cdot 1,57 \cdot 30,8 + 51,18 + (-3,93) \cdot (-7,79) \cdot 15,67 + 0 + 2,78 \cdot 3,57 \cdot 20,7 = 743 \text{ см}^4$$

Вычисляем значения главных центральных моментов инерции сечения по формулам [1]:

$$J_{\frac{\max}{\min}} = \frac{J_X + J_Y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(J_X - J_Y)^2 + 4 \cdot J_{XY}^2} \quad (2.3)$$

$$J_{\frac{\max}{\min}} = \frac{3674 + 649}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(3674 - 649)^2 + 4 \cdot 743^2} = 2161,5 \pm 1685,1 \text{ см}^4$$

или окончательно $J_{\max} = 3846,6 \approx 3847 \text{ см}^4$;

$$J_{\min} = 476,4 \approx 476 \text{ см}^4.$$

Определяем положение главных центральных осей по формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = -\frac{J_{XY}}{J_{\max} - J_Y}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = -\frac{743}{3847 - 649} = -0,232, \quad \alpha_1 = -13,08 \text{ или } \alpha_1 = -13^{\circ}5'$$

Положительные углы откладываются от оси X против хода часовой стрелки, а отрицательные – по ходу часовой стрелки. Напомним, что угол α_1 - это угол между осью X и осью, относительно которой момент инерции равен J_{\max} (рис. 1.3).

Рисунок 2.3

Выполняем проверку правильности вычислений:

$$J_x + J_y = J_{\max} + J_{\min},$$

$$674 + 649 = 3847 + 476$$

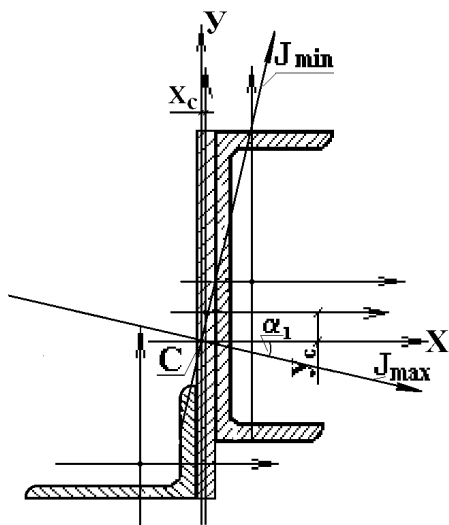
$$4323 = 4323$$

Правая часть равна левой, следовательно, вычисления выполнены верно.

Выполняем чертеж сечения в масштабе, либо в натуральную величину (см. рис. 2.3) на миллиметровой бумаге формата А4, с нанесенными главными центральными осями сечения и указанными расчетными величинами x_c, y_c .

Расчетно-графическая работа № 3

Статически определимые системы при кручении. К стальному валу приложены 4 крутящих момента: M_1, M_2, M_3, M_4 . Требуется:



1. построить эпюру крутящих моментов;
 2. при заданном значении допускаемого напряжения $[\tau]$ определить диаметр вала d из расчёта на прочность и округлить его значение до ближайшего большего, равного: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 мм;
 3. построить эпюру углов закручивания φ ;
 4. найти наибольший относительный угол закручивания γ (на 1 м).
- Данные для расчёта взять из Таблицы 3.1 и рис. 3.2.

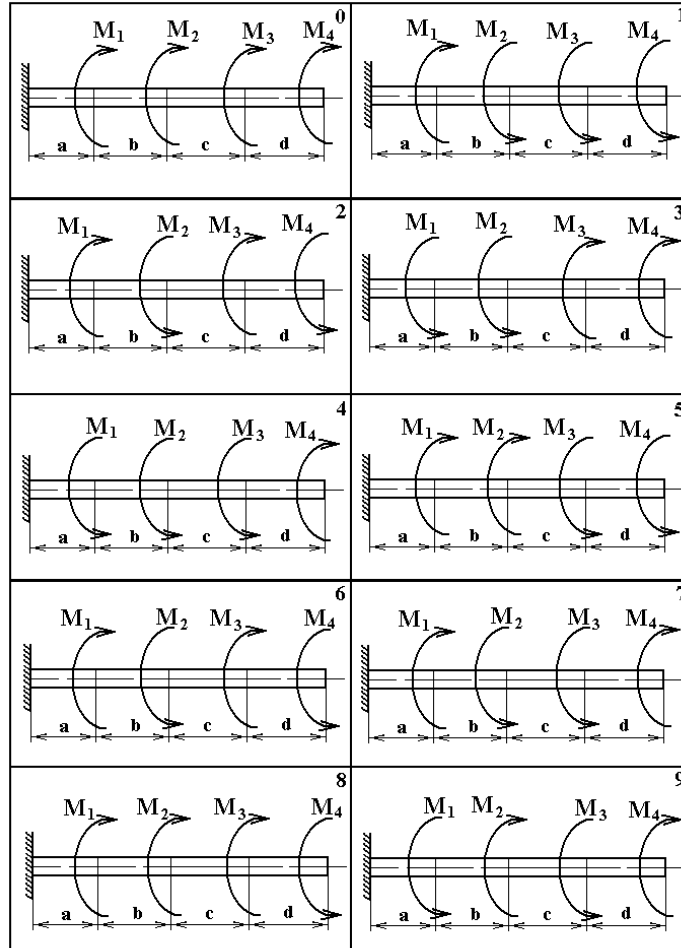


Рисунок 3.2

Таблица 3.1

| Номер варианта | Расстояния (м) | | | | Крутящие моменты (Н·м) | | | | [τ] МПа |
|----------------|----------------|-----|-----|-----|------------------------|-------|-------|-------|-------------------|
| | a | b | c | d | M_1 | M_2 | M_3 | M_4 | |
| 0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 0,7 | 1100 | 800 | 1000 | 1200 | 55 |
| 1 | 1,2 | 1,3 | 0,9 | 0,8 | 1200 | 950 | 2000 | 1300 | 60 |
| 2 | 0,6 | 1,1 | 1,2 | 1,0 | 1300 | 700 | 1950 | 1400 | 65 |
| 3 | 1,5 | 1,6 | 0,8 | 1,1 | 1400 | 600 | 1750 | 750 | 70 |
| 4 | 1,6 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 1500 | 1900 | 1550 | 1050 | 75 |
| 5 | 1,0 | 0,8 | 1,7 | 0,5 | 1600 | 1750 | 1100 | 900 | 80 |
| 6 | 1,7 | 1,8 | 1,5 | 1,6 | 1700 | 1500 | 1200 | 1000 | 85 |
| 7 | 1,8 | 0,7 | 1,4 | 1,3 | 1800 | 1400 | 1350 | 1500 | 90 |
| 8 | 1,9 | 2,0 | 1,1 | 1,9 | 1900 | 1650 | 1450 | 2000 | 90 |
| 9 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,7 | 2000 | 1000 | 1550 | 1650 | 100 |

Пример решения задачи 3.1

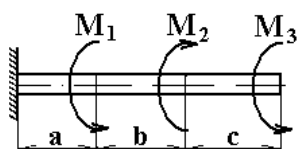


Рис. 3.1.

К стальному валу приложены три крутящих момента: $M_1=5$ кН·м, $M_2=4$ кН·м, $M_3=0,5$ кН·м (рис. 3.2). Размеры вала $a=1,1$ м; $b=0,8$

$m; c=1,3$ м. Допускаемое касательное напряжение $[\tau]=45$ МПа. Требуется:

1. построить эпюру крутящих моментов;
2. при заданном значении допускаемого касательного напряжения $[\tau]$ определить диаметр вала d из расчёта на прочность;
3. построить эпюру углов закручивания;
4. найти наибольший относительный угол закручивания (на 1 м).

Решение

1. Покажем расчётную схему (рис. 3.3). Реакцию в заделке определять не нужно, поскольку, используя метод сечений, можно при движении справа налево постоянно отбрасывать левую часть. Вал имеет три силовых участка. Рассмотрим равновесие каждого из этих участков.

I участок $0 \leq z_1 < c$;

$$M(z_1) = M_3;$$

Так как момент на участке постоянный (не зависит от длины участка), то

$$M(0) = M(1,3) = 0,5 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

II участок $0 \leq z_2 < b$;

$$M(z_2) = M_3 - M_2$$

Так как момент на участке постоянный (не зависит от длины участка), то

$$M(0) = M(0,8) = -3,5 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

III участок $0 \leq z_3 < a$;

$$M(z_3) = M_3 - M_2 + M_1$$

Так как момент на участке постоянный (не зависит от длины участка), то

$$M(0) = M(1,1) = 1,5 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

2. Как видно из эпюры (рис. 3.3), по абсолютной величине максимальным является момент на *II* участке: $M_{\max} = 3,5$ кН·м. По этому моменту будем рассчитывать диаметр вала по формуле [2]:

$$\tau = \frac{M_{\max}}{W_p} \leq [\tau], \quad (3.1)$$

где W_p – полярный момент сопротивления.

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16} \quad (3.2)$$

С учётом (3.2) выразим диаметр d из (3.1):

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{\max}}{\pi \cdot [\tau]}} = 4,27 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 42,7 \text{ мм} \quad (3.3)$$

Согласно стандартному ряду принимаем $d=50$ мм.

3. При построении эпюр углов закручивания будем использовать формулы [2]:

$$\text{Для углов закручивания: } \varphi = \frac{M \cdot l}{G \cdot J_p} \quad (3.4)$$

Для относительных углов закручивания:

$$\gamma = \frac{M}{G \cdot J_p} \quad (3.5)$$

где M – крутящий момент на данном участке;

l – длина данного участка;

G – модуль упругости при сдвиге, для стали $G = 8 \cdot 10^4$ МПа;

J_p – полярный момент инерции.

$$J_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32} = 62,5 \text{ см}^4.$$

Эпюру углов закручивания необходимо строить с места заземления балки, так как в этом месте угол закручивания φ известен ($\varphi=0$), то есть с участка *III* (рис. 3.4).

III участок $0 \leq z_3 < a$;

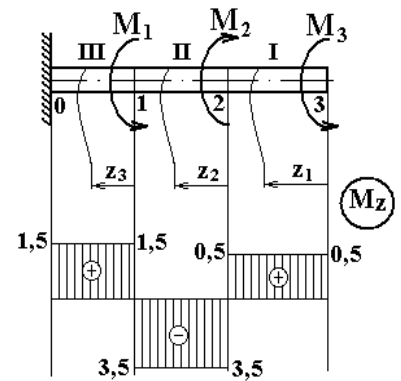


Рис. 3.3.

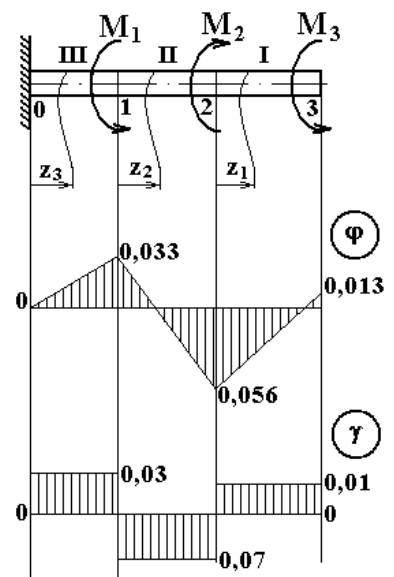


Рис. 3.4

$$\varphi(z_3) = \frac{M(z_3) \cdot z_3}{G \cdot J_p}; \quad \varphi(0)=0; \quad \varphi(1,1)=0,033 \text{ рад}$$

$$\gamma(z_3) = \frac{M(z_3)}{G \cdot J_p}; \quad \gamma(0)=\gamma(1,1)=0,03 \text{ рад/м}$$

II участок $0 \leq z_2 < b$;

$$\varphi(z_2) = \frac{M(z_2) \cdot z_2}{G \cdot J_p}; \quad \varphi(0)=0,033 \text{ рад}; \quad \varphi(0,8)=-0,056 \text{ рад}$$

$$\gamma(z_2) = \frac{M(z_2)}{G \cdot J_p}; \quad \gamma(0)=\gamma(0,8)=-0,07 \text{ рад/м}$$

I участок $0 \leq z_1 < c$;

$$\varphi(z_1) = \frac{M(z_1) \cdot z_1}{G \cdot J_p}; \quad \varphi(0)=0,056 \text{ рад}; \quad \varphi(1,3)=0,013 \text{ рад}$$

$$\gamma(z_1) = \frac{M(z_1)}{G \cdot J_p}; \quad \gamma(0)=\gamma(1,3)=0,013 \text{ рад/м}$$

Наибольший относительный угол закручивания – на втором участке: $\gamma = -0,07 \text{ рад/м}$

Расчетно-графическая работа № 4

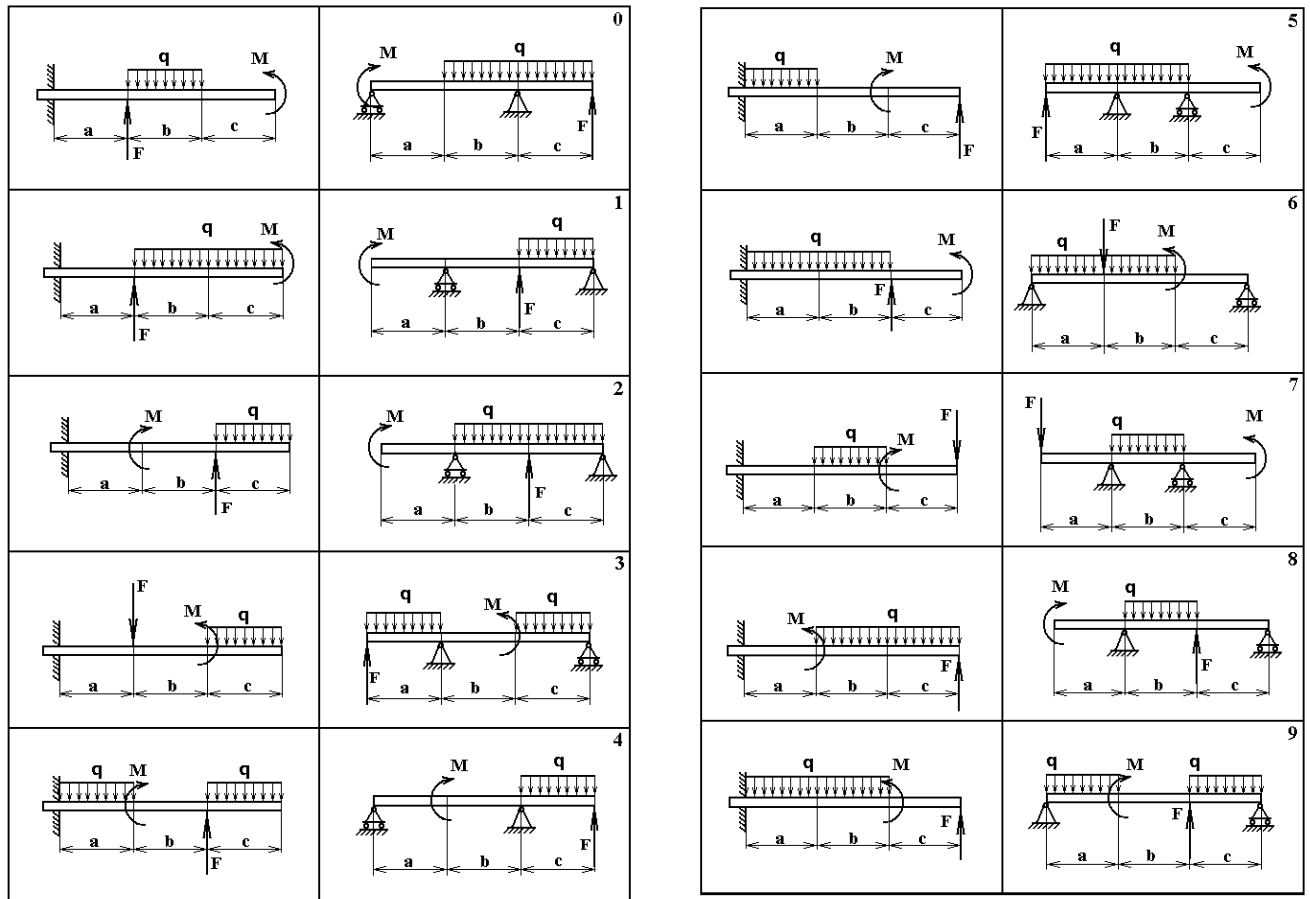


Рисунок 4.1 – Схемы балок и нагрузки

Изгиб. Построение эпюр Для заданных двух схем балок (рис. 4.1) необходимо написать выражения M и Q для каждого участка в общем виде и, построить эпюры M и Q . Требуется:

1. Подобрать для схем (а) и (б) балку круглого, прямоугольного (отношение сторон $h/b=2$), кольцевого (отношение диаметров $s=0.7$), двутаврового сечений при заданном $[\sigma]$;

2. Сравнить площади поперечных сечений и сделать вывод о том, какая форма наиболее рациональна.

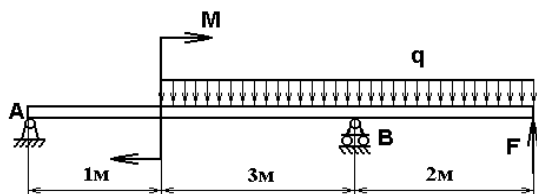
Данные для расчета взять из Таблицы 4.1 и рис. 4.1.

Таблица 4.1

| Номер варианта | q кН/м | F кН | M кНм | a м | [σ] МПа |
|----------------|-----------|---------|----------|--------|------------|
| 0 | -10 | 15 | -10 | 0.5 | 160 |
| 1 | 12 | -20 | -15 | 0.8 | 180 |
| 2 | -17 | 11 | 17 | 0.9 | 200 |
| 3 | 11 | -14 | -9 | 1.1 | 250 |
| 4 | -13 | 16 | 14 | 0.4 | 280 |
| 5 | 14 | -18 | -13 | 0.7 | 220 |
| 6 | -16 | 22 | -18 | 0.6 | 240 |
| 7 | 15 | -12 | 12 | 1.2 | 300 |
| 8 | -19 | 10 | 19 | 1.4 | 280 |
| 9 | 20 | -13 | 20 | 1.5 | 320 |

Примечание: Знак «-» перед значением нагрузки (q, F или M) показывает, что направление заданной нагрузки необходимо изменить на противоположное, а в расчетах использовать значение, взятое по модулю.

Пример решения задачи 4.1



Дана двухопорная балка с приложенными к ней нагрузками $M=4$ кН·м; $F=2$ кН; $q=3$ кН/м (рис. 4.2). Допускаемое напряжение $[\sigma]=160$ МПа.

Рисунок 4.2

Требуется:

1. Подобрать для схем (а) и (б) балку круглого, прямоугольного (отношение сторон $h/b=2$), кольцевого (отношение диаметров $s=0,6$), двутаврового сечений при заданном $[\sigma]$;
2. Сравнить площади поперечных сечений и сделать вывод о том, какая форма наиболее рациональна.

Решение

1. Вначале определяем опорные реакции балки. Составляем уравнения моментов относительно опорных точек.

$$\sum M_A(F_i) = 0; F \cdot 6 + R_B \cdot 4 - q \cdot 5 \cdot 3,5 - M = 0, \text{ откуда}$$

$$R_B = \frac{q \cdot 5 \cdot 3,5 - F \cdot 6 + M}{4}; R_B = \frac{3 \cdot 17,5 - 12 + 4}{4} = 11,125 \text{ кН}$$

$$\sum M_B(F_i) = 0; -R_A \cdot 4 - M + q \cdot 5 \cdot 0,5 + F \cdot 2 = 0, \text{ откуда}$$

$$R_A = \frac{q \cdot 5 \cdot 0,5 - M + F \cdot 2}{4}; R_A = 1,875 \text{ кН}$$

Проверяем правильность определения опорных реакций:

$\sum F_{iY} = R_A - q \cdot 5 + R_B + F = 1,875 - 15 + 11,125 + 2 = 0$, следовательно, опорные реакции найдены правильно.

2. Далее запишем уравнения поперечных сил и изгибающих моментов для каждого участка балки.

Участок I. $0 \leq z_1 < 2$ м.

$$Q(z_1) = -F + q \cdot z_1; Q(0) = -F = -2 \text{ кН}; Q(2) = 4 \text{ кН.}$$

$$M(z_1) = F \cdot z_1 - q \cdot \frac{z_1^2}{2}; M(0) = 0; M(2) = -2 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Строим эпюры по вычисленным значениям (Рис. 4.3).

Так как на силовом участке поперечная сила пересекает нулевую линию, то на эпюре моментов должен быть экстремум.

Вычислим положение этого сечения.

$$Q(z_{01}) = -F + q \cdot z_{01} = 0; \Rightarrow z_{01} = \frac{F}{q} = 0,66 \text{ м.}$$

$$M(0,66) = 0,669 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Участок II. $0 \leq z_2 < 3$ м.

$$Q(z_2) = -F - R_B + q \cdot (2 + z_2); \quad Q(0) = -F = -7,125 \text{ кН}; \quad Q(3) = 1,875 \text{ кН}.$$

$$M(z_2) = F \cdot (2 + z_2) + R_B \cdot z_2 - q \cdot (2 + z_2)^2 / 2; \quad M(0) = -2 \text{ кН}\cdot\text{м}; \quad M(3) = 5,875 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Строим эпюры по вычисленным значениям (рис. 4.3).

Так как на силовом участке поперечная сила пересекает нулевую линию, то на эпюре моментов должен быть экстремум.

Вычислим положение этого сечения.

$$Q(z_{02}) = -F - R_B + q \cdot z_{02} = 0; \quad z_{02} = 2,37 \text{ м}.$$

$$M(2,37) = 5,981 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Участок II. $0 \leq z_3 < 1$ м.

$$Q(z_3) = R_A; \quad Q(0) = Q(3) = R_A = 1,875 \text{ кН}.$$

$$M(z_3) = R_A \cdot z_3; \quad M(0) = 0; \quad M(1) = 1,875 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

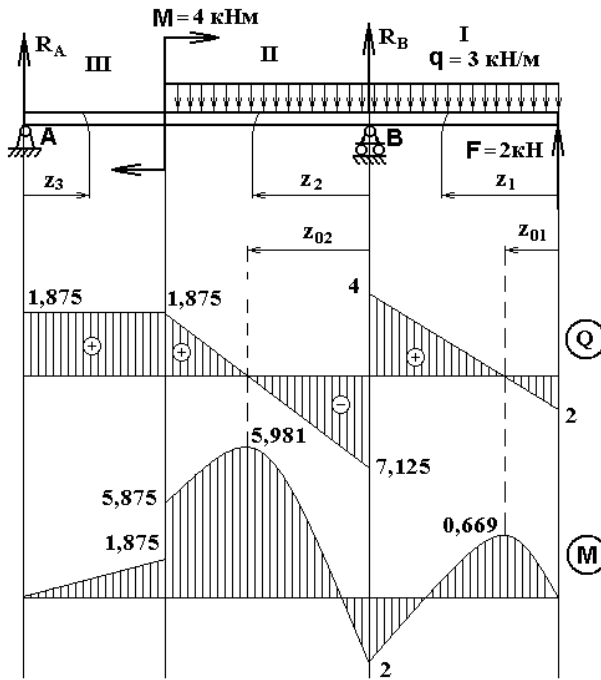
Строим эпюры поперечных сил и изгибающих моментов по участкам (рис. 4.3.).

Итак, опасным будет сечение, в котором изгибающий момент достигает максимального значения по абсолютной величине.

В данной задаче $M_{\max} = 5,981 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

3. Вычисляем необходимый момент сопротивления поперечного сечения балки

Рисунок 4.3



$$W_x = \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{5,981 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 37,4 \text{ см}^3.$$

3.1. Двутавровое поперечное сечение.

Этому моменту сопротивления $W_x = 37,4 \text{ см}^3$ соответствует двутавр №10, момент сопротивления и площадь поперечного сечения которого соответственно равны $W_x = 39,7 \text{ см}^3$; $A = 12 \text{ см}^2$.

3.2. Прямоугольное сечение ($h/b=2$).

$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{h^3}{12} = 37,4 \Rightarrow h = \sqrt[3]{12 \cdot 37,4} = \sqrt[3]{448,8} = 7,65 \text{ см}.$$

$$h=7,65 \text{ см}; \quad b=3,83 \text{ см}; \quad A=29,26 \text{ см}^2.$$

3.3. Круглое поперечное сечение:

$$W_x = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = 37,4, \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi} \cdot W_x} = 7,25 \text{ см}$$

$$A = \pi \cdot r^2 = 41,3 \text{ см}^2.$$

3.4. Кольцевое сечение ($c=0,5$).

$$W_x = \frac{\pi \cdot D^3}{32} (1 - c^4) = 37,4 \Rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot W_x}{\pi \cdot (1 - c^4)}} = 7,4 \text{ см}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} (1 - c^2) = 32,3 \text{ см}^2.$$

4. Сравниваем площади поперечных сечений А, см² подобранных профилей, сведя данные в Таблицу 4.2:

Таблица 4.2

| Тип сечения | Площадь сечения, см ² |
|---------------|----------------------------------|
| Двутавровое | 12 |
| Прямоугольное | 29,26 |
| Круглое | 41,3 |
| Кольцевое | 32,3 |

Таким образом, при изгибе оптимальным является сечение двутавра.

Пример построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов для консольной балки не приведен, т.к. задача решается так же, как и первая. Особенностью является то, что начала координат для всех силовых участков следует выбирать со стороны свободного конца балки. В этом случае нет необходимости вычислять вертикальную составляющую реакции и реактивный момент в заделке.

Расчетно-графическая работа № 5

Внецентренное сжатие. Чугунный короткий стержень сжимается продольной силой F , приложенной в точке А. Требуется:

1. вычислить наибольшие растягивающие и сжимающие напряжения в поперечном сечении, выразив эти напряжения через F и размеры сечения;
2. найти допускаемую нагрузку $[F]$ при заданных размерах сечения и допускаемых напряжениях для чугуна на сжатие $[\sigma_c]$ и на растяжение $[\sigma_p]$.

Данные для расчёта взять из Таблицы 5.1 и рисунка 5.1.

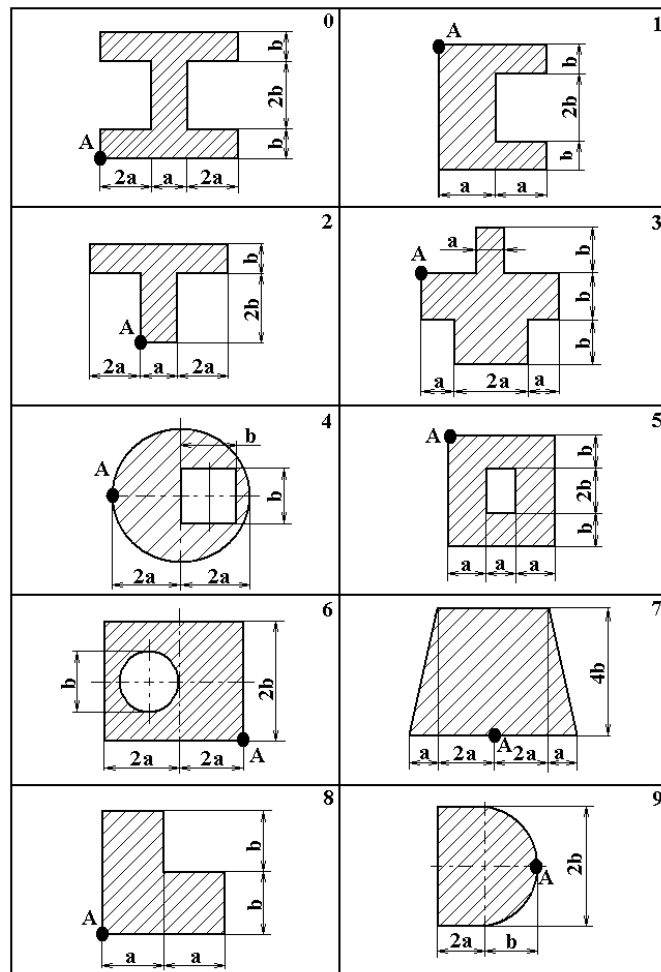


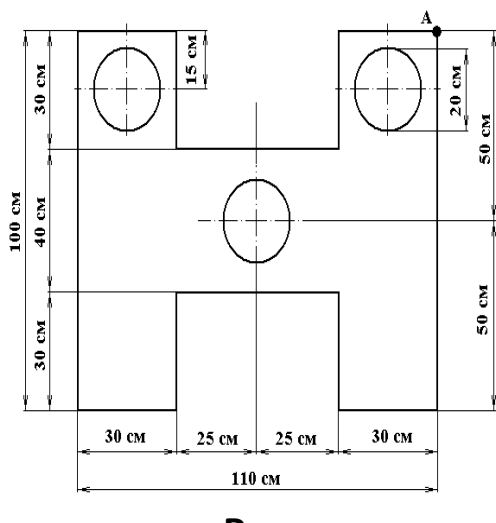
Рисунок 5.1 – Схемы сечений

Таблица 5.1

| Номер варианта | a, см | b, см | $[\sigma_c]$, МПа | $[\sigma_p]$, МПа |
|----------------|-------|-------|--------------------|--------------------|
| 0 | 6 | 4 | 120 | 30 |
| 1 | 4 | 6 | 130 | 40 |
| 2 | 5 | 7 | 140 | 50 |
| 3 | 5 | 8 | 150 | 60 |
| 4 | 8 | 6 | 140 | 60 |
| 5 | 6 | 8 | 130 | 50 |
| 6 | 7 | 10 | 120 | 60 |
| 7 | 8 | 10 | 150 | 70 |

| | | | | |
|---|----|---|-----|----|
| 8 | 10 | 8 | 140 | 70 |
| 9 | 9 | 7 | 130 | 60 |

Пример выполнения работы



Чугунный короткий стержень, поперечное сечение которого показано на рисунке 5.2, сжимается продольной силой F , приложенной в точке A . Требуется:

1. вычислить наибольшие растягивающие и сжимающие напряжения в поперечном сечении, выразив эти напряжения через F и размеры сечения;

2. найти допускаемую нагрузку $[F]$ при заданных размерах сечения и допускаемых напряжениях для чугуна: на сжатие $[\sigma_c]=100$ МПа и на растяжение $[\sigma_p]=25$ МПа.

Нормальные напряжения в любой точке поперечного сечения при внецентренном сжатии определяются по формуле:

$$\sigma = -\frac{F}{A} \cdot \left(1 + \frac{x_F \cdot x}{i_y^2} + \frac{y_F \cdot y}{i_x^2} \right) \quad (5.1)$$

где A – площадь поперечного сечения;

x_F ; y_F – координаты точки приложения силы F от главных центральных осей;

x ; y – координаты точки сечения, в котором определяются напряжения, взятые от главных центральных осей;

i_x , i_y – радиусы инерции сечения относительно оси X и Y соответственно.

Опасными точками сечения будут точки, наиболее удалённые от нейтральной линии. Найдём эти точки.

Определяем положения главных центральных осей инерции поперечного сечения. Ось Y является осью симметрии сечения, следовательно, является главной центральной осью. Положение второй главной центральной оси X определится координатой центра тяжести поперечного сечения по формуле (2.1) из Задачи 2:

$$y_c = \frac{S_x}{A} = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} \quad (5.2)$$

Разбиваем сечение на 3 прямоугольника, как показано на рисунке 5.3. В качестве вспомогательной оси будем использовать ось X_1 .

$$y_{\bar{N}} = \frac{\left(30 \cdot 100 \cdot 50 - \pi \cdot \frac{20^2}{4} \cdot 85 \right) \cdot 2 + 50 \cdot 40 \cdot 50 - \pi \cdot \frac{20^2}{4} \cdot 50}{\left(30 \cdot 100 - \pi \cdot \frac{20^2}{4} \right) + 50 \cdot 40 - \pi \cdot \frac{20^2}{4}} = 46,9 \text{ см}$$

Определяем главные моменты инерции J_x , J_y :

$$J_x = \left(\frac{100^3 \cdot 30}{12} + 3,1^2 \cdot 30 \cdot 100 - (0,05 \cdot 20^4 + 38,1^2 \cdot \pi \cdot \frac{20^2}{4}) \right) \cdot 2 + \frac{40^3 \cdot 50}{12} + 3,1^2 \cdot 50 \cdot 40 - (0,05 \cdot 20^4 + 3,1^2 \cdot \pi \cdot \frac{20^2}{4})$$

$$J_x = 4455368,2 \text{ см}^4$$

$$J_y = \left(\frac{30^3 \cdot 100}{12} + 40^2 \cdot 30 \cdot 100 - (0,05 \cdot 20^4 + 40^2 \cdot \pi \cdot \frac{20^2}{4}) \right) \cdot 2 + \frac{50^3 \cdot 40}{12} - 0,05 \cdot 20^4 = 9438316 \text{ см}^4$$

Вычисляем квадраты главных радиусов инерции:

$$i_x^2 = \frac{J_x}{A} = 624,14 \text{ см}^2; \quad i_y^2 = \frac{J_y}{A} = 1337,25 \text{ см}^2 \quad (5.3)$$

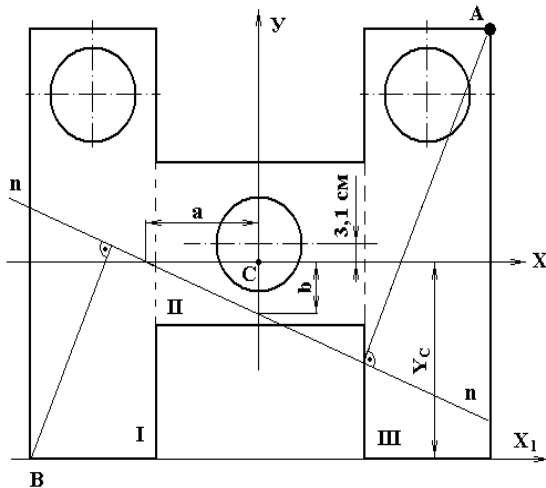
Определяем положение нулевой линии. Значения координат точки приложения силы F : $x_F=55$ см; $y_F=53,1$ см. Отрезки, отсекаемые нулевой линией на главных центральных осях определяются по формулам:

$$y = 0; \quad a = x = -\frac{i_y^2}{x_F};$$

$$x = 0; \quad b = y = -\frac{i_x^2}{y_F}. \quad (5.4)$$

$$a = x = -\frac{1337,25}{55} = -24,3 \text{ см}$$

$$b = y = -\frac{624,14}{53,1} = -11,75 \text{ см}$$



Отложив отрезки **a** и **b** соответственно на осях *X* и *Y*, и, проведя через их концы прямую, получим нейтральную линию сечения, на которой нормальные напряжения равны нулю ($\sigma=0$). Эта линия разбивает поперечное сечение на две части. В той части сечения, где находится точка приложения сжимающей силы *F*, т. е. точка **A**, действуют только напряжения сжатия.

В части сечения, расположенной ниже нулевой линии *n—n*, действуют только напряжения растяжения. Наиболее удаленная от нулевой линии *n—n* в сжатой зоне - точка **A**, а в растянутой зоне — точка **B**. Следовательно, наибольшие по величине напряжения сжатия будут

в точке **A**, а наибольшие растягивающие напряжения — в точке **B**. Все значения координат точек, в которых определяются напряжения, отсчитываются от главных центральных осей инерции *X*, *Y*:

$$x_A = 55 \text{ см}; \quad y_A = 53,1 \text{ см}; \quad x_B = -55 \text{ см}; \quad y_B = -46,9 \text{ см}.$$

Определяем наибольшие сжимающие σ_A и растягивающие σ_B напряжения:

$$\sigma_A = -\frac{F}{A} \cdot \left(1 + \frac{x_F \cdot x_A}{i_y^2} + \frac{y_F \cdot y_A}{i_x^2} \right) = -11,02 \cdot F \text{ 1/м}^2$$

$$\sigma_B = -\frac{F}{A} \cdot \left(1 + \frac{x_F \cdot x_B}{i_y^2} + \frac{y_F \cdot y_B}{i_x^2} \right) = 7,45 \cdot F \text{ 1/м}^2$$

Определяем допускаемую нагрузку [*F*]:

Из условия прочности на сжатие:

$$\sigma_A \leq [\sigma_C]; \quad 11,02 \cdot F \text{ 1/м}^2 \leq 100 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$[F_C] \leq 9074 \text{ кН}$$

Из условия прочности на растяжение:

$$\sigma_B \leq [\sigma_P]; \quad 7,45 \cdot F \text{ 1/м}^2 \leq 25 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$[F_C] \leq 134 \text{ кН}$$

Следовательно, допускаемая нагрузка

$$[F] = 134 \text{ кН},$$

как отвечающая сразу двум условиям прочности.

Расчетно-графическая работа № 6.

Расчет на устойчивость. Стержень длиной *l* сжимается силой *F*. Требуется:

1. Найти размеры поперечного сечения при допускаемом напряжении на сжатие $[\sigma]$ для соответствующего материала;
2. критическую силу F_k ;
3. коэффициент запаса устойчивости n_y .
4. Расчёт вести последовательными приближениями, предварительно задавшись коэффициентом $\varphi=0,5$. Данные для расчёта взять из Таблицы 6.1 и рисунков 7.1 и 7.2.

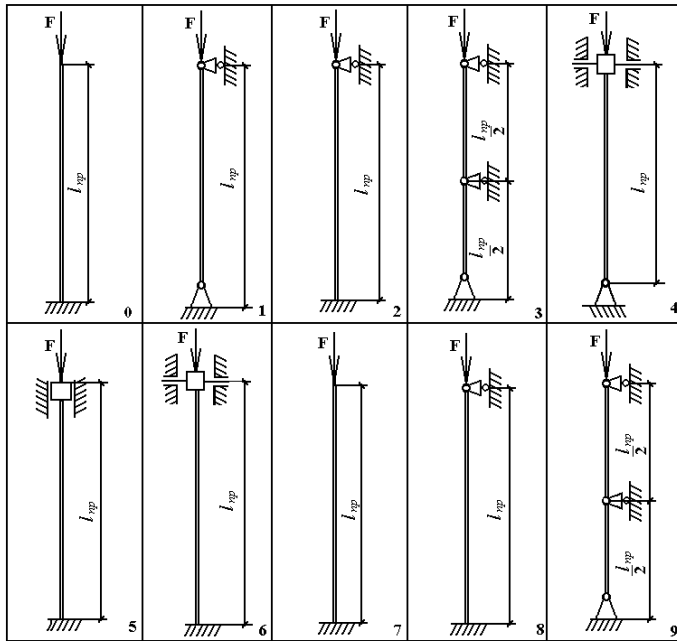


Рисунок 7.1 – Схемы закрепления концов стержня

Таблица 7.1

| Номер варианта | Длина стержня $l_{сп}$, м |
|----------------|----------------------------|
| 0 | 3,2 |
| 1 | 3,1 |
| 2 | 3,0 |
| 3 | 2,8 |
| 4 | 3,4 |
| 5 | 2,9 |
| 6 | 3,5 |
| 7 | 3,6 |
| 8 | 2,7 |
| 9 | 2,8 |

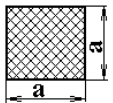
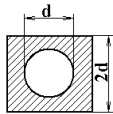
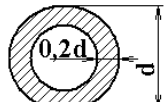

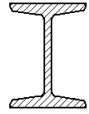
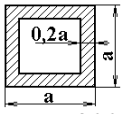
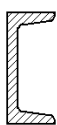
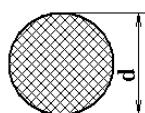
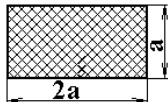
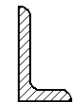
| | |
|--|--|
| <p>0</p>  <p>Дерево; $F=50$ кН; $l=l_{сп}$</p> | <p>5</p>  <p>Чугун; $F=160$ кН; $l=0,5l_{сп}$</p> |
| <p>1</p>  <p>Чугун; $F=160$ кН; $l=l_{сп}$</p> | <p>6</p>  <p>Сталь; $F=80$ кН; $l=0,7l_{сп}$</p> |
| <p>2</p>  <p>Сталь; $F=150$ кН; $l=0,8l_{сп}$</p> | <p>7</p>  <p>Чугун; $F=200$ кН; $l=0,5l_{сп}$</p> |
| <p>3</p>  <p>Сталь; $F=140$ кН; $l=0,6l_{сп}$</p> | <p>8</p>  <p>Дерево; $F=50$ кН; $l=l_{сп}$</p> |
| <p>4</p>  <p>Дерево; $F=60$ кН; $l=1,2l_{сп}$</p> | <p>9</p>  <p>Сталь; $F=100$ кН; $l=0,7l_{сп}$</p> |

Рисунок 7.2.

Пример решения задачи 7.

Дан стержень с опорами, закрепленными по схеме 5 (рис. 7.1), сжатый силой $F=100$ кН. Поперечное сечение стержня - квадратное со сторонами «а». Длина стержня $l=4,14$ м. Материал стержня - сталь. Модуль упругости $E=2 \cdot 10^{11}$ Па, допускаемое напряжение $[\sigma]=160$ МПа.

Требуется определить:

- размеры поперечного сечения при допускаемом напряжении на сжатие $[\sigma]$;
- величину критической силы F_k ;
- коэффициент запаса устойчивости n_y .

Решение.

Задача решается методом последовательных приближений. В первом приближении задаемся коэффициентом уменьшения основного допускаемого напряжения $\varphi_1=0,5$. Из условия устойчивости [1] определяем площадь сечения:

$$A = \frac{F}{\varphi \cdot [\sigma]} \quad (7.1)$$

$$A_1 = \frac{100 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 160 \cdot 10^6} = 12,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2; A = a^2 \Rightarrow a = \sqrt{A} = 3,535 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Определяем минимальные момент инерции и радиус инерции сечения [1]:

$$I_{\min} = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{a^4}{12}; i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{a^4}{a^2 \cdot 12}} = 0,288a = 1,018 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Определяем гибкость стержня [1]:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}} \quad (7.2)$$

$$\lambda = \frac{0,5 \cdot 4,14}{1,018 \cdot 10^{-2}} = 203$$

По таблице приложения П2 находим соответствующее значение $\varphi'=0,19$. Производим проверку на устойчивость:

$$\sigma = \frac{F}{\varphi \cdot A} = \frac{100 \cdot 10^3}{0,19 \cdot 12,5 \cdot 10^{-4}} = 421 \text{ МПа} > [\sigma]$$

Поскольку $\sigma > [\sigma]$, то задаемся новым значением φ и повторяем весь расчет.

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi'}{2} = \frac{0,5 + 0,19}{2} = 0,345$$

$$A_2 = \frac{100 \cdot 10^3}{0,345 \cdot 160 \cdot 10^6} = 18,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$a = \sqrt{A} = 4,256 \cdot 10^{-2} \text{ м}; i_{\min} = 0,288 \cdot 4,256 \cdot 10^{-2} = 1,225 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Определяем гибкость стержня:

$$\lambda = \frac{0,5 \cdot 4,14}{1,225 \cdot 10^{-2}} = 168$$

По таблице соответствующее значение $\varphi'=0,26$.

$$\text{Проверяем на устойчивость: } \sigma = \frac{100 \cdot 10^3}{0,26 \cdot 18,1 \cdot 10^{-4}} = 212,5 \text{ МПа}$$

$$\sigma = 212,5 \text{ МПа} > [\sigma]$$

Поэтому делаем следующее приближение.

$$\varphi_3 = \frac{\varphi_2 + \varphi'}{2} = \frac{0,19 + 0,26}{2} = 0,226$$

$$A_3 = \frac{100 \cdot 10^3}{0,226 \cdot 160 \cdot 10^6} = 27,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$a = \sqrt{A} = 5,263 \cdot 10^{-2} \text{ м}; i_{\min} = 0,288 \cdot 5,263 \cdot 10^{-2} = 1,516 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Определяем гибкость стержня:

$$\lambda = \frac{0,5 \cdot 4,14}{1,516 \cdot 10^{-2}} = 136,6$$

По таблице находим значение $\varphi'=0,36$.

$$\text{Проверяем на устойчивость: } \sigma = \frac{100 \cdot 10^3}{0,36 \cdot 27,7 \cdot 10^{-4}} = 100 \text{ МПа} < [\sigma]$$

Определяем погрешность δ между значениями:

$$\delta = \frac{160 - 100}{160} \cdot 100\% = 60\%$$

Допускаемая погрешность должна быть не более 5%. Поэтому, делаем следующее приближение.

$$\varphi_4 = \frac{\varphi_3 + \varphi'}{2} = \frac{0,36 + 0,26}{2} = 0,31$$

$$A_4 = \frac{100 \cdot 10^3}{0,31 \cdot 160 \cdot 10^6} = 20,16 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$a = \sqrt{A} = 4,49 \cdot 10^{-2} \text{ м}; i_{\min} = 0,288 \cdot 4,49 \cdot 10^{-5} = 1,293 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Определяем гибкость стержня:

$$\lambda = \frac{0,5 \cdot 4,14}{1,293 \cdot 10^{-2}} = 160. \text{ По таблице значение } \varphi' = 0,29.$$

Проверяем на устойчивость:

$$\sigma = \frac{100 \cdot 10^3}{0,29 \cdot 20,16 \cdot 10^{-4}} = 171 \text{ МПа} > [\sigma].$$

Определяем погрешность δ между значениями:

$$\delta = \frac{171 - 160}{160} \cdot 100\% = 6,3\% > 5\%$$

Делаем следующее приближение.

$$\varphi_5 = \frac{\varphi_4 + \varphi^1}{2} = \frac{0,31 + 0,29}{2} = 0,3$$

$$A_5 = \frac{100 \cdot 10^3}{0,3 \cdot 160 \cdot 10^6} = 20,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$a = \sqrt{A} = 4,56 \cdot 10^{-2} \text{ м}. i_{\min} = 0,288 \cdot 4,56 \cdot 10^{-2} = 1,315 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Определяем гибкость стержня:

$$\lambda = \frac{0,5 \cdot 4,14}{1,315 \cdot 10^{-2}} = 157,4. \text{ По Таблице П2 значение } \varphi' = 0,2978.$$

Проверяем на устойчивость:

$$\sigma = \frac{100 \cdot 10^3}{0,2978 \cdot 20,8 \cdot 10^{-4}} = 161,4 \text{ МПа} > [\sigma]$$

Определяем погрешность δ между значениями:

$$\delta = \frac{161,4 - 160}{160} \cdot 100\% = 0,9\% < 5\%$$

Принимаем $a = 4,56 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

Определяем минимальный момент инерции:

$$I_{\min} = \frac{a^4}{12} = 36,03 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$$

Определяем критическую силу:

$$F_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{(\mu \cdot l)^2} \quad (7.3)$$

$$F_k = \frac{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 36,03 \cdot 10^{-8}}{(0,5 \cdot 4,14)^2} = 165984 \text{ Н}$$

Определяем коэффициент запаса устойчивости:

$$n_y = \frac{F_k}{F} = \frac{166}{100} = 1,66$$

Ответ: $a = 4,56 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $F_k = 166 \text{ кН}$; $n_y = 1,66$.

Расчетно-графическая работа № 8

Расчет на удар. На двутавровую балку, свободно лежащую на двух опорах, с высоты h падает груз F .

Требуется

- 1) найти наибольшее нормальное напряжение в балке при заданных условиях;
- 2) заменить вторую опору пружиной с жесткостью α и определить, как изменятся наибольшие нормальные напряжения в балке;
- 3) сравнить полученные результаты.

Данные для расчёта взять из Таблицы 8.1 и рис. 8.2

Таблицы 8.1

| Номер варианта | № двутавра | l , м | F кН | h, см | $\alpha \cdot 10^3$ м/кН |
|----------------|------------|---------|------|-------|--------------------------|
| 0 | 20 | 2,1 | 10 | 6 | 20 |
| 1 | 22 | 2,2 | 11 | 7 | 21 |
| 2 | 24 | 2,3 | 12 | 8 | 23 |
| 3 | 24 | 2,4 | 13 | 5 | 23 |
| 4 | 27 | 2,5 | 14 | 9 | 25 |
| 5 | 27 | 2,6 | 13 | 9 | 25 |
| 6 | 30 | 2,7 | 14 | 10 | 27 |
| 7 | 30 | 2,8 | 15 | 11 | 27 |
| 8 | 33 | 2,9 | 16 | 8 | 29 |
| 9 | 33 | 3,0 | 15 | 10 | 30 |

Пример выполнения задачи 8.

На двутавровую стальную балку № 30 (рис. 8.1) длиной $l=3$ м, свободно лежащую на двух жестких опорах, с высоты $h=10$ см падает груз $F=1000$ Н. Требуется:

- 1) найти наибольшее нормальное напряжение в балке при заданных условиях;
- 2) заменить вторую опору пружиной с жесткостью α и определить, как изменятся наибольшие нормальные напряжения в балке;
- 3) сравнить полученные результаты.

Массу балки не учитывать. Модуль упругости материала балки $E=2 \cdot 10^5$ МПа.

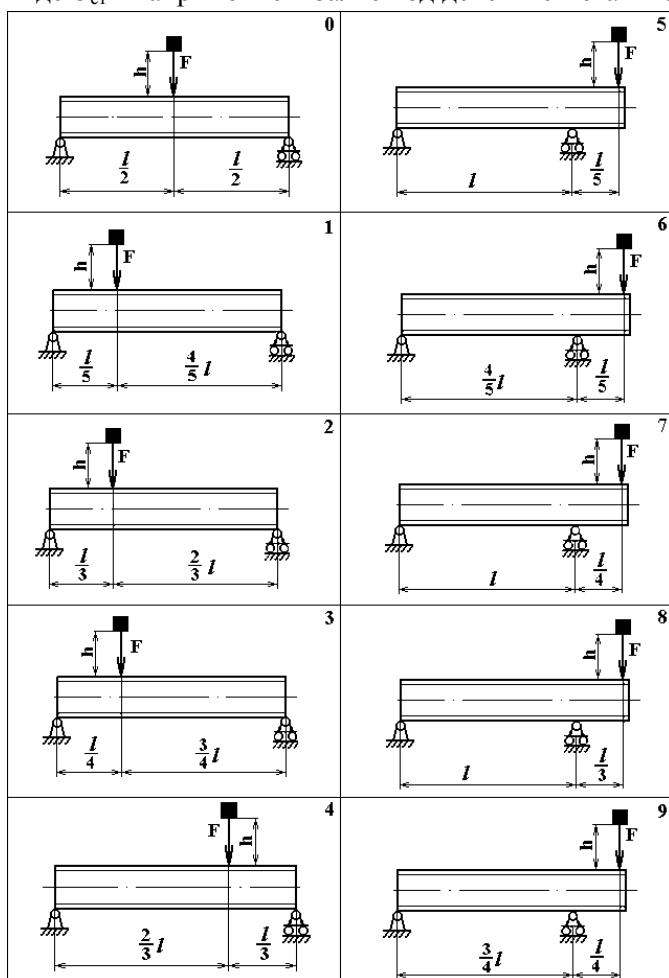
Для двутавровой балки № 30 по ГОСТ 8239—89 [2] осевые момент сопротивления W_x и момент инерции I_x поперечного сечения равны: $W_x=472$ см³, $I_x=7080$ см⁴.

Решение

Наибольшие напряжения σ_d в балке при действии динамической нагрузки определяются по формуле [1]:

$$\sigma_d = \sigma_{ст} \cdot \mu_d \quad (8.1)$$

где $\sigma_{ст}$ — напряжение в балке под действием статической нагрузки;



μ_d — динамический коэффициент при ударе определяемый по формуле [1]:

$$\mu_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot h}{\lambda_{ст}}}, \quad (8.2)$$

где $\lambda_{ст}$ — перемещение в точке удара.

Правая опора шарнирная. Реакции, возникающие в опорах (рис. 8.3), определяются из уравнений равновесия от действия статически приложенной силы F :

$$\sum M_A = R_B \cdot l - F_{ст} \cdot \frac{5}{3}l = 0; \quad R_B = 1667 \text{ кН};$$

$$\sum M_B = R_A \cdot l - F_{ст} \cdot \frac{2}{3}l = 0; \quad R_A = -667 \text{ кН}.$$

Проверка:

$$\sum F_{ky} = R_A + R_B - F = -667 + 1667 - 1000 = 0.$$

Следовательно, реакции определены верно.

Рисунок 8.2 – Схемы нагрузки на балку

Эпюра изгибающих моментов от статической силы $F_{ст}$ показана на рис. 8.3 (эпюра M_p).

Наибольшие напряжения изгиба в опасном сечении (над опорой В):

$$\sigma_{\text{до}} = \frac{I_{\text{до}}}{W_x} = \frac{F_{\text{до}} \cdot \frac{2}{3} \cdot l}{W_x} \quad (8.3)$$

$$\sigma_{\text{cm}} = \frac{10^3 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3}{472 \cdot 10^{-6}} = 4,24 \cdot 10^6 \text{ Па} = 4,24 \text{ МПа}$$

Прогиб под грузом определяется по правилу Верещагина[2]:

$$\lambda_{\text{cm}} = \sum \frac{\omega \cdot \eta_c}{E \cdot I_x}, \quad (8.4)$$

где ω - площадь эпюры изгибающих моментов от внешней нагрузки (на рис. 8.3 - ω_1 и ω_2);

η_c - ордината на единичной эпюре моментов M_1 , под центром тяжести площади эпюры изгибающих моментов.

Строим эпюру изгибающих моментов M_1 от фиктивной единичной силы, приложенной в точке удара (рис. 8.3).

Тогда статический прогиб в точке удара:

$$\lambda_{\text{cm}} = \frac{1}{E \cdot I_x} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot l \cdot \frac{2}{3} \cdot l \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{9} \cdot l + l \cdot \frac{2}{3} \cdot l \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{9} \cdot l \right) = 1,74 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Динамический коэффициент определяем по формуле (8.2):

$$\mu_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot h}{\lambda_{\text{cm}}}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 10 \cdot 10^{-2}}{1,74 \cdot 10^{-5}}} = 108,2$$

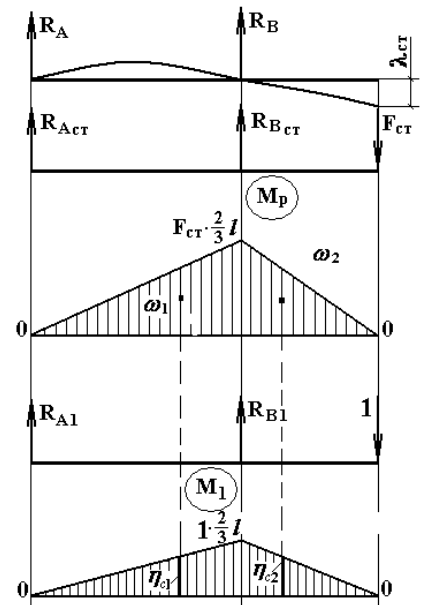
Таким образом, наибольшие динамические напряжения согласно (8.1):

$$\sigma_{\text{д}} = 4,24 \cdot 108,2 = 458,8 \text{ МПа.}$$

II. Правая опора заменена пружиной. Деформационная схема показана на рис. 8.4. В случае опирания правого конца балки на пружину при действии статически приложенной силы F , пружина, под влиянием опорной реакции R_B , уменьшит свою длину на величину λ , называемую осадкой пружины:

$$\lambda = \alpha \cdot R_B \quad (8.5)$$

Рисунок 8.3



При этом перемещение точки удара, вызванное сжатием пружины, определяется из подобия треугольников ABB' и ACC' (рис. 8.4):

$$\frac{\Delta}{\lambda} = \frac{AC}{AB}; \Rightarrow \Delta = \frac{5}{3} \cdot \lambda = \frac{5}{3} \cdot \alpha \cdot R_B = 0,0833 \text{ м}$$

Полное вертикальное перемещение λ'' точки удара при статическом действии силы F , равно сумме упругих перемещений $\lambda_{\text{ст}}$, найденных в балке с жесткими опорами (п. I) и перемещений балки, как жесткого целого Δ , вызванных поворотом её за счет осадки пружины (п. II):

$$\lambda'' = \lambda_{\text{ст}} + \Delta = 1,74 \cdot 10^{-5} + 8,33 \cdot 10^{-2} = 8,332 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Рисунок 8.4.

Коэффициент динамичности определим из (8.2):

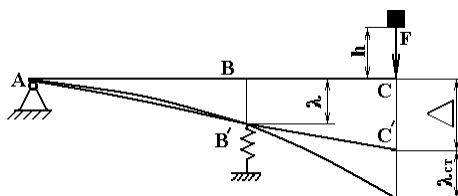
$$\mu_{\text{д}}'' = 2,844$$

Наибольшие нормальные напряжения от статически приложенной силы не зависят от изменения жесткости опоры и определяются по п. I.

Наибольшие динамические напряжения:

$$\sigma_{\text{д}}'' = 4,24 \cdot 2,884 = 12,1 \text{ МПа.}$$

Сравнивая динамические напряжения, определенные в системе с жесткими и упругими опорами



$$\frac{\sigma_{\delta}}{\sigma_{\delta}''} = \frac{458.8}{12.1} = 37.9$$

можно сделать вывод, что наличие пружины в системе уменьшит динамические напряжения в 37,9 раз.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Информационные технологии, используемые в осуществлении образовательного процесса, по дисциплине позволяют:

- организовать процесс образования путем визуализации изучаемой информации посредством использования презентаций, учебных фильмов;
- контролировать результаты обучения на основе компьютерного тестирования;
- использовать графические и текстовые редакторы в написании докладов, контрольных работ;
- автоматизировать поиск информации посредством использования справочных систем.

10.1. Перечень необходимого программного обеспечения

Для осуществления учебного процесса используется свободно распространяемое (бесплатное не требующее лицензирования) программное обеспечение:

| Наименование программного обеспечения, производитель | Реквизиты подтверждающего документа (№ лицензии, дата приобретения, срок действия) |
|---|---|
| Microsoft Office Word 2010 | Номер продукта 14.0.6024.1000 SP1 MSO (14.0.6024.1000) 02260-018-0000106-48095 |
| УП ВО | v22.4.73, от 17.11.2017 |
| Kaspersky Anti-virus 6/0 | № лицензии 26FE-000451-5729CF81 Срок лицензии 07.02.2020 |
| Adobe Reader 9 | Бесплатно, 01.02.2019, |
| OC Windows 7 Профессиональная, Microsoft Corp. | № 00371-838-5849405-85257, 23.01.2012, бессрочный |
| VLC Media Player, VideoLAN | 01.02.2019, свободная лицензия |
| 7-zip.org | GNU LGPL |
| Inkscape - профессиональный векторный графический редактор для Linux, Windows и macOS. | Свободно распространяемое ПО GNU GENERAL PUBLIC LICENSE Version 3, 29 June 2007 |
| Офисный пакет WPSOffice | Свободно распространяемое ПО |
| GIMP - растровый графический редактор для Linux, Windows | Свободно распространяемое ПО Стандартная Общественная Лицензия GNU(GNUGPL), опубликованная Фондом свободного программного обеспечения (FSF) |
| Autodesk AutoCAD - Профессиональное ПО для 2D и 3D проектирования Производитель: Компания Autodesk | Учебная версия |
| Oracle VM VirtualBox - программный продукт виртуализации для операционных систем Microsoft Windows, Linux, FreeBSD, macOS, Solaris/OpenSolaris, ReactOS, DOS и других Производитель: Oracle | Универсальная общедоступная лицензия GNU |

10.2. Перечень необходимых информационных справочных систем:

Каждый обучающийся в течение всего периода обучения обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно-библиотечным системам, профессиональным базам данных, информационным справочным и поисковым системам:

1. ЭБС «Znanium.com» <http://znanium.com/>
2. ЭБС IPRbooks <http://www.iprbookshop.ru/>
3. eLIBRARY.RU (НЭБ) <http://elibrary.ru>
4. ЭНБ «Киберленинка» <http://cyberleninka.ru/>

11 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

| Наименования специальных помещений и помещений для самостоятельной работы | Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы | Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа |
|---|---|--|
| Специальные помещения | | |
| Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа: № ауд. 405 адрес ул. Первомайская ,191, 4 этаж Аудитория для практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации: № ауд. 403. Адрес ул. Первомайская ,191, 4 этаж | Переносное мультимедийное оборудование, доска, мебель для аудиторий, компьютерный класс на 15 посадочных мест, оснащенный компьютерами Pentium с выходом в Интернет | 1. Операционная система «Windows», договор 0376100002715000045-0018439-01 от 19.06.2015; свободно распространяемое (бесплатное не требующее лицензирования) программное обеспечение: 1. Программа для воспроизведения аудио и видео файлов «VLC media player»; 2. Программа для воспроизведения аудио и видео файлов «K-lite codec»; 3. Офисный пакет «WPS office»; 4. Программа для работы с архивами «7zip»; 5. Программа для работы с документами формата .pdf «Adobe reader»; |
| Помещения для самостоятельной работы | | |
| Учебные аудитории для самостоятельной работы: № ауд.403 адрес ул.Первомайская ,191, 4 этаж В качестве помещений для самостоятельной работы могут быть: компьютерный класс, читальный зал: ул.Первомайская ,191, 3 этаж. | Переносное мультимедийное оборудование, доска, мебель для аудиторий, компьютерный класс на 15 посадочных мест, оснащенный компьютерами Pentium с выходом в Интернет | 1. Операционная система «Windows», договор 0376100002715000045-0018439-01 от 19.06.2015; свободно распространяемое (бесплатное не требующее лицензирования) программное обеспечение: 1. Программа для воспроизведения аудио и видео файлов «VLC media player»; 2. Программа для |

| | | |
|--|--|---|
| | | <p>воспроизведения аудио и видео файлов «K-lite codec»;</p> <p>3. Офисный пакет «WPS office»;</p> <p>4. Программа для работы с архивами «7zip»;</p> <p>5. Программа для работы с документами формата .pdf «Adobe reader»;</p> |
|--|--|---|

Дополнения и изменения к рабочей программе
за _____ / _____ учебный год

В рабочую программу _____
(наименование дисциплины)

Для специальности(ей) _____
(номер специальности)

Вносятся следующие дополнения и изменения:

Дополнения и изменения внес _____
(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры _____

(наименование кафедры)

«___» _____ 201__ г.

Заведующий кафедрой _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)