СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНОГО КУРСА ДЛЯ СТУДЕНТОВ, ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДОТ

Рабочая программа учебной дисциплины ***Сопротивление материалов*** разработана для студентов 2 курса по направлению подготовки  **08.03.01 Строительство**

Учебным планом предусмотрены: лекционные занятия \_\_54\_\_\_, практические занятия \_\_54\_\_\_\_, самостоятельная работа студента 72\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_. Дисциплина реализуется на \_\_2\_ курсе в 3 и 4 семестре.

**Целью** изучения дисциплины Сопротивление материалов является освоение основных понятий науки о прочности, надежности и долговечности инженерных сооружений, ознакомление с основными приёмами построения расчетных моделей и методами их расчета на прочность и устойчивость.

**Задачи:**

освоение студентами технической и технологической терминологии, связанной с прочностью и надежностью конструкций;

 дать студенту фундаментальные знания об основных принципах и гипотезах при расчёте элементов на прочность, жесткость и устойчивость;

познакомить студентов с методами расчёта элементов при различных видах деформирования;

4) познакомить студентов с методами расчёта элементов при различных видах деформирования;

5) подготовить студентов к овладению методологией решения расчетно-теоретических и лабораторно - экспериментальных задач;

6) установить межпредметные связи дисциплины «Сопротивление материалов» с фундаментальными дисциплинами естественнонаучного и профессионального профиля на основе их общей принадлежности к законам о явлениях природы.

Рабочая программа

1. **СТРУКТУРА И содержание теоретической части курса**

**Раздел I. Простейшие деформации упругих элементов конструкций (36 час.)**

**Тема 1. Основные понятия сопротивления материалов (6 час.)**

Определение науки «Сопротивление материалов». Историческая справка. Связь курса с общеинженерными и специальными дисциплинами.

Внешние силы и их классификация. Действие сил на физические тела. Реальный объект и расчетная модель. Основные моменты схематизации реального объекта. Внешние и внутренние силы. Допущения. Стержни, пластины и оболочки. Виды связей, замена их реакциями. Уравнения равновесия. Деформации линейные и угловые. Связь напряжений и деформаций. Закон Гука. Геометрические характеристики плоских сечений. Статические моменты площади сечения, центр тяжести. Осевой, полярный, центробежный моменты инерции. Осевые моменты инерции для прямоугольника, треугольника, круга. Зависимость между моментами инерции при параллельном переносе осей. Изменение осевых моментов инерции при повороте координатных осей. Главные оси инерции. Главные моменты инерции. Вычисление моментов инерции сложных сечений. Графическое определение главных моментов инерции и положения главных осей инерции.

**Тема 2. Осевое растяжение - сжатие (8 час.)**

Центральное растяжение и сжатие. Нормальная сила. Эпюры нормальной силы, нормального напряжения, перемещений сечений бруса. Допускаемые напряжения. Коэффициент запаса прочности. Условие прочности при растяжении-сжатии. Модуль продольной упругости Е. Коэффициент Пуассона ν. Напряжения по наклонным площадкам при осевом растяжении. Закон парности касательных напряжений по взаимно перпендикулярным площадкам. Учет собственного веса при растяжении и сжатии. Метод сечений. Основные виды задач в сопротивлении материалов: определение напряжений, подбор сечений, определение допускаемой нагрузки разными методами. Расчет статически определимых и неопределимых конструкций в состоянии осевого растяжения – сжатия.

**Тема 3. Механические свойства материалов при растяжении и сжатии (2 часа).**

Опытное изучение механических свойств материалов при растяжении и сжатии. Диаграммы растяжения и сжатия пластических материалов. Основные механические характеристики материалов: предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести, предел прочности. Особенности деформирования и разрушения пластических материалов при растяжении и сжатии. Пластические деформации. Понятие об истинной диаграмме растяжения и сжатия. Диаграммы растяжения и сжатия хрупких материалов. Особенности разрушения хрупких материалов.

**Тема 4. Деформации сдвига и кручения (6 час.)**

Деформация сдвига или среза. Расчет болтовых, заклепочных и сварных соединений. Кручение – касательные напряжения и деформация при кручении. Расчет вала на кручение. Разрушение вала при кручении, изготовленного из пластичного и хрупкого материала. Кручение вала некруглого поперечного сечения. Мембранная аналогия.

**Тема 5. Прямой поперечный изгиб призматического бруса (10 час.)**

Деформация поперечного изгиба. Изгиб прямого бруса в плоскости главной оси. Внешние силы, вызывающие изгиб. Виды нагрузок. Опоры и опорные реакции. Внутренние усилия в поперечных сечениях бруса при изгибе; поперечные силы и изгибающие моменты. Дифференциальные зависимости между изгибающими моментами, поперечной силой и интенсивностью распределенной нагрузки. Эпюры изгибающих моментов и поперечных сил. Нормальные напряжения при чистом изгибе. Основные допущения. Гипотеза Бернулли. Нормальные напряжения при поперечном изгибе. Касательные напряжения при изгибе брусьев сплошных сечений (формула Д.И.Журавского). Касательные напряжения в стенке и полках двутавра, в круглых сечениях. Главные напряжения при изгибе. Расчет на прочность при изгибе.

Аналитический способ определения деформаций. Определение перемещений при поперечном изгибе: основное дифференциальное уравнение упругой линии бруса. Интегрирование основного дифференциального уравнения в случае простых и сложных нагрузок. Метод начальных параметров. Универсальное уравнение упругой линии балки. Условие жесткости при изгибе.

**Тема 6. Напряженно-деформированное состояние бруса (6 час.)**

Объемное напряженное состояние. Определение нормальных и касательных напряжений по наклонным площадкам. Понятие о тензоре напряжений. Инварианты тензора напряжений. Главные оси, главные напряжения и главные деформации. Круг Мора для напряженно-деформированного состояния. Типы напряженного состояния. Теории прочности. Понятие о плоском напряженном состоянии в точке. Наибольшие касательные напряжения. Напряжения на взаимно-перпендикулярных площадках. Максимальные касательные напряжения. Закон Гука для объемного напряженного состояния. Частные случаи: плоское и линейное напряженные состояния.

**Раздел II. Cложное сопротивление. Статически неопределимые стержневые системы. Устойчивость. Расчеты при переменном и динамическом действии нагрузок. Методы экспериментального исследования конструкций. (18 час.)**

**Тема 1. Сложное сопротивление (4 час.)**

Общий случай действия внешних сил на брус. Внутренние усилия и их эпюры для плоских и пространственных систем.

Нормальные напряжения при внецентренном действии продольной силы. Эпюра нормальных напряжений. Силовая и нулевая линия. Ядро сечения.

Косой и сложный изгиб. Нормальные напряжения при косом изгибе. Эпюра нормальных. Силовая и нулевая линия. Наибольшие напряжения. Подбор сечений при косом изгибе. Определение прогибов. Совместное действие изгиба и кручения. Кривые стержни. Безмоментная теория расчета тонкостенных сосудов вращения.

**Тема 2. Энергетические методы определения перемещений. Раскрытие статической неопределимости конструкций методом сил (8 час.)**

Определение потенциальной энергии деформации. Определение перемещений на основе теоремы о сохранении энергии. Теорема Кастилиано. Интегралы Максвелла-Мора. Способ Верещагина. Теорема о взаимности работ. Статически неопределимые балки и рамы. Раскрытие статической неопределимости конструкций Методом сил. Расчет неразрезных балок, уравнение трех моментов.

**Тема 3. Устойчивость элементов конструкций (2 час.)**

Понятие об устойчивости формы сжатых стержней. Задача Эйлера для сжатого стержня. Расчет сжатых стержней по коэффициенту снижения допускаемых напряжений.

**Тема 4. Динамическое действие нагрузок (2 час.)**

Учет сил инерции и колебаний. Напряжения при ударе. Изменение свойств материалов при знакопеременных нагрузках. Предел выносливости. Усталостная прочность металлов. Влияние концентрации напряжений на прочность конструкций.

**Тема 5. Экспериментальные методы исследования напряженно-деформированного состояния материалов и конструкций (2 час.)**

Методы электро-тензоизмерений в исследовании напряженно-деформированного состояния. Оптико-геометрические методы исследования конструкций. Метод хрупких тензочувствительных покрытий. Поляризационно-оптический метод исследования напряжений.

1. **СТРУКТУРА И содержание практической части курса и самостоятельной работы**

**Практические занятия (54 час.)**

**Раздел I. Простейшие деформации упругих элементов конструкций (18 час.)**

**Занятие 1. Геометрические характеристики плоского сечения (2 час.)**

1. Определение геометрических характеристик плоского сечения аналитически.

2. Определение геометрических характеристик плоского сечения табличным способом. Проверка результатов построением круга Мора.

**Занятие 2. Осевое растяжение сжатие. Статически определимые задачи (2 час.)**

1. Определение реакций связей.

2. Построение эпюр продольной силы, нормальных напряжений и перемещений для прямых стержней.

3. Определение усилий в стержневых системах методом вырезания узлов.

4. Подбор сечения стержней и определение допускаемой внешней нагрузки.

**Занятие 3. Осевое растяжение сжатие. Статически неопределимые задачи (2 час.)**

1. Определение степени неопределимости системы.
2. Методы составления дополнительных уравнений для раскрытия статической неопределимости. Упрощения и допущения, принимаемые при решении задач по «Сопротивлению материалов».
3. Методы решения систем линейных алгебраических уравнений.

**Занятие 4. Деформация сдвига (2 час.)**

1. Деформация сдвига. Определение напряжений при деформации сдвига.
2. Примеры расчета болтовых и заклепочных соединений.
3. Расчет сварного соединения на сдвиг.

**Занятие 5. Деформация кручения бруса круглого поперечного сечения (2 час.)**

1. Построение эпюр крутящего момента, наибольших касательных напряжений и деформаций для вала.
2. Определение опасного сечения вала. Подбор сечения из условия прочности и условия жесткости.
3. Определение допустимой угловой скорости вращения вала из условия прочности.

**Занятие 6. Изгиб бруса с прямой осью (2 час.)**

1. Вычисление внутренних усилий при изгибе.

2. Построение графиков распределения внутренних усилий по длине бруса – эпюр поперечных сил и изгибающих моментов.

3. Напряжение при изгибе – нормальные и касательные.

**Занятие 7-8. Решение задач прочности при поперечном изгибе (4 час.)**

1. Подбор сечения бруса по нормальным напряжениям.
2. Построение эпюр внутренних силовых факторов для бруса с криволинейной осью.
3. Расчет прочности бруса по касательным напряжениям. Формула Журавского.

**Занятие 9. Определение перемещений в брусе при изгибе (2 час.)**

1. Экспресс-контрольная на построение эпюр поперечной силы и изгибающего момента
2. Составление и решение основного дифференциального уравнения упругой линии бруса.
3. Интегрирование основного дифференциального уравнения упругой линии бруса в случае простых и сложных нагрузок.
4. Применение универсального уравнение упругой линии бруса для определения перемещений бруса с произвольной внешней нагрузкой

**Раздел II. Сложное сопротивление элементов конструкций. Энергетические методы определения перемещений. Статически неопределимые системы. Устойчивость сжатых стержней. Динамическое и ударное действие нагрузок. (36 час.)**

**Занятие 1. Исследование напряженно-деформированного состояния бруса (2 час.)**

1. Экспресс-контрольная на определение перемещений в брусе при изгибе.
2. Тензор напряженного состояния в точке.
3. Определение главных напряжений в точке.
4. Решение задач исследования напряженного состояния с использованием круга Мора напряженного состояния.

**Занятие 2-3. Внецентренное сжатие стержней (4 час.)**

1. Определение напряжений в точках сечения бруса при внецентренном растяжении-сжатии.
2. Построение эпюр распределения нормальных напряжений. Ядро сечения.
3. Решение задач прочности при внецентренном растяжении-сжатии.

**Занятие 4. Косой и сложный изгиб (2 час.)**

1. Разложение косого или сложного изгиба на простые деформации.
2. Определение опасного сечения в брусе при косом изгибе. решение задачи прочности.
3. Определение величины и направления перемещений в брусе при косом изгибе.

**Занятие 5. Изгиб с кручением бруса круглого сечения (2 час.)**

1. Построение эпюр поперечных сил, изгибающих моментов и крутящего момента в брусе с прямой осью.

2. Решение задачи прочности.

3. Построение эпюр для всех силовых факторов в сечении бруса с пространственно-изогнутой осью.

**Занятие 6. Энергетические методы определения перемещений (2 час.)**

1. Экспресс-контрольная на построение эпюр для пространственно-изогнутых брусьев.
2. Теорема Кастилиано.

**Занятие 7-8. Энергетические методы определения перемещений (4 час.)**

1. Экспресс-контрольная на определение перемещений по теореме Кастилиано, используя интегралы Мора.
2. Интегралы Максвелла-Мора.
3. Способ Верещагина.

**Занятие 9. Статически определимые и неопределимые стержневые конструкции (2 час.)**

1. Экспресс-контрольная на определение перемещений способом Верещагина.
2. Определение усилий в элементах фермы.
3. Построение эпюр внутренних сил для статически определимой рамы.
4. Определение перемещений узлов в статически определимых конструкциях.

**Занятие 10-11. Статически неопределимые рамы (4 час.)**

1. Экспресс-контрольная на определение перемещений одним из энергетических методов.
2. Определение степени статической неопределимости рамы.
3. Выбор основной системы.
4. Составление системы канонических уравнений Метода сил.
5. Определение “лишних” неизвестных. Проверка решения.
6. Определение перемещений в статически неопределимых стержневых системах.

**Занятие 12. Расчет статически неопределимых неразрезных балок (2 час.)**

1. Экспресс-контрольная на определение перемещений одним из энергетических методов.
2. Выбор основной системы. Уравнение трех моментов.
3. Вычисление коэффициентов уравнения трех моментов.
4. Составление системы канонических уравнений и решение её.
5. Определение размеров сечения неразрезной балки из условия прочности и жесткости.

**Занятие 13. Расчет статически неопределимых неразрезных балок (2 час.)**

1. Экспресс-контрольная на определение перемещений одним из энергетических методов.
2. Выбор основной системы в случае защемления конца бруса и при наличии концевых вылетов. Уравнение трех моментов.
3. Вычисление коэффициентов уравнения трех моментов.
4. Составление системы канонических уравнений и решение её.

**Занятие 14. Устойчивость сжатых стержней (2 час.)**

1. Задача Эйлера. Вычисление критической силы по формуле Эйлера для различных условий закрепления бруса. Условие применимости формулы Эйлера.
2. Подбор сечения стойки с помощью коэффициента снижения допускаемых напряжений.

**Занятие 15. Устойчивость сжатых стержней (2 час.)**

1. Подбор сечения стойки с помощью коэффициента снижения допускаемых напряжений.

**Занятие 16. Расчеты на действие динамических нагрузок (2 час.)**

1. Учет сил инерции при действии постоянных нагрузок на конструкцию.
2. Учет сил инерции при вращении с постоянной угловой скоростью.

**Занятие 17. Расчеты на действие динамических нагрузок (2 час.)**

1. Расчеты на действие ударных и внезапно приложенных нагрузок.

**Занятие 18. Резервное занятие (2 час.)**

1. **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Сопротивление материалов» включает в себя:

* план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине:

характеристика заданий для самостоятельной работы студентов и методические рекомендации по их выполнению;

* требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
* критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **№**  **п/п** | **Дата/сроки выполнения** | **Вид самостоятельной работы** | **Примерные нормы времени на выполнение** | **Форма контроля** |
| 1 | 1-5 неделя 3 семестра | Расчетно-проектировочное задание «Геометрические характеристики плоских сечений» | 6час. | Защита РПЗ |
| 2 | 4-5 неделя 3 семестра | Решение домашних задач. Подготовка к практическим занятиям | 1 | УО-1 |
| 2 | 3-8 неделя 3 семестра | Расчетно-проектировочное задание «Осевое растяжение и сжатие. Статически определи-мая и неопределимая задачи | 3 час. | Защита РПЗ |
| 4 | 6-7 неделя 3 сем. | Основные механические характеристики материалов | 1 час | УО-2 |
| 5 | 9-10 | Изучение правил определения внутренних силовых факторов в поперечном сечении бруса | 2 часа | УО-3, 4, 5 |
| 6 | 11-15 неделя 3 семестра | Расчетно-проектировочное задание «Расчет прочности бруса при поперечном изгибе» | 4 час. | Защита РПЗ |
| 7 | 16-18 неделя 3 семестра | Понятие о напряженно-деформированном состоянии бруса. Теории прочности. | 1 час | УО-6 |
|  | 3 семестр | ИТОГО | 18 часов |  |
| 8 | 1-3 неделя 4 семестра | Раздел 2.  Сложное сопротивление. Внецентренное растяжение-сжатие. Косой изгиб. Изгиб с кручением. | 2 час | УО-7 |
| 9 | 1-3 неделя 4 семестра | Расчетно-проектировочное задание. «Внецентренное сжатие колонны» | 4 часа | Защита РПЗ |
| 10 | 4-6 неделя 4 семестра | Расчетно-проектировочное задание: «Расчет ломаного бруса на сложное сопротивление» | 4 часа | Защита РПЗ |
| 11 | 7-12 | Наработка практических навыков в применении энергетических методов определения перемещений | 6 часа | УО-8, 9, 10 |
| 12 | 7-16 | Расчетно-проектировочное задание: «Статически неопределимая плоская рама» | 6 часов | Защита РПЗ |
| 13 | 13-18 | Освоение проблемы устойчивости элементов строительных конструкций, сопротивляемости динамическому воздействию и циклическому изменению нагрузки. | 5 | УО-11 |
|  | 4 семестр | ИТОГО | 27 часов |  |
| 14 |  | Подготовка к теоретическому экзамену по курсу дисциплины Сопротивление материалов | 27 часов | Экзамен |
| **Итого:** | | | **72 часа** |  |

**Перечень самостоятельной работы студентов.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Наименование самостоятельной работы** | **Часы на**  **сам.**  **работу** | **Методическое обеспечение или рекомендуемые информационные источники** | **Вид**  **отчетности** |
| РПЗ-1«Геометрические характеристики плоских сечений» | **6** | Уложенко А.Г. Сопротивление материалов: сборник заданий для курсового проектирования[Электронный ресурс]/Инженерная школа ДВФУ.- Электрон. дан.- Владивосток: Дальневост. Федерал. ун-т, 2019.[154с.].- 1CD-ROM.  **ISSN 978-5-7444-4455-6** | Защита задания  №1 |
| РПЗ-2 «Осевое растяжение и сжатие. Статически определимая и неопределимая задачи» | **6** | Защита задания  №2 |
| РПЗ-3 «Расчет прочности бруса при поперечном изгибе» | **6** | Защита задания  №3 |
| РПЗ-4  Неразрезная балка. Уравнение трех моментов | 4 | Уложенко А.Г. Сопротивление материалов: сборник заданий для курсового проектирования[Электронный ресурс]/Инженерная школа ДВФУ.- Электрон. дан.- Владивосток: Дальневост. Федерал. ун-т, 2019.[154с.].- 1CD-ROM.  **ISSN 978-5-7444-4455-6** | Студентам предлагаются на выбор три задания из представленного перечня с защитой каждого выполненного задания |
| РПЗ-5  Статически неопределимая плоская рама | 6 |
| РПЗ-6  Расчет ломаного бруса на сложное сопротивление | 4 |
| РПЗ-7  Внецентренное сжатие колонны | 5 |
| РПЗ-8  Устойчивость сжатой стойки | 4 |
| РПЗ-9  Расчеты на действие ударной нагрузки. | 4 |

Контрольно-измерительные материалы по дисциплине представлены, экзаменационными вопросами и тестовыми материалами, предусмотренными РПД в качестве промежуточной аттестации контроля освоения теоретической и практической составляющих дисциплины. Итоговая аттестация проходит в виде, согласно учебному плану, экзамена.

**1.Задания для Устного опроса**

**По теме** “*Геометрические характеристики плоских сечений*”

1. Что называют поперечным сечением бруса?
2. Что называют центром тяжести сечения?
3. Что называют центральными осями сечения?
4. Что называют главными осями сечения?
5. Что называют Статическим моментом сечения?
6. Собственный момент инерции сечения
7. Центробежный момент инерции сечения
8. Переносный момент инерции сечения
9. Фигура состоит из двух частей. Где находится общий центр тяжести?
10. Формула полярного момента инерции круга
11. Связь осевых моментов инерции с полярным
12. Когда главные оси можно найти без вычислений?
13. Когда центр тяжести фигуры можно найти без расчета?
14. Сколько главных центральных осей в равностороннем треугольнике?

**По теме** “*Порядок построения расчетной схемы для реального объекта*”

1. Сколько расчетных схем можно составить для реального объекта?
2. Для чего рассматривают несколько расчетных схем одного объекта?
3. Какие параметры объекта подлежат схематизации?
4. Что понимается под сплошностью?
5. Абсолютная упругость?
6. Что понимается под изотропностью?
7. Когда распределенная нагрузка может приниматься как сосредоточенная сила?
8. Брус
9. Ось бруса?
10. Какой брус можно назвать прямым?
11. Какая оболочка называется плоской?

**По теме** “*Механические характеристики материалов*”

1. Физический смысл модуля Юнга
2. Свойства материала с коэффициентом Пуассона равным 0.5
3. Что такое предел пропорциональности?
4. Предел текучести
5. Площадка текучести
6. Участок упрочнения
7. Предел упругости
8. Условность предела временного сопротивления
9. Почему образец разрушается при нагрузке меньшей чем смог выдержать
10. Как с увеличением углерода в сплаве стали меняется диаграмма растяжения
11. Геометрический смысл модуля Юнга
12. Напряжение в точке
13. Что показывает эпюра внутренней силы?
14. Когда напряженное состояние в точке считается известным?

**По теме** “*Внутренние силы*”

1. Что такое Сила?
2. Внутренняя сила
3. Когда в теле нет внутренних сил?
4. Статическое действие силы
5. Что означает равновесие сил?
6. Главный вектор внутренних сил
7. Главный момент внутренних сил
8. Сколько внутренних силовых факторов можно найти в сечении?
9. Принцип разложения на проекции главного вектора
10. Перечислить внутренние силовые факторы
11. Метод сечений

**По теме** “*Гибкие нити*”

1. Какой брус называется гибкой нитью?
2. Почему при вертикальной нагрузке на нить появляется сила, стремящаяся сблизить концы нити?
3. Почему горизонтальная проекция силы натяжения нити имеет одно и то же значение в любом сечении нити?
4. Какой функцией описывается форма оси гибкой нити с малым и большим провисом?
5. Почему нить с большим провисом называют цепной линией?

**По теме** “*Простейшие деформации*”

1. Закон Гука при осевом растяжении-сжатии
2. Формула деформации при осевом растяжении-сжатии
3. Закон Гука при сдвиге
4. Физический смысл модуля Юнга
5. Абсолютная деформация при осевом растяжении-сжатии
6. Условие прочности при осевом растяжении-сжатии
7. Нормальные напряжения в любой точке сечения при чистом изгибе
8. Условие прочности при чистом изгибе
9. Что называют пределом пропорциональности?
10. Связь между поперечной силой и изгибающим моментом
11. Что такое чистый изгиб?
12. Формула Журавского
13. Что такое осевой момент сопротивления?
14. Какие гипотезы не противоречат друг другу при чистом изгибе?
15. Смысл постоянных интегрирования основного дифференциального уравнения упругой линии бруса
16. Что называют опасным сечением бруса при чистом изгибе?
17. Формула деформации при кручении
18. Условие прочности вала при кручении

Текущий контроль осуществляется проведением контрольных работ по темам практических занятий, вынесением на защиту выполненных расчетно- проектировочных заданий.

Преподаватели курса

Уложенко Анатолий Георгиевич, тел 8 914 7915515, [ulozhenko.ag@dvfu.](mailto:ulozhenko.ag@dvfu.)ru.

**СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Основная литература**

1. Сопротивление материалов (с основами строительной механики): Учебник / Г.С. Варданян, Н.М. Атаров, А.А. Горшков. - М.: ИНФРА-М, 2011. - 480 с.

<http://znanium.com/catalog/product/236670>

1. Агапов В.П. Сопротивление материалов [Электронный ресурс] : учебник / В.П. Агапов. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2014. — 336 c. <http://www.iprbookshop.ru/26864.html>
2. Belyaev N.M. Strength of materials: [textbook for high schools] / NM Belyaev. - M: Alliance, 2014.- 607 p. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:720566&theme=FEFU>
3. Borisov E.G. Resistance of materials. Laboratory workshop. - Overhead to: Publishing house FESTU, 2011. - 64 p. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:381425&theme=FEFU>
4. Михайлов А.М. Прочность материалов. Учебник. - M: Академия. 2009. - 448 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:381826&theme=FEFU>

1. Подскребко, М.Д. Сопротивление материалов [Электронный ресурс] : учебник / М.Д. Подскребко. - Минск: Выш. шк., 2007. - 797 с. Режим доступа:

<http://znanium.com/bookread2.php?book=505146>

1. Техническая механика : учебник / А.М. Михайлов. — М. : ИНФРА-М, 2017. — 375 с.

<http://znanium.com/catalog/product/550272>

1. Уложенко А.Г. Сопротивление материалов: сборник заданий для курсового проектирования; / Инженерная школа ДВФУ. –Электрон. дан.- Владивосток: Дальневос. федерал. ун-т, 2019. [-154 c.].

<http://elib.dvfu.ru/vital/access/manager/Repositorv/fefu:1698>

**Дополнительная литература**

1. Сопротивление материалов: Учебник / В.А. Волосухин, В.Б. Логвинов, С.И. Евтушенко. - 5-e изд. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 543 с.

<http://znanium.com/bookread2.php?book=390023>

1. Сопротивление материалов: Сборник задач с решениями: Учебное пособие / С.И. Евтушенко, Т.А. Дукмасова, Н.А. Вильбицкая. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 210 с.

<http://znanium.com/bookread2.php?book=390026>

1. Сопротивление материалов в примерах и задачах: Учебное пособие / Н.М. Атаров. - М.: ИНФРА-М, 2010. - 407 с.

<http://znanium.com/bookread2.php?book=191566>

1. Сопротивление материалов с осн. теории упругости и пластич.: Учеб. / Г.С.Варданян, В.И.Андреев и др.; Под ред. Г.С.Варданяна, Н.М.Атарова - 2 изд., испр. и доп. - М.: ИНФРА-М, 2011. - 638 с. <http://znanium.com/bookread2.php?book=256769>

**Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Научная электронная библиотека НЭБ

<http://elibrary.ru/querybox.asp?scope=newquery>

2. Электронно-библиотечная система издательства «Лань»

<http://e.lanbook.com/>

3. ЭБС «Консультант студента»

<http://www.studentlibrary.ru/>

4. ЭБС znanium.com НИЦ «ИНФРА-М»

<http://znanium.com/>

5. Научная библиотека ДВФУ публичный онлайн каталог

<http://lib.dvfu.ru:8080/search/query?theme=FEFU>

6. Информационная система ЕДИНОЕ ОКНО доступа к образовательным ресурсам

<http://window.edu.ru/resource>

Список учебной литературы

Список источников информации по конкретной дисциплине, **доступных в электронном виде**. Опираясь на информацию в этих источниках, студент должен суметь выполнить требуемые контрольные задания.

Материалы для организации самостоятельной работы студентов

1)Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся;

2) Контроль достижений целей курса;

3) Рекомендации по самостоятельной работе студентов;

4)Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

5) Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Требования к оформлению РПЗ

Студент выполняет РПЗ на листах формата A4 аккуратным почерком от руки или с использованием технических средств. Приветствуется использование собственноручно созданных программ для выполнения расчетов.

Каждое выполненное задание должно сопровождаться полным текстом его условия и подробным решением без опускания промежуточных расчетов, которые невозможно выполнить устно.

РПЗ должно иметь титульный лист, оформленный в соответствии с предложенным образцом.

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Оценка «Допущено к защите» за выполненное расчетно-проектировочное выставляется после устранения всех выявленных в ходе проверки ошибок и замечаний.

Оценка «Зачтено» выставляется после того, как студент в ходе защиты показывает: полное владение теоретическим материалом соответствующего раздела курса «Сопротивление материалов», умение составлять расчетную схему и владение методами решения поставленной задачи. Количество задаваемых на защиту вопросов зависит от времени обдумывания и полноты ответов студента. Итоговая оценка учитывает прилежание студента и пунктуальность соблюдения графика прохождения дисциплины.

Экспресс-опросы, направлены на выявление уровня познания дисциплины, насколько понимание студентом сути предмета совпадает с общепринятым пониманием содержания изучаемой дисциплины. А также для выявления насколько доступно излагается материал, и в случае массового недопонимания анализ результата опроса позволяет наискорейшим образом изменить тактику преподавания, акцентировать внимание на вопросах, оказавшихся трудными для понимания.

Оценка «Удовлетворительно» выставляется, если количество правильных ответов превышает 55 процентов вопросов,

оценка «Хорошо» – правильных ответов более 75 процентов и

оценка «Отлично», если количество правильных ответов составляет не менее 85 процентов от количества заданных вопросов.

Для стимулирования своевременного и планомерного освоения дисциплины студенты, предоставляющие отчеты по заданиям до назначенного срока, проходят защиту в упрощенной форме.

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы:

1.Для получения оценки “отлично” безошибочно выполненная работа должна быть представлена в установленный срок. Соискатель оценки “отлично” при защите проявляет полное понимание рассматриваемого явление, самостоятельную проработку дополнительного материала, знание методики решения проблемы и методов достижения результата. Из возможных путей решения находит и применяет наискорейший.

2. Для получения оценки “хорошо” выполненная работа с небольшими помарками должна быть представлена в установленный срок. При защите исправленной работы соискатель показывает уверенные знания в пределах изученного курса. Может составить алгоритм решения подобной задачи.

3. Для получения оценки “удовлетворительно” выполненная работа с небольшими помарками должна быть представлена в течении семестра. При защите исправленной работы соискатель показывает знания в объеме, понимания порядка получения результатов, представленных в работе пределах изученного курса. Может составить алгоритм решения подобной задачи.

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

**Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению**

**Расчетно-проектировочные задания**

**Расчетно-проектировочное задание** (РПЗ) является формой контроля СРС. Выполняется студентами в виде индивидуального домашнего задания (ИДЗ), которое выдается студентам по индивидуальным вариантам из сборника заданий для курсовых работ по номеру зачетной книжки, и после проверки защищается студентом при индивидуальном собеседовании с преподавателем. РПЗ оценивается в форме зачета (оценивается оценкой «зачтено» или «не зачтено»). Не зачтенное РПЗ возвращается студенту для выполнения работы над ошибками, после чего оно может быть сдано для проверки повторно. РПЗ считается выполненным, если оно получило итоговую оценку «зачтено».

Содержание и сроки выполнения мероприятий текущего контроля освоения дисциплины определены в п. 4 настоящей РПД.

ТЕМА 1. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЙ

Рассматриваемое поперечное сечение состоит из трех частей. Для упрощения анализа состава сечения на схеме между элементами выделены зазоры, которые фактически отсутствуют, поэтому при определении размеров конструкции следует считать примыкание элементов плотным, без зазоров. Вычерчивая контуры составных частей, уклоны и сопряжения можно выполнять условно, поскольку точная графика не является целью задания. На чертеж выносятся все размеры, необходимые для определения координат центров тяжести отдельных частей в общей системе координат. Информации, считываемой с чертежа, должно быть достаточно для заполнения ячеек таблицы 1.1. Табличная форма решения задачи позволяет значительно сократить объем пояснительной записки, сделать решение легко читаемым и, самое главное, легко проверяемым. Прививая навыки табличного оформления расчетной документации, мы повышаем культуру инженерно-конструкторской деятельности. Табличная форма представления решения сокращает время на многократное переписывание формул, снижает возможность совершения невынужденной ошибки, позволяет контролировать процесс вычисления на любом его шаге. Предлагается форма таблицы 1.1.

Координаты центра тяжести составного сечения определяются по формулам

Главные моменты инерции сечения можно вычислять по формулам, в которых отсутствуют тригонометрические функции

 или

.

Вывести эту формулу не составит большого труда, если студент разобрался с ее графическим представлением на Круге Мора. Круг Мора это диаграмма в координатах: осевой момент инерции – центробежный момент инерции (рис.1.1).

Слагаемое перед знаком радикала представляет собой координату центра Круга Мора точки С на рисунке. Значение, получаемое из-под радикала, радиус Круга Мора и одновременно наибольший центробежный момент инерции рассматриваемого сечения относительно центральных осей. Основная точка Круга Мора точка D имеет координаты *Iy* и *Ixy*. Вспомогательная точка D’ имеет координаты *Ix* и *(-Ixy)*. Поскольку центробежный момент может быть и отрицательным, то D будет находиться выше либо ниже оси, а D’

*(Ix+Iy)/2*

*Ix, Iy*, *Iu, Iv*

C

*Iy*

D’

*Ixy*

*Ixy*

D

*Ix*

*u*

*v*

Рис. 1.1. Элементы Круга Мора.

соответственно противоположно. На середине отрезка DD’ и одновременно на оси абсцисс лежит центр Круга Мора. Радиусом CD проводится окружность. Окружность пересекает ось абсцисс в точках, которые определяют значения главных осевых моментов инерции: левая определяет минимальный *Iv*, а правая максимальный главный момент инерции *Iu*. Проводя прямую через D и точку с координатой *Iu*, находим положение главной центральной оси, относительно которой осевой момент принимает максимальное значение. Через D’ и точку с координатой *Iv* проходит ось *v* – вторая главная центральная ось сечения.

Угол между осями *u* и *v* прямой, что вытекает из свойства вписанного в окружность угла, опирающегося на диаметр. Направление осей должно совпасть с расчетным значением угла *α*, получаемым по формуле

.

Разобравшись со свойствами Круга Мора, студент может самостоятельно получить формулу для вычисления центробежного момента инерции стандартного прокатного профиля вида равнобокого и неравнобокого уголка:

для равнобокого ;

для неравнобокого ,

где параметры в правой части заданы в таблице ГОСТа для каждого профиля.

Знак центробежного момента инерции определяется расположением профиля относительно координатных осей. По определению центробежный момент равен . Знак интеграла обозначает только суммирование произведений площадей элементарных площадок на расстояния их центров тяжести до осей координат. Поэтому при *dA>0*, что имеет место всегда, когда площадка существует, знак слагаемого определяется сочетанием знаков координат *x* и *y*: в I и III квадрантах координаты имеют одинаковые знаки, соответственно Ixy>0; во II и IV квадрантах знаки координат противоположные, соответственно Ixy<0. Теперь, обратив внимание на то, как расположено сечение относительно выбранной местной центральной системы координат сечения, можно визуально определить, какой знак будет превалировать “+” или “-”.

Выполнив самостоятельно задание и разобравшись со свойствами Круга Мора, любой студент ответит на контрольные вопросы, приведенные после вариантов исходных данных задания, и будет готов к защите задания.

ЗАДАНИЕ 1. **Определение главных центральных моментов инерции сечения и положения главных центральных осей сечения**

1.Найти положение главных центральных осей и величину

главных центральных моментов инерции.

2.Начертить в масштабе составной профиль, указать на нем все

оси и все необходимые для вычислений размеры.

3.Проверить вычисления построением круга Мора

*Примечание*. Размеры *а* и *b* заданы в сантиметрах.

Таблица 1.2.

Варианты задания

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Двутавр | Швеллер | Уголок  равнобокий | Уголок  неравнобокий | а | b |  |
| 01 |  | 16 | 70 х 6 |  | 1,6 | 20 |
| 21 |  | 18 | 75 х 7 |  | 1,8 | 18 |
| 41 |  | 20 | 80 х 7 |  | 2,0 | 20 |
| 61 |  | 22 | 90 х 8 |  | 2,2 | 20 |
| 81 |  | 24 | 100 х 8 |  | 2,4 | 22 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Двутавр | Швеллер | Уголок  равнобокий | Уголок  неравнобокий | а | b |  |
| 02 |  | 16 | 70 х 6 |  | 1,6 | 20 |
| 22 |  | 18 | 75 х 7 |  | 1,8 | 18 |
| 42 |  | 20 | 80 х 7 |  | 2,0 | 20 |
| 62 |  | 22 | 90 х 8 |  | 2,2 | 20 |
| 82 |  | 24 | 100 х 8 |  | 2,4 | 22 |

**Контрольные вопросы**

по теме «Геометрические характеристики плоских сечений»

1. Что такое ось бруса?
2. Что такое центр тяжести сечения?
3. Что такое статический момент сечения?
4. Укажите главную ось в пределах контура равнобедренного треугольника, относительно которой осевой момент инерции имеет максимальное значение.
5. Где находится Ц.Т. сечения, состоящего из двух одинаковых частей?
6. Что такое центральные оси сечения?
7. Что такое осевой момент инерции?
8. Может ли главная ось быть нецентральной?
9. Что такое собственный момент инерции?
10. Что такое переносный момент инерции?
11. Ограничено ли изменение осевых моментов инерции при повороте координатных осей на 180°?
12. Есть ли связь между осевыми моментами инерции и полярным моментом инерции сечения?
13. Как определить наибольшее значение центробежного момента инерции сечения?
14. Что такое главные оси сечения?
15. Какое соотношение между осевыми моментами инерции сечения, если центробежный момент инерции достигает своего максимального значения?
16. Что такое полюс сечения?
17. На какой угол нужно повернуть координатные оси, чтобы осевой момент инерции стал равным нулю?
18. Для какой оси из множества параллельных, осевой момент инерции принимает минимальное значение?
19. Когда положение главных осей можно определить без вычислений?
20. Сколько главных осей можно указать для любого сечения?
21. Какие параметры сечения необходимо знать, чтобы вычислить осевые моменты инерции при параллельном переносе осей?
22. Какова размерность статического момента площади сечения?
23. Какова размерность полярного момента инерции?
24. Как, зная один главный момент инерции и два осевых момента инерции, определить максимальный центробежный момент инерции сечения?
25. Как, зная один главный момент инерции и два осевых момента инерции, определить второй главный?
26. Как определить центр тяжести сечения, имеющего две оси симметрии?
27. Как определить центр тяжести сечения, имеющего одну ось симметрии?

ТЕМА 2. ОСЕВОЕ РАСТЯЖЕНИЕ – СЖАТИЕ

По теме «Осевое растяжение – сжатие» предлагаются два задания. Первое на определение размеров сечений статически определимой стержневой конструкции и второе на раскрытие статической неопределимости и подбор размеров сечения для статически неопределимой системы.

В первой задаче из условия равновесия жесткого бруса, деформацией которого можно пренебречь, необходимо определить усилие в растяжках и подкосах. А также по условию прочности на растяжение или сжатие подобрать размеры поперечного сечения для каждого из стержней, выполняющих функцию растяжек и подкосов. При определении усилий потребуются навыки, полученные в курсе теоретической механики.

К выполнению решения нужно подходить рационально. Если брус шарнирно закреплен на неподвижной опоре, и знание реакций в шарнире не влияет на отыскание усилий в стержнях, то выполнять работу по отысканию этих реакций не нужно.

Искомые усилия находятся из условия равновесия “тела”. Следовательно, необходимо выделить это ”тело” из состава конструкции, заменить нарушенные связи реакциями и составить уравнения равновесия ”тела”.

При найденных значениях усилий в стержнях по условию прочности определяются размеры сечения. Нельзя забывать о знаке неравенства в условии прочности. Решая неравенство в буквенном выражении относительно искомой величины, конструктор получает информацию о том, в какую сторону он волен принимать решение при назначении размера. Поскольку задача практическая, то маловероятно, что “на складе” найдется профиль точно того размера, который получен расчетом, поэтому необходимо подобрать подходящий.

Подобрав размеры искомых сечений стержней, определяют линейное перемещение заданной точки ”К”. Для этого нужно представить картину перемещений жесткого бруса в результате деформирования элементов, выяснить, с деформацией какого или каких элементов связано искомое перемещение δ точки К. Определить его с учетом уже принятых размеров сечений, а не тех, что были получены в результате расчета.

Во второй задаче рассматривается статически неопределимая система, состоящая из жесткого бруса и упругих элементов в виде стержней. Стержни работают на растяжение-сжатие. Система единожды статически неопределима, и для ее решения требуется составить дополнительно к уравнениям равновесия уравнение перемещений из условия совместности деформаций. Задача студента состоит в том, чтобы представить перемещение конструкции, вызванное деформацией упругих элементов, и “увидеть” совместную деформацию, т.е. связать перемещения определенных узлов жесткого бруса с деформациями стержней.

При составлении уравнения используется конструктивно заданное соотношение площадей сечений стержней. Это упрощает решение, но при подборе размеров сечений необходимо учитывать не только условия прочности, но и использованное конструктивное условие. В результате, искомые размеры сечений должны удовлетворять условиям прочности и строго удовлетворять конструктивному условию, иначе нарушается равенство в использованном при решении системы дополнительном уравнении.

ЗАДАНИЕ 2.1 **Определение размеров сечений стержней статически определимой стержневой конструкции**

Для стержневой конструкции требуется:

1. Определить усилия в стержнях;
2. Из условия прочности определить величину площади сечения;
3. По величине площади сечения подобрать либо подходящий номер профиля по сортаменту, либо характерный размер сечения (диаметр, сторону квадрата). Для трубчатого сечения принять толщину стенки t=0,1D.
4. Вычислить вертикальное перемещение точки К.

В расчетах принять для материала стержней σт = 240 МПа и Е = 2.105 МПа, допускаемый коэффициент запаса прочности: при растяжении [n]р = 1,6 , а при сжатии [n]с= 3,2. Длина второго стержня L2 = 200 см, если она не определяется через заданные размеры схемы. Длина первого стержня L1 определяется из таблицы или через заданные размеры на схеме. Линейные размеры на схеме заданы в сантиметрах.

Остальные исходные данные задачи взять из таблицы 2.1.

Варианты задания Таблица 2.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | q  кН/м | P  кН | M  кН\*м | L1  м | Форма 1 | Форма 2 |  |
| 01 | 14 | 48 | 55 | 2,6 |  |  |
| 21 | 16 | 68 | 60 | 2,8 |  |  |
| 41 | 18 | 88 | 65 | 2,3 |  |  |
| 61 | 20 | 58 | 70 | 2,5 |  |  |
| 81 | 22 | 78 | 75 | 2,7 |  |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | q  кН/м | P  кН | M  кН\*м | L1  м | Форма 1 | Форма 2 |  |
| 02 | 18 | 88 | 120 | 2,9 |  |  |
| 22 | 16 | 78 | 130 | 3,1 |  |  |
| 42 | 24 | 96 | 140 | 3,0 |  |  |
| 62 | 20 | 120 | 150 | 3,2 |  |  |
| 82 | 22 | 85 | 160 | 3,4 |  |  |

ЗАДАНИЕ 2.2. **Определение размеров сечений стержней статически неопределимой стержневой конструкции**

Для статически неопределимой стержневой системы требуется:

1. Раскрыть статическую неопределимость, считая горизонтальную балку абсолютно жесткой;
2. Подобрать из условия прочности требуемые площади поперечных сечений стержней.

Материал стержней считать одинаковым. Длина первого стержня L1 = 100 см, а второго - L2 = 200 см.

Допускаемые напряжения для материала стержней : на растяжение [σ]p = 160 МПа, и на сжатие [σ]с = 80 МПа.

Линейные размеры на схеме заданы в сантиметрах.

Остальные исходные данные взять из таблицы 2.2

Таблица 2.2 Варианты задания

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | q  кН/м | P  кН | M  кН\*м | A1/A2 |  |
| 01 | 30 | 71 | 61 | 1,3 |
| 21 | 40 | 95 | 75 | 1,9 |
| 41 | 36 | 85 | 65 | 1,7 |
| 61 | 32 | 63 | 91 | 1,5 |
| 81 | 35 | 91 | 85 | 2.2 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | q  кН/м | P  кН | M  кН\*м | A1/A2 |  |
| 02 | 26 | 45 | 60 | 1,4 |
| 22 | 36 | 80 | 80 | 1,6 |
| 42 | 32 | 60 | 70 | 1,8 |
| 62 | 40 | 72 | 65 | 2,0 |
| 82 | 37 | 84 | 85 | 2,2 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | q  кН/м | P  кН | M  кН\*м | A1/A2 |  |
| 03 | 3,4 | 9,3 | 10 | 1,4 |
| 23 | 4,0 | 8,9 | 13 | 1,6 |
| 43 | 3,6 | 8,1 | 9,5 | 1,8 |
| 63 | 3,2 | 7,2 | 7,5 | 2,0 |
| 83 | 3,4 | 8,3 | 8,5 | 2,2 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | q  кН/м | P  кН | M  кН\*м | A1/A2 |  |
| 04 | 4,5 | 5,5 | 8,8 | 1,3 |
| 24 | 4,0 | 4,5 | 9,0 | 1,5 |
| 44 | 3,6 | 5,0 | 9,5 | 1,7 |
| 64 | 3,2 | 6,5 | 8,4 | 1,9 |
| 84 | 3,0 | 5,0 | 7,2 | 2,1 |

**Контрольные вопросы**

по теме «Осевое растяжение-сжатие»

1. Что называется напряжением?
2. Какие выделяют компоненты напряжения в площадке сечения?
3. Почему составляющие напряжения носят такие названия?
4. Почему осевое растяжение-сжатие относится к простым деформациям?
5. Объяснить *Закон Гука*?
6. Какой геометрический смысл имеет *модуль Юнга*?
7. Какой физический смысл имеет *модуль Юнга*?
8. Что такое абсолютное удлинение?
9. Что такое относительная деформация?
10. Абсолютное удлинение и относительная деформация, которое из них несет большую информацию о деформированном состоянии?
11. От чего зависит деформация при осевом растяжении-сжатии?
12. В чем состоит принцип суперпозиции, и есть ли предел его применимости?
13. Что называется жесткостью при осевом растяжении-сжатии?
14. Что такое «допускаемое напряжение»?
15. В чем смысл условия прочности?
16. В чем смысл условия жесткости?
17. Что такое предел текучести материала σт?
18. Что влияет на выбор коэффициента запаса прочности?
19. В чем состоит условность диаграммы растяжения образца из мягкой стали?
20. Почему по диаграмме ***σ – ε*** разрушение при растяжении происходит не при наибольших напряжениях?
21. Имеет ли смысл предел временного сопротивления?
22. Как определяется величина силы в сечении?
23. Какие задачи называют статически неопределимыми.
24. Что называют степенью статической неопределимости?
25. Как называется дополнительное уравнение при раскрытии статической неопределимости?
26. Чем объясняется “ ступенька” на эпюре внутреннего силового фактора?
27. Когда на контуре эпюры появляется излом?

ТЕМА 3. ПОПЕРЕЧНЫЙ ИЗГИБ БРУСА ПОСТОЯННОГО СЕЧЕНИЯ

По теме «Поперечный изгиб бруса» предлагаются три задачи. В первой задаче брус – однопролетная шарнирно-опертая балка, во второй – брус-консоль, т.е. балка с жестко защемленным концом. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов для них не представляет особых трудностей. Проблему может представлять неравномерно распределенная нагрузка, но она преодолима. Геометрически поперечная сила в сечении бруса от такой нагрузки равна части площади ее эпюры, попадающей на рассматриваемый участок. Для определения этой площади необходимо знать текущее значение интенсивности нагрузки q(x), которое, как не трудно видеть из рисунка 3.1, определяется из геометрического подобия

; ; 

*b*

*x*

*q(x)*

x

*q*

*a*

x

Рис. 3.1. Определение текущего значения интенсивности распределенной нагрузки

Изгибающий момент от неравномерно распределенной нагрузки равен произведению равнодействующей силы на плечо, которое равно расстоянию от центра тяжести рассматриваемой части эпюры нагрузки до оси, проходящей через центр тяжести сечения с координатой ***x***, перпендикулярно плоскости изгиба, т.е. плоскости рисунка. Где находится центр тяжести прямоугольника или треугольника известно всем, следовательно, определить плечо не составляет особого труда.

В третьей задаче задания поставлена на первый взгляд «лишняя» опора, превращающая балку в статически неопределимую. Но имеющийся врезанный шарнир снимает одну степень неопределимости и брус оказывается статически определим. Все реакции связей могут быть определены из уравнений статического равновесия. Учитывая, что момент через шарнир не передается, можно мысленно расчленить брус по шарниру. Для каждой из частей расчлененный шарнир будет связью, поэтому, заменяя отброшенную часть, нужно добавить по две составляющие реакции с каждой стороны шарнира. Одна из частей бруса оказывается статически определимой, и можно найти опорную реакцию, составив уравнение моментов относительно шарнира. Уравнение содержит одну неизвестную силу. Чтобы не находить составляющие реакции в шарнире, возвращаем брус к исходному виду, т.е. соединяем разорванные части. Теперь к балке приложены только три неизвестные составляющие реакции, которые без особого труда определятся из уравнений равновесия балки. Затем составляются выражения для поперечной силы и изгибающего момента и строятся их графические образы – эпюры. Правильность построения эпюры моментов определяется по нулевому значению момента в сечении врезанного шарнира и на концевых шарнирных опорах, если они есть.

При построении эпюр поперечной силы Q и изгибающего момента M нужно использовать интегрально-дифференциальные зависимости между Q и M:

 , .

Применяя навыки математического анализа, можно с наименьшими затратами сил и времени правильно отразить характер изменения внутренних силовых факторов Q и M на графиках.

Для первой балки по значению изгибающего момента в опасном сечении подбираются поперечные размеры бруса сплошного прямоугольного сечения, выполненного из дерева, а для балки из третьей задачи подбирается двутавровое сечение прокатного профиля. При определении наибольшего касательного напряжения по формуле Журавского значение статического момента для половины сечения двутавра выбирается из таблицы сортамента по ГОСТу.

ЗАДАНИЕ 3. **Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Определение размеров поперечного сечения балки постоянного сечения**

Для статически определимых балок требуется :

1. Составить аналитические выражения поперечных сил Q(x) и изгибающих моментов M(x);
2. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов;
3. Подобрать прямоугольное сечение для первой балки из условия прочности по нормальным напряжениям. Принять соотношение сторон сечения h : b = 2 : 1, при допускаемых напряжениях [σ] = 10 МПа;
4. Подобрать двутавровое сечение для третьей балки, выполненной из стали при допускаемых напряжениях [σ] = 120 МПа. Определить наибольшие нормальные и касательные напряжения в сечении, где поперечная сила Q(x) и изгибающий момент M(x) имеют наибольшие значения.

Варианты задания

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | q,  кН/м | P,  кН | M,  кН\*м | a,  м | b,  м | c,  м | d,  м |  |
| 01 | 20 | 40 | 80 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 1,8 |
| 21 | 18 | 65 | 90 | 2,0 | 2,5 | 1,8 | 3,0 |
| 41 | 16 | 50 | 95 | 1,8 | 3,0 | 2,0 | 2,5 |
| 61 | 22 | 55 | 75 | 3,0 | 2,0 | 2,5 | 1,8 |
| 81 | 24 | 60 | 85 | 2,4 | 2,5 | 3,0 | 1,5 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | q,  кН/м | P,  кН | M,  кН\*м | a,  м | b,  м | c,  м | d,  м |  |
| 02 | 15 | 25 | 50 | 2,2 | 2,0 | 3,0 | 2,5 |
| 22 | 20 | 30 | 70 | 2,3 | 2,4 | 2,8 | 3,0 |
| 42 | 25 | 35 | 80 | 2,4 | 2,6 | 2,6 | 1,5 |
| 62 | 20 | 40 | 75 | 2,5 | 2,8 | 2,4 | 2,0 |
| 82 | 15 | 45 | 60 | 2,6 | 3,0 | 2,2 | 2,4 |

**Контрольные вопросы**

по теме «Поперечный изгиб»

1. Почему поперечный изгиб не относится к сложному сопротивлению?
2. В чем состоит принцип суперпозиции, и есть ли предел его применимости?
3. Что называется жесткостью при изгибе?
4. Что такое предел текучести материала *σт*?
5. Что такое поперечная сила?
6. Что такое изгибающий момент?
7. Как определяется величина силы в сечении?
8. Что называется плечом переноса силы?
9. Как проверить правильность построения эпюры *Мизг* по эпюре *Q*?
10. Как “угадать” характер эпюры *Мизг* по эпюре *Q*?
11. Как найти значение изгибающего момента в сечении, если есть в наличии эпюра *Q*?
12. Объяснить на примере интегральную связь между *Q* и *Мизг*.
13. Записать основное дифференциальное уравнение при изгибе бруса.
14. Какие допущения принимаются при получении основного дифференциального уравнения упругой линии бруса?
15. В чем смысл постоянных интегрирования основного дифференциального уравнения?
16. Что называется граничным условием?
17. Чем отличаются граничные условия от начальных условий?
18. Что такое чистый изгиб?
19. Что такое поперечный изгиб?
20. Как определить нормальные напряжения в любой точке сечения при чистом изгибе?
21. Как определяются наибольшие нормальные напряжения при изгибе?
22. Что такое опасное сечение?
23. Что называют осевым моментом сопротивления?
24. Что характеризует осевой момент сопротивления?
25. Как выгоднее установить брус квадратного сечения, испытывающего деформацию изгиба?
26. Что характеризует экономичность бруса, испытывающего деформацию изгиба?
27. Почему изгибающий момент в сечении врезанного в брус шарнира равен нулю?
28. Какие гипотезы принимаются при исследовании деформации чистого изгиба?
29. Какая из принятых гипотез не находит подтверждения при поперечном изгибе?
30. В случае каких внешних нагрузок при поперечном изгибе можно пользоваться формулой для нормальных напряжений при чистом изгибе?
31. Как по эпюре *Мизг* представить вид изогнутой оси бруса?
32. В каком случае при поперечном изгибе учитываются оба напряжения: нормальное и касательное?
33. Какие параметры входят в *формулу Журавского*?
34. Почему в *формуле Журавского* допускается раздвоение в определении статического момента части сечения?

ТЕМА 4. НЕРАЗРЕЗНАЯ БАЛКА. УРАВНЕНИЕ ТРЕХ МОМЕНТОВ

Рассматривается раскрытие статической неопределимости неразрезной многопролетной балки методом сил в специальной форме, называемой уравнением трех моментов. Основная система выбирается путем врезания дополнительных шарниров над промежуточными опорами. Для того, чтобы система независимых однопролетных балок была эквивалентна исходной неразрезной конструкции, у каждой промежуточной опоры прикладывается момент неизвестной величины, назначение которого – заставить сечения, принадлежащие левому и правому пролету у промежуточной опоры, поворачиваться в одну сторону и на один и тот же угол. Составляя выражение угла поворота сечения слева от опоры и справа и приравнивая их, получим дополнительное уравнение перемещений из условия совместности деформаций. Степень неопределимости неразрезной балки равна количеству промежуточных опор. Уравнений перемещения должно быть ровно столько же. Для получения дополнительного уравнения рассматриваются два смежных пролета балки. На конце каждого пролета прикладывается искомый момент. В итоге в уравнение углового перемещения сечения балки над каждой дополнительной опорой входят три момента: у левой и у правой опоры, а также в сечении над средней опорой. Поэтому уравнение носит название “Уравнение трех моментов”

,

где *Млев, Мсредн* и *Мправ* - моменты у левой, средней и правой опор соответственно;

*lлев, lправ* – длина левого и правого пролета;

*Sлев, Sправ* – статический момент площади эпюры изгибающих моментов от внешней нагрузки относительно левой опоры для левого пролета и относительно правой опоры для правого пролета соответственно.

Это уравнение может быть использовано для бруса, у которого одна из концевых опор или даже обе заменена жесткой заделкой. В этом случае заделка заменяется шарнирной опорой и добавляется момент. Если заделка на левом конце, в уравнении отсутствует первое слагаемое, а у второго слагаемого *Lлев=0*, в правой части уравнения *Sлев/Lлев* также отсутствует. Это уравнение определяет, при каком значении момента в заделке угол поворота левого опорного сечения будет равен нулю.

Для определения свободных членов уравнений используется графоаналитический метод, известный как *способ Верещагина*.

После решения системы уравнений все опорные моменты известны и можно строить эпюру изгибающего момента для неразрезной балки. Для ее построения используются несколько способов:

1. Рассматривается каждый пролет отдельно с учетом опорных моментов у левой и правой опоры. Эпюры для отдельных пролетов составляются в цепочку и получается результирующая эпюра для неразрезной балки.
2. На эпюры моментов только от внешней нагрузки для однопролетных шарнирно опертых балок накладывается эпюра от опорных моментов. Последняя представляет собой ломаную линию. Ордината вершины или впадины излома определяется величиной опорного момента. Накладывая эту ломаную линию, но противоположного знака, т.е. умноженную на (-1), на эпюру от пролетной нагрузки, получают суммарную эпюру, ось отсчета которой есть ломаная линия опорных моментов. Все, что находится между контуром эпюры от пролетной внешней нагрузки и осью, будет являться суммарной эпюрой моментов. Выше оси - “плюс”, ниже оси - “минус”. Для удобства чтения эпюры ломаную линию можно спрямить, сохраняя при этом суммарные ординаты эпюры.

Поскольку принятое правило знаков для эпюры моментов предполагает, что эпюра строится со стороны сжатых волокон, то по внешнему виду эпюры можно приближенно представить внешний вид изогнутой оси неразрезной балки. Так как опора не дает просадку, то изогнутая ось должна касаться опоры, а в сечениях, где меняется знак момента, происходит смена знака кривизны оси, т.е. это точка перегиба на изогнутой оси. Точка перегиба может оказаться выше либо ниже недеформированной оси балки. Изогнутая ось еще называется упругой линией бруса.

По значению изгибающего момента в опасном сечении подбирается двутавровое сечение.

ЗАДАНИЕ 4. **Раскрытие статической неопределимости балок с помощью уравнения трех моментов**

Для статически неопределимой неразрезной балки требуется :

* + - 1. Раскрыть статическую неопределимость, используя уравнение трех моментов;
      2. Определить реакции всех опор и сделать проверку, найденных величин;
      3. Построить эпюры поперечных сил Q(x) и изгибающих моментов M(x);
      4. Подобрать двутавровое сечение балки при допускаемых напряжениях [σ] = 160 МПа;
      5. Представить примерный вид изогнутой оси балки.

*Примечание*. Линейные размеры участков заданы в метрах.

Варианты задания

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант | P,  кН | M,  кН\*м |  |
| 01 | 40 | 30 |
| 21 | 50 | 20 |
| 41 | 20 | 40 |
| 61 | 20 | 30 |
| 81 | 30 | 20 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант | P,  кН | M,  кН\*м |  |
| 02 | 40 | 30 |
| 22 | 50 | 20 |
| 42 | 20 | 40 |
| 62 | 20 | 30 |
| 82 | 30 | 20 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант | P,  кН | M,  кН\*м |  |
| 03 | 40 | 30 |
| 23 | 50 | 20 |
| 43 | 20 | 40 |
| 63 | 20 | 30 |
| 83 | 30 | 20 |

**Контрольные вопросы**

по теме «Неразрезная балка»

1. Что называется напряжением?
2. Почему составляющие напряжения носят такие свои названия?
3. Что такое допускаемое напряжение?
4. Что такое изгибающий момент?
5. Как определяется величина поперечной силы в сечении?
6. Что называется плечом переноса силы?
7. Как проверить правильность построения эпюры *Мизг* по эпюре *Q*?
8. Как найти значение изгибающего момента в сечении, если есть в наличии эпюра *Q*?
9. Какие задачи называют статически неопределимыми?
10. Что называют степенью статической неопределимости?
11. Как называется дополнительное уравнение при раскрытии статической неопределимости?
12. Как определить нормальные напряжения в любой точке сечения при чистом изгибе?
13. Что называют осевым моментом сопротивления?
14. Как выгоднее установить брус квадратного сечения, испытывающего деформацию изгиба?
15. Что характеризует экономичность бруса, испытывающего деформацию изгиба?
16. Почему при изгибе в сечении врезанного шарнира на эпюре момент равен нулю?
17. Как по эпюре *Мизг* представить вид изогнутой оси бруса?
18. В каком случае при поперечном изгибе учитываются оба напряжения: нормальное и касательное?
19. Какие параметры входят в *формулу Журавского*?
20. Почему допускается раздвоение в определении статического момента в *формуле Журавского*?
21. Чем объясняется “ ступенька” на эпюре внутреннего силового фактора?
22. Когда на контуре эпюры появляется излом?
23. Почему «*метод сил*» носит такое название?
24. Что уравнивает каноническое уравнение *метода сил*?
25. Что уравнивает *уравнение трех моментов*?
26. Какими способами можно построить суммарную эпюру изгибающих моментов для неразрезной балки?

ТЕМА 5. СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМАЯ ПЛОСКАЯ РАМА

По теме «Статически неопределимая плоская рама» предлагается раскрыть статическую неопределимость плоской рамы, построить эпюры внутренних силовых факторов, подобрать размеры поперечного сечения элементов рамы и схематично построить вид изогнутой оси рамы. Задача трижды статически неопределимая. Встречаются варианты с шестью дополнительными связями, но в этом случае есть возможность воспользоваться свойствами геометрической и силовой симметрии. Некоторые силовые факторы в сечении, совпадающем с плоскостью симметрии, равны нулю по определению, и сокращается количество дополнительных уравнений. Применяется *метод сил* в форме *способа Верещагина*.

Правильность решения проверяется графоаналитически. Определяем перемещение сечения конструкции, про которое заранее известно, что оно равно нулю. Умножается суммарная эпюра изгибающего момента на одну из единичных эпюр, использованных при определении коэффициентов системы канонических уравнений. Из граничных условий известно, что перемещение в направлении любой из этих единичных сил равно нулю, следовательно, в результате произведения суммарных эпюр на единичную эпюру должны получить нулевое значение. В этом случае считается, что проверка состоялась. С учетом закрепления рамы и формы эпюры изгибающих моментов строится примерный вид деформированной рамы.

ЗАДАНИЕ 5**. Раскрытие статической неопределимости рамы методом сил**

Для статически неопределимой рамы требуется :

1.Раскрыть статическую неопределимость, используя метод сил;

2.Определить реакции всех опор и сделать проверку, найденных величин;

3.Построить эпюры продольных сил *N*, поперечных сил *Q* и изгибающих моментов *M*;

4.Сделать проверку правильности построения эпюры *М*;

5.Подобрать диаметр стального стержня круглого сечения при допускаемых напряжениях [σ] = 160 МПа;

6.Изобразить примерный вид упругой линии рамы.

Принять: P = q \* a , M = q \* a2. Элементы рамы имеют одинаковое поперечное сечение**.**

Варианты задания

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | q,  кН/м | a,  м | b,  м | c,  м |  |
| 01 | 15 | 2.0 | 1.2 | 1.5 |
| 21 | 18 | 1.8 | 1.4 | 1.4 |
| 41 | 20 | 1.6 | 1.5 | 1.2 |
| 61 | 25 | 1.2 | 1.6 | 1.0 |
| 81 | 12 | 1.4 | 2.0 | 1.6 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | q,  кН/м | a,  м | b,  м | c,  м |  |
| 02 | 15 | 2.0 | 1.2 | 2.5 |
| 22 | 18 | 1.8 | 1.4 | 2.4 |
| 42 | 20 | 1.6 | 1.5 | 2.2 |
| 62 | 25 | 1.2 | 1.6 | 2.0 |
| 82 | 12 | 1.5 | 2.0 | 2.6 |

**Контрольные вопросы**

по теме «Статически неопределимая плоская рама»

1. Какая конструкция называется плоской рамой?
2. Как определяется степень статической неопределимости плоской рамы?
3. В чем состоит принцип суперпозиции, и есть ли предел его применимости?
4. В чем смысл коэффициента «½» в выражении потенциальной энергии деформации?
5. Какие задачи называют статически неопределимыми?
6. Как называется дополнительное уравнение, составляемое при раскрытии статической неопределимости?
7. Что такое поперечный изгиб?
8. Как определить нормальные напряжения в любой точке сечения при чистом изгибе?
9. Какая гипотеза не находит подтверждения при поперечном изгибе?
10. При каких внешних нагрузках, вызывающих поперечный изгиб, можно пользоваться формулой для нормальных напряжений при чистом изгибе?
11. Как по эпюре *Мизг* представить вид изогнутой оси бруса?
12. В каком случае при поперечном изгибе учитываются оба напряжения: нормальное и касательное?
13. Почему допускается раздвоение в определении статического момента в *формуле Журавского*?
14. Почему «*метод сил*» имеет такое название?
15. Что уравнивает каноническое уравнение *метода сил*?
16. В чем суть коэффициента канонического уравнения *метода сил*?
17. Как воспользоваться преимуществами геометрически симметричной рамы?
18. Как проверить правильность эпюры изгибающих моментов, полученной после раскрытия статической неопределимости?
19. Как определяется перемещение сечения статически неопределимой рамы?
20. Почему при определении перемещения сечения рамы рассматривается не исходная неопределимая рама, а любая возможная основная система?

ТЕМА 6. РАСЧЕТ БРУСА С ПРОСТРАНСТВЕННО ИЗОГНУТОЙ ОСЬЮ НА СЛОЖНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Коленчатый вал двигателя внутреннего сгорания представляет собой брус с пространственно изогнутой осью.

В задании рассматривается брус упрощенной формы, у которого один конец жестко защемлен и колена направлены параллельно осям прямоугольной системы координат.

Даже простая нагрузка, прикладываемая к одному элементу бруса и вызывающая в этой части простую деформацию, в других частях бруса уже вызывает сложное напряженно-деформированное состояние, называемое сложным сопротивлением. Как известно, в консольном брусе можно не искать опорные реакции в заделке, если выбрать начало отсчета на свободном конце консоли. В случае ломаного бруса, применив такой же прием, можно избавиться от нахождения шести составляющих опорной реакции. Перемещаясь к заделке, последовательно рассчитываются прямые элементы бруса. Поскольку в расчете появляется много силовых факторов, и есть реальная возможность допустить ошибки, рекомендуется первоначально задаться направлением координатных осей, направив их параллельно осям колен бруса. Принять обозначения осей согласно правосторонней системе координат и не изменять обозначения при переходе к смежным частям бруса.

При отсутствии практического навыка рекомендуется вычертить каждое колено отдельно, показав всю действующую нагрузку, и составить выражения для всех шести внутренних силовых факторов. По полученным выражениям построить эпюры, ориентируя графики в тех плоскостях, в которых действуют рассматриваемые факторы. Для лучшей читаемости полученного решения графики лучше строить на четырех осях, повторяющих контур заданного бруса. Отдельно строятся эпюры нормальной силы *N(x)*, крутящего момента *Мкр*, изгибающего момента *Мизг* и поперечной силы *Q(x)*. Эпюры изгибающего момента и поперечной силы для каждого колена бруса строятся в двух плоскостях, в которых эти факторы действуют.

При переходе к следующему участку бруса в его начало переносится вся нагрузка, приложенная к предыдущему, по правилам, известным из теоретической механики. Момент пары сил переносится без изменений, а при параллельном переносе силы добавляется момент равный произведению силы на плечо переноса. Знание дифференциально-интегральной зависимости между *Q(x)* и *Мизг* позволяет точнее отразить на графике характер изменения изгибающего момента по длине элемента бруса.

По эпюрам отыскивается опасное сечение в каждом колене бруса и значения всех силовых факторов в этом сечении. Если имеет место сложное сопротивление, то подбор размеров сечения осуществляется по критерию наибольших касательных напряжений, известной как третья теория прочности. Эквивалентный расчетный момент в опасном сечении получают по формуле

.

По заданию для такого участка предлагается подобрать брус круглого поперечного сечения, Расчетный диаметр определяется из условия прочности

,   

Проверку прочности проводим по формуле



Если в сечении действует еще и продольная сила *N* , то нормальные и касательные напряжения определяются

, 

и σэквш будет больше [σ], так как при подборе сечения не учитывалась продольная сила. Поэтому задачу можно решить последовательными приближениями, задаваясь приращением диаметра Δd и проверяя напряжения по условию прочности.

Приветствуется инициатива студентов, которые найдут и применят другой способ решения: путем решения кубического уравнения относительно диаметра либо нахождение приращения диаметра через дифференциал, либо какой-то иной.

ЗАДАНИЕ 6. **Расчет ломаного бруса на сложное сопротивление**

Для пространственного ломаного консольного бруса требуется:

1. Построить эпюры всех действующих в сечении элемента внутренних сил, принимая значения силы и пары сил равными: P1 = q\*a , M = q\*b2;

2. Подобрать размеры стального бруса при допускаемом нормальном напряжением [σ] = 160 МПа, если конструктивно задано, что: стержень 1 - сплошного круглого сечения; стержень 2 - сплошного прямоугольного сечения с отношением высоты к ширине как 3:2; стержень 3 - полого круглого сечения с толщиной стенки составляющей 20% от наружного диаметра.Подбор сечения производить по эквивалентному моменту **.**

3. Проверить прочность, учитывая составляющую нормального напряжения от нормальной силы. При одновременном действии в точке нормальных и касательных напряжений эквивалентные напряжения определяются потеории наибольших касательных напряжений .При необходимости скорректировать размеры.

Варианты задания

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | q,  кН/м | P2/P1 | a,  м | b,  м | c,  м |  |
| 01 | 15 | 1.0 | 2.0 | 1.2 | 1.5 |
| 21 | 18 | 1.2 | 1.8 | 1.4 | 2.4 |
| 41 | 20 | 1.4 | 1.6 | 1.5 | 2.2 |
| 61 | 25 | 1.6 | 1.2 | 1.6 | 2.0 |
| 81 | 12 | 1.5 | 1.5 | 2.0 | 2.6 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | q,  кН/м | P2/P1 | a,  м | b,  м | c,  м |  |
| 02 | 15 | 1.2 | 2.0 | 1.2 | - |
| 22 | 18 | 1.5 | 1.8 | 1.4 | - |
| 42 | 20 | 2.0 | 1.6 | 1.5 | - |
| 62 | 25 | 1.8 | 1.2 | 1.6 | - |
| 82 | 12 | 1.6 | 1.5 | 2.0 | - |

**Контрольные вопросы**

по теме «Сложное сопротивление»

1. Что называется напряжением?
2. Какие выделяют компоненты напряжения?
3. Почему составляющие напряжения носят такие названия?
4. Как формулируется *Закон Гука*?
5. Что такое абсолютное удлинение?
6. Что такое относительная деформация?
7. Абсолютная и относительная деформация, какая из них несет большую информацию о деформированном состоянии?
8. Что такое допускаемое напряжение?
9. В чем смысл условия прочности?
10. В чем смысл условия жесткости?
11. Что влияет на выбор коэффициента запаса прочности?
12. Что такое нормальная сила?
13. Что такое поперечная сила?
14. Что такое изгибающий момент?
15. Что такое крутящий момент?
16. Как определяется величина силы в сечении?
17. Как определяется изгибающий момент в сечении?
18. Что называют плечом переноса силы?
19. Как проверить правильность построения эпюры *Мизг* по эпюре *Q*?
20. Как “угадать” характер эпюры *Мизг* по эпюре *Q*?
21. Как найти значение изгибающего момента в сечении, если есть в наличии эпюра *Q*?
22. Что такое чистый изгиб?
23. Что такое поперечный изгиб?
24. Что такое косой изгиб?
25. Как определить нормальные напряжения в любой точке сечения при чистом изгибе?
26. Что называют осевым моментом сопротивления?
27. Что характеризует осевой момент сопротивления?
28. Какие внешние нагрузки при поперечном изгибе допускают использование формулы для нормальных напряжений при чистом изгибе?
29. Как по эпюре *Мизг* представить вид изогнутой оси бруса?
30. В каком случае при поперечном изгибе учитываются оба напряжения: нормальное и касательное?
31. Почему в *формуле Журавского* допускается раздвоение в определении статического момента?
32. Что такое «Теория прочности»?
33. Чем вызвано многообразие теорий прочности?
34. Как произвести подбор сечения в случае одновременного действия нормальной силы и изгибающего момента?

ТЕМА 7. ВНЕЦЕНТРЕННОЕ СЖАТИЕ КОЛОННЫ

Рассматривается внецентренное сжатие каменной колонны с низким уровнем допускаемых напряжений на растяжение. Наличие оси симметрии поперечного сечения облегчает нахождение главных осей и главных моментов инерции сечения. По известной формуле нормальных напряжений для внецентренного растяжения – сжатия определяется положение нейтральной линии ,

где *Р* - величина внецентренной силы;

*А* – площадь поперечного сечения;

*xp,yp* – координаты точки приложения силы – полюса;

*x,y* – координаты точки, в которой определяется напряжение;

*ix, iy –* радиусы инерции сечения.

Затем визуально определяются точки сечения, наиболее удаленные от нейтральной линии, и вычисляются значения нормальных напряжений в этих точках.

Вокруг центра тяжести сечения можно выделить область, при приложении силы в которой, во всех точках сечения напряжения принимают значения одного знака. Эта область называется ядром сечения. Знание формы и размеров ядра сечения актуально для материалов, в которых недопустимо наличие растягивающих напряжений. Определяется форма ядра расчетом и графическим построением.

Задавая положение нейтральной линии, касающейся контура сечения, находят координаты полюса. Для этого решаем систему, составленную из двух уравнений нейтральной линии. Эти уравнения относительно *xp*и *yp* получают, если подставить значения координат двух точек, принадлежащих нейтральной линии, вместо *x* и *y*. Последовательно обходя касательными весь контур сечения, получают все угловые точки ядра сечения. После этого полюсы соединяются прямыми отрезками, образующими выпуклую границу контура ядра сечения.

***Ядро сечения это такая область сечения, при приложении внецентренной силы в которой, во всех точках сечения возникают напряжения одного знака.***

Анализируя уравнение нейтральной линии, внимательный студент обнаружит взаимообратимость контура ядра сечения и контура, образованного внешними касательными к самому сечению.

Действие боковой силы приводит к появлению дополнительных нормальных напряжений в сечениях ниже уровня действия этой силы. Наибольшего значения они достигают у основания колонны, в точках наиболее удаленных от нейтральной линии, проходящей через центр тяжести сечения перпендикулярно линии действия силы. Построив эпюры нормальных напряжений отдельно от сил *P1* и *P*2, можно определить напряжения в любой точке сечения суммированием напряжений, снятых с каждой эпюры.

Выявив наиболее напряженные точки сечения в основании колонны, сравнивают напряжения в них с допускаемыми. В случае превышения допускаемого уровня, выясняют возможность их понижения путем изменения величины приложенной силы *Р1*. Поскольку допускаемые напряжения на растяжение значительно ниже допускаемых напряжений на сжатие, то проверяется выполнение условия прочности в точках сечения по напряжениям сжатия и растяжения одновременно.

ЗАДАНИЕ 7. **Внецентренное сжатие колонны**

Варианты задания

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Полюс | P1,  кН | Р2,  кН |  |
| 01 | А | 600 | 50 |
| 21 | Б | 400 | 60 |
| 41 | В | 650 | 70 |
| 61 | Г | 700 | 60 |
| 81 | Д | 500 | 50 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Полюс | P1,  кН | Р2,  кН |  |
| 02 | А | 300 | 50 |
| 22 | Б | 400 | 60 |
| 42 | В | 350 | 70 |
| 62 | Г | 450 | 60 |
| 82 | Д | 500 | 50 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Полюс | P1,  кН | Р2,  кН |  |
| 03 | А | 400 | 50 |
| 23 | Б | 450 | 60 |
| 43 | В | 500 | 70 |
| 63 | Г | 450 | 60 |
| 83 | Д | 550 | 50 |

**Контрольные вопросы**

по теме «Внецентренное растяжение-сжатие»

1. Что называется напряжением?
2. Какие выделяют компоненты напряжения?
3. Почему осевое растяжение-сжатие относится к простым деформациям?
4. Что такое внецентренное растяжение-сжатие?
5. Как формулируется *Закон Гука*?
6. Что называется жесткостью при осевом растяжении-сжатии?
7. Что такое допускаемое напряжение?
8. В чем смысл условия прочности?
9. Что влияет на выбор коэффициента запаса прочности?
10. Как определить нормальные напряжения в любой точке сечения при чистом изгибе?
11. Что называют осевым моментом сопротивления?
12. Как произвести подбор сечения в случае одновременного действия нормальной силы и изгибающего момента?
13. Что такое *теория прочности*?
14. Чем вызвано многообразие *теорий прочности*?
15. В чем смысл условия жесткости?
16. Что такое внецентренная сила?
17. Формула нормальных напряжений при внецентренном сжатии.
18. Уравнение нейтральной линии при внецентренном растяжении-сжатии.
19. Что такое нейтральная линия?
20. Что такое нейтральная поверхность?
21. Что такое ядро сечения?
22. Что можно сказать о контуре ядра сечения?
23. Когда необходимо учитывать положение ядра сечения?
24. Какая аксиома применяется при построении ядра сечения?
25. Какой порядок построения ядра сечения?
26. Как влияет перемещение полюса на положение нейтральной линии сечения?
27. Как влияет перемещение нейтральной линии на положение полюса сечения?
28. Если полюс находится на оси симметрии, что можно сказать о положении нейтральной линии?

ТЕМА 8. УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТОЙ СТОЙКИ

В этом задании подбираются размеры элементов сечения сжатой стойки по коэффициенту снижения допускаемых напряжений. Задача решается последовательными приближениями. Для ускорения сходимости начальное значение коэффициента *φ0* лучше принять равным не единице, а *φ0=0,5*. Кроме этого, после получения интерполированием значения *φ*i, соответствующего вычисленной гибкости стойки *λi*, в расчет включить

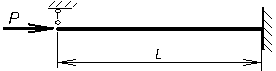
 ,

где *φi-1*– коэффициент предшествующего шага приближения.

Процедура последовательных приближений заканчивается, когда расхождение в значениях *φi* и *φi+1*не превышает одного процента. Это достижимо, если размеры сечения можно изменять непрерывно. В случае составного сечения из стандартных прокатных профилей, площадь сечения и минимальный момент инерции, а соответственно и гибкость стержня *λ* меняются дискретно. Поэтому расчетную процедуру следует закончить, когда последующий шаг повторяет предыдущий.

ЗАДАНИЕ 8. **Расчет устойчивости сжатой стойки**

Стальная стойка, защемленная одним концом и шарнирно опертая на другом, сжимается осевой силой Р. Из условия устойчивости определить размеры поперечного сечения стойки, форма которого задана. В расчетах принять [σ] = 160 МПа и Е = 2.105 МПа.



Варианты задания

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант | L,  м | Р,  кН |  |
| 01 | 8,0 | 1000 |
| 21 | 8,5 | 900 |
| 41 | 9,0 | 800 |
| 61 | 9,5 | 700 |
| 81 | 10,0 | 600 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант | L,  м | Р,  кН |  |
| 02 | 10,0 | 500 |
| 22 | 10,5 | 600 |
| 42 | 11,0 | 700 |
| 62 | 11,5 | 600 |
| 82 | 12,0 | 500 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант | L,  м | Р,  кН |  |
| 03 | 6,0 | 500 |
| 23 | 6,5 | 600 |
| 43 | 7,0 | 700 |
| 63 | 7,5 | 500 |
| 83 | 8,0 | 600 |

**Контрольные вопросы**

по теме «Устойчивость сжатой стойки»

1. В чем суть явления потери устойчивости?
2. Что такое критическая сила?
3. Что называют гибкостью стойки?
4. Что такое предельная гибкость?
5. Какой предел применимости формулы Эйлера?
6. Что такое короткая стойка?
7. Что такое коэффициент приведения длины?
8. Почему в формулу критической силы входит минимальный осевой момент инерции?
9. Как влияют условия закрепления на величину критической силы для стойки?
10. Объясните физическую сущность коэффициента снижения допускаемого напряжения.
11. Почему расчет по коэффициенту снижения допускаемого напряжения имеет итерационный характер?
12. Как можно ускорить сходимость итерационной процедуры расчета по коэффициенту снижения допускаемого напряжения?
13. Почему отличаются результаты расчета критического напряжения по формуле Эйлера и по коэффициенту снижения допускаемого напряжения?
14. Что такое приведенная длина?

ТЕМА 9. ДИНАМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ НАГРУЗКИ

По теме динамическое действие нагрузки выполняется задание, в котором подбирается сечение единожды статически неопределимой рамы, подверженной действию падающего груза известной величины. Для определения коэффициента динамичности *kдин* требуется найти перемещение сечения, в котором произошел удар, но при статическом приложении силы равной весу груза. Для этого методом сил раскрывается статическая неопределимость конструкции и строятся эпюры внутренних силовых факторов. Перемещение сечения статически неопределимой рамы в точке падения груза можно определить графоаналитически по *способу Верещагина*. В этом месте в искомом направлении необходимо приложить единичную силу к заданной конструкции, которая статически неопределима. Казалось бы, что требуется снова раскрывать неопределимость уже при действии единичной внешней силы и повторить все действия, выполненные первый раз. Но изюминка заключается в том, что, раскрыв первый раз статическую неопределимость и построив эпюры, мы построили эпюры не для статически неопределимой рамы, а для одной из основных систем, полученной из заданной рамы путем освобождения от «лишних» связей, а вместо лишней связи была учтена реакция ее заменяющая. И совершенно не имеет значения, какая именно основная система была выбрана, в любом варианте конечная эпюра будет одна и та же. Поэтому и единичную силу прикладываем не к исходной раме, а к любой основной системе из нее полученной. Таким образом, единичная сила прикладывается к статически определимой раме. Из уравнений статического равновесия определяются опорные реакции и строятся эпюры внутренних факторов от действия этой единичной силы. Если пренебречь влиянием на перемещение всех внутренних факторов, кроме изгибающего момента, то будем иметь одну «единичную» эпюру и одну эпюру от внешней нагрузки для статически неопределимой рамы. *Способом Верещагина* определяется статическое перемещение и находится динамический коэффициент. Коэффициент динамичности определится как

, где h- высота падения груза;

δстат – перемещение сечения при статическом приложении силы.

Динамические нормальные напряжения определятся по формуле *σдин=kдин..σстатич*. По условию прочности подбирается диаметр сплошного круглого сечения бруса.

Приведенные выше рассуждения по определению перемещения сечения статически неопределимой системы справедливы для любой задачи. Что касается конкретного задания, то δстат есть перемещение именно точки падения груза и в направлении движения груза, то есть «единичная» эпюра может быть получена из «грузовой» путем деления всех ее ординат на величину веса груза.

ЗАДАНИЕ 9. **Расчеты при действии ударной нагрузки**

На упругую систему с высоты h падает груз Р. Подобрать размеры бруса круглого поперечного сечения из малоуглеродистой стали. Принять в расчетах [σ] = 160 МПа и Е = 2 105 МПа. Массу упругой системы не учитывать.

Варианты задания

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Сила  Р, Н | Высота h, м | a, м |  |
| 01 | 200 | 0,08 | 1,6 |
| 21 | 300 | 0,07 | 1,4 |
| 41 | 400 | 0,06 | 1,2 |
| 61 | 500 | 0,05 | 1,0 |
| 81 | 600 | 0,04 | 0,8 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Сила  Р, Н | Высота h, м | a, м |  |
| 02 | 200 | 0,08 | 1,6 |
| 22 | 300 | 0,07 | 1,4 |
| 42 | 400 | 0,06 | 1,2 |
| 62 | 500 | 0,05 | 1,0 |
| 82 | 600 | 0,04 | 0,8 |

**Контрольные вопросы**

по теме «Динамическое действие нагрузки»

1. Чем отличается динамическое действие нагрузки от статического?
2. Какие допущения приняты при выводе коэффициента динамичности?
3. Как повлияет учет массы опорного тела на динамический расчет?
4. Как влияет динамичность действия нагрузки на механические характеристики материала?
5. Как влияет ”качество” конструкционной стали на восприимчивость динамической нагрузки?
6. Какой параметр характеризует способность материала воспринимать ударную нагрузку?
7. Как определяется *ударная вязкость*?
8. Как влияет термообработка стали на её способность воспринимать ударные нагрузки?
9. Какое назначение имеет надрез образца для определения ударной вязкости?
10. Какой легирующий элемент улучшает восприимчивость динамической нагрузки?

Контрольно-измерительные материалы (КИМ)

**Перечень типовых экзаменационных вопросов**

1 Действие сил на физические тела

2 Реальный объект и расчетная модель

3 Внутренние силы

4 Напряжения

5 Деформации линейные и угловые

6 Связь между напряжениями и деформациями

7 Основные геометрические характеристики плоских сечений

8 Преобразование моментов инерции при параллельном переносе осей

9 Преобразование моментов инерции при повороте координатных осей

10 Главные оси и главные моменты инерции

11 Задачи, решаемые с помощью круга Мора для плоского сечения

12 Осевое растяжение и сжатие

13 Графики изменения внутренних силовых факторов и деформаций при растяжении (примеры)

14 Деформации при изменении температуры

15 Потенциальная энергия деформации растяжения

16 Статически определимые и неопределимые системы

17 Напряженное состояние при растяжении-сжатии

18 Основные механические характеристики материала

19 Построение истинной диаграммы растяжения

20 Растяжение и сжатие под влиянием собственного веса. Стержень равного сопротивления

21 Расчет проводов и тросов

22 Деформация сдвига

23 Деформация кручения

24 Расчет валов на кручение

25 Разрушение материалов при кручении

26 Кручение бруса с некруглым поперечным сечением

27 Применение пленочной (мембранной) аналогии при исследовании кручения

28 Деформация изгиба

29 Дифференциальные (интегральные) зависимости при изгибе

30 Напряжения в брусе при чистом изгибе

31 О рациональном сечении при деформации изгиба

32 Влияние поперечных сил на распределение нормальных напряжений при изгибе

33 Касательные напряжения при поперечном изгибе. Формула Журавского

34 Влияние формы сечения на применимость формулы Журавского

35 Анализ деформации изгиба свободного и стянутого пакетов листов

36 Брусья равного сопротивления при изгибе

37 Дифференциальное уравнение упругой линии бруса

38 Интегрирование дифференциального уравнения упругой линии бруса

39 Интегрирование дифференциального уравнения в случае сложных нагрузок

40 Универсальное уравнение упругой линии балки

41 Балка на упругом основании

42 Напряженное состояние в точке

43 Определение напряжений в площадке общего положения

44 Главные оси и главные напряжения

45 Круговая диаграмма напряженного состояния. Круг Мора

46 Типы напряженного состояния

47 Деформированное состояние

48 Объемная деформация

49 Потенциальная энергия объемной деформации

50 Теории прочности

51 Сложное сопротивление

52 Внецентренное растяжение-сжатие

53 Ядро сечения

54 Косой изгиб

55 Изгиб с кручением круглого бруса

56 Изгиб бруса большой кривизны

57 Примеры определения эксцентриситета бруса большой кривизны

58 Винтовые цилиндрические пружины

59 Обобщенные силы и обобщенные перемещения

60 Применение принципа возможных перемещений для определения усилий в статически определимых системах

61 Полная потенциальная энергия деформации бруса

62 Теорема Кастилиано

63 Интегралы Мора

64 Примеры применения Интеграла Мора

65 Способ Верещагина

66 Теорема взаимности работ и перемещений

67 Примеры применения теоремы взаимности работ и перемещений

68 Типы стержневых систем. Степень статической неопределимости стержневой системы

69 Выбор основной системы

70 Канонические уравнения метода сил

71 Использование свойств симметрии при раскрытии статической неопределимости плоской рамы. Прямая геометрическая симметрия

72 Использование свойств симметрии при раскрытии статической неопределимости плоской рамы. Косая геометрическая симметрия

73 Многопролетные неразрезные балки. Уравнение трех моментов

74 Определение перемещений в статически неопределимых системах

75 Устойчивость упругих форм равновесия

76 Задача Эйлера

77 Зависимость критической силы от условий закрепления стержня

78 Расчет сжатых стоек по коэффициенту снижения допускаемых напряжений. Формула Ясинского

79 Напряжения, возникающие вследствие поступательного движения упругого тела

80 Напряжения, возникающие вследствие вращательного движения упругого тела

81 Напряжения, возникающие в упругом брусе при ударе

82 Повышение предела текучести в результате повторных нагружений

83 Ползучесть и релаксация

84 Влияние скорости деформирования на механические характеристики материала

85 Усталостная прочность металлов

86 Влияние концентрации напряжений на прочность конструкций

87 Методы электро-тензоизмерений в исследовании напряженно-деформированного состояния

88 Методы: делительных сеток, зеркально-оптический и муаровых полос в исследовании напряженно-деформированного состояния

89 Метод хрупких тензочувствительных покрытий в исследовании напряженно-деформированного состояния

90 Поляризационно-оптический метод исследования напряжений

**Принцип составления экзаменационного билета**

Два теоретических вопроса выбираются из разных разделов курса. Каждая пара подбирается примерно одного уровня сложности. Практические задания на экзамен не выносятся, т.к. студенты проявляют своё умение решать задачи в процессе защиты расчётно-проектировочных заданий.

Текущая аттестация студентов по дисциплине «Сопротивление материалов» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Сопротивление материалов» проводится в форме контрольных мероприятий (*устного опроса (собеседования УО-1) и тестирование ПР-1)* по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

* учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
* степень усвоения теоретических знаний;
* уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;
* результаты самостоятельной работы.

Оценка освоения учебной дисциплины «Сопротивление материалов» является комплексным мероприятием, которое в обязательном порядке учитывается и фиксируется ведущим преподавателем. Такие показатели этой оценки, как посещаемость всех видов фиксируется в журнале посещения занятий.

Степень усвоения теоретических знаний оценивается такими контрольными мероприятиями как устный опрос.

Уровень овладения практическими навыками и умениями, результаты самостоятельной работы оцениваются работой студента над вопросами по тестированию.

**Промежуточная аттестация студентов.** Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Сопротивление материалов» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

В соответствии с рабочим учебным планом по направлению подготовки 08.03.01 Строительство видами промежуточной аттестации студентов в процессе изучения дисциплины «Сопротивление материалов» являются экзамен (4 семестр), зачёт (3 семестр).

Экзамен проводится в виде письменного опроса в форме ответов на вопросы. Зачёт проводится по результатам выполнения практической части программы учебного курса.

**Примерный перечень вопросов для текущего контрольного опроса:**

* + - 1. Что называется напряжением?
      2. Какие выделяют компоненты напряжения?
      3. Почему составляющие напряжения носят такие названия?
      4. Почему осевое растяжение-сжатие относится к простым деформациям?
      5. Объяснить Закон Гука?
      6. Какой геометрический смысл имеет модуль Юнга?
      7. Какой физический смысл имеет модуль Юнга?
      8. Что такое абсолютная деформация?
      9. Что такое относительная деформация?
      10. От чего зависит деформация при осевом растяжении-сжатии?
      11. Что называется жесткостью при осевом растяжении-сжатии?
      12. Почему поперечный изгиб не относится к сложному сопротивлению?
      13. Что такое допускаемое напряжение?
      14. В чем смысл условия прочности?
      15. В чем смысл условия жесткости?
      16. Что такое предел текучести материала σт?
      17. Что влияет на выбор коэффициента запаса прочности?
      18. Что такое поперечная сила?
      19. Что такое изгибающий момент?
      20. Как определяется величина силы в сечении?
      21. Что называется плечом переноса силы?
      22. Как проверить правильность построения эпюры Мизг по эпюре Q?
      23. Как найти значение изгибающего момента в сечении, если есть в наличии эпюра Q?
      24. Записать основное дифференциальное уравнение при изгибе бруса.
      25. Какие приняты допущения при получении основного дифференциального уравнения упругой линии бруса?
      26. В чем смысл постоянных интегрирования основного дифференциального уравнения изогнутой оси бруса?
      27. Что называется граничным условием?
      28. Что такое чистый изгиб?
      29. Что такое поперечный изгиб?
      30. Как определить нормальные напряжения в любой точке сечения при чистом изгибе?
      31. Как определяются наибольшие нормальные напряжения при изгибе?
      32. Что такое опасное сечение?
      33. Что называют осевым моментом сопротивления?
      34. Что характеризует осевой момент сопротивления?
      35. Что характеризует экономичность бруса, испытывающего деформацию изгиба?
      36. Почему изгибающий момент в сечении врезанного в брус шарнира равен нулю?
      37. Какие гипотезы принимаются при исследовании деформации чистого изгиба?
      38. Какая из принятых гипотез не находит подтверждения при поперечном изгибе?
      39. Как по эпюре изгибающих моментов Мизг представить вид изогнутой оси бруса?
      40. В каком случае при поперечном изгибе учитываются оба напряжения: нормальное и касательное?
      41. Какие параметры входят в формулу Журавского?
      42. Почему в формуле Журавского допускается раздвоение в определении статического момента части сечения?
      43. Чем объясняется “ ступенька” на эпюре внутреннего силового фактора?
      44. В чем состоит условность диаграммы растяжения образца из мягкой стали?
      45. Почему по диаграмме σ – ε разрушение при растяжении происходит не при наибольших напряжениях?
      46. Имеет ли смысл предел временного сопротивления?
      47. Какие задачи называют статически неопределимыми.
      48. Что называют степенью статической неопределимости?
      49. Как называется дополнительное уравнение при раскрытии статической неопределимости?
      50. Что такое внецентренное растяжение-сжатие?
      51. Что такое внецентренная сила?
      52. Уравнение нормальных напряжений при внецентренном сжатии.
      53. Уравнение нейтральной линии при внецентренном растяжении-сжатии.
      54. Что такое нейтральная линия?
      55. Что такое нейтральная поверхность?
      56. Что такое ядро сечения?
      57. Что можно сказать о контуре ядра сечения?
      58. Когда необходимо учитывать положение ядра сечения?
      59. Какая аксиома применяется при построении ядра сечения?
      60. Какой порядок построения ядра сечения?
      61. Как влияет перемещение полюса на положение нейтральной линии сечения?
      62. Как влияет перемещение нейтральной линии на положение полюса сечения?
      63. Если полюс находится на оси симметрии, что можно сказать о положении нейтральной линии?

**Критерии оценки при собеседовании**

***Отлично*** - если ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

***Хорошо*** - ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

***Удовлетворительно*** – оценивается ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

***Неудовлетворительно*** – ответ, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.