



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Теоретическая и прикладная механика»

## **УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

по изучению теоретических основ курса

# **«Сопротивление материалов»**

Автор

к.т.н., доцент  
Галаджева М.Р.

Ростов-на-Дону, 2022

## Оглавление

<b>1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>4</b>
<b>2. УЧЕБНЫЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>5</b>
<b>3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>6</b>
<b>4. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>7</b>
<b>5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>8</b>
ТЕМЫ 6.1, 7.1. Основные понятия и гипотезы. Силы и их классификация. Внутренние силовые факторы. Метод сечений. Построение эпюр. Напряжения .....	8
ТЕМЫ 8.1 – 8.4. Центральное растяжение-сжатие .....	9
ТЕМА 9. Геометрические характеристики плоских поперечных сечений .....	10
ТЕМА 10. Напряженное и деформированное состояние в точке.....	11
ТЕМЫ 11, 12. Сдвиг. Смятие. Кручение .....	12
ТЕМА 13. Прямой поперечный изгиб .....	14
ТЕМЫ 15, 16, 17. Сложное сопротивление. Изгиб с кручением. Косой изгиб. Внецентренное растяжение-сжатие.....	15
ТЕМА 18. Устойчивость сжатых стержней .....	17
ТЕМЫ 22, 23. Динамические задачи сопротивления материалов .....	18
ТЕМА 24. Расчет на прочность при напряжениях, циклически изменяющихся во времени .....	19
<b>6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА УСВОЕНИЯ МАТЕРИАЛА .....</b>	<b>22</b>
Тема: Растяжение и сжатие .....	22
Тема: Механические характеристики материалов .....	23
Тема: Изгиб .....	24
Тема: Сдвиг (Срез).....	25
Тема: Кручение.....	26
Тема: Устойчивость сжатых стержней.....	27
Тема: Расчёт статически неопределимых стержневых систем при растяжении-сжатии .....	27
Тема: Расчет статически неопределимых балок.....	28



## Сопротивление материалов

Тема: Определение перемещений при изгибе .....	29
Тема: Изгиб с кручением .....	30
Тема: Косой изгиб. Внецентренное растяжение-сжатие.....	31
Тема: Геометрические характеристики плоских сечений ..	32

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Сопrotивление материалов является основой всех инженерных расчётов на прочность, жёсткость и устойчивость деталей машин и элементов конструкций, является базой для изучения специальных дисциплин.

Цель преподавания дисциплины «Сопrotивление материалов»: обеспечить базу инженерной подготовки, теоретическую и практическую подготовку в области прикладной механики деформируемого твёрдого тела, позволяющую рассчитывать элементы машин и сооружений прочными, долговечными, надёжными в эксплуатации при одновременной их экономичности, а также развить инженерное мышление и приобрести знания, необходимые для изучения последующих дисциплин.

Задачи преподавания дисциплины «Сопrotивление материалов»: дать знание методов экспериментального исследования поведения материалов при нагружении и определения их механических характеристик; методов определения внутренних усилий, напряжений и деформаций при различных видах нагружения; методов оценки усталостной прочности при напряжениях, переменных во времени; дать навыки проектирования и расчётов на прочность, жёсткость и устойчивость элементов конструкций при одновременном выполнении требований их эксплуатационной надёжности и экономичности.

Студенты, завершившие изучение дисциплины «Сопrotивление материалов» должны:

– **знать** основы теоретических расчетов на прочность, жесткость и устойчивость, этапы проектирования и конструирования изделий, методы теоретического и экспериментального исследования, основы расчета, оценки прочности и надежности разрабатываемых конструкций;

– **уметь** составлять расчетные схемы при различных видах нагружения, выбирать расчетную модель и производить расчеты типовых элементов машиностроительных конструкций; осуществлять оценку механической прочности и работоспособности типовых элементов машиностроительных конструкций;

– **владеть** навыками проектировочных и проверочных расчетов систем, работающих при различных видах нагружения; навыками прочностных расчетов и расчетов на жесткость и устойчивость машиностроительных конструкций; навыками оценки качества деталей по механическим свойствам материала.



## 2. УЧЕБНЫЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Сопrotивление материалов» изучается студентами в 3-м (4-м) семестре второго курса.

Согласно рабочей программе изучение дисциплины представлено лекционными, практическими и лабораторными занятиями, предусмотрена также самостоятельная работа студентов.

### 3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В курсе «Сопротивление материалов» изучаются физико-механические свойства машиностроительных материалов (низколегированные и легированные стали, высокопрочные чугуны, конструкционные и полимерные материалы). В программу включены расчёты стержневых систем для различных случаев нагружения (растяжение и сжатие, сдвиг, кручение изгиб, сложное сопротивление), рассмотрено динамическое действие нагрузок и расчёты на прочность при напряжениях, периодически изменяющихся во времени. В программу включены также элементы теории упругости, необходимые для более глубокого изучения напряжённого состояния и прочности деталей машин и оборудования литейного, кузнечно-прессового, сварочного производства, а также современных станков и оборудования.

#### 4. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Александров А.В. Сопrotивление материалов. - М., «Высшая школа», 2002.
2. Сопrotивление материалов под ред. Н.А.Костенко. – М., «Высшая школа», 2007.
3. Межецкий Г.Д. Сопrotивление материалов. М., Дашков и К°, 2008.
4. Старовойтов Э.И. Сопrotивление материалов. М., Физматлит, 2008.
5. Степин П. А. Сопrotивление материалов. С/Пб, «Лань», 2012.
6. Беляев Н.М. Сопrotивление материалов. М., «Наука», 1976.
7. Сопrotивление материалов под ред. Писаренко Г.С. Киев, «Вища школа», 1986.
8. Сигидиненко В.С., Соловьев А.Н., Галаджева М.Р. Сопrotивление материалов./Учебное пособие. ДГТУ, 2011.
9. Соловьев А.Н., Котов В.В., Галаджева М.Р. и др. Механика/Учебное пособие. ДГТУ, 2012.



## 5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ПРОГРАММЫ

Изучать материал рекомендуется по темам рабочей программы. Это могут быть также пункты лекций или главы учебника. По каждой теме необходимо составить конспект. Необходимо понять смысл изучаемой теории дисциплины. Необходимо научиться применять полученные знания для решения задач. Для этого рекомендуется изучить соответствующую тему и ответить на вопросы, предназначенные для проверки понимания данной темы. Далее перейти к решению задач.

Список основной и дополнительной литературы для изучения «Прикладной механики», а также некоторые электронные варианты учебников приведены в рабочей программе дисциплины. По желанию студентов можно воспользоваться литературой по каждому разделу дисциплины отдельно. Литература указана ниже в каждом разделе дисциплины.

### **ТЕМЫ 6.1, 7.1. Основные понятия и гипотезы. Силы и их классификация. Внутренние силовые факторы. Метод сечений. Построение эпюр. Напряжения**

Основные вопросы темы: основные понятия и гипотезы сопротивления материалов. Объекты расчетов в СМ. Виды деформаций стержня. Классификация внешних сил. Внутренние силовые факторы. Метод сечений. Понятие о напряжениях.

В этой теме даны основные понятия о прочности, жесткости, устойчивости, а также о допущениях, принимаемых в сопротивлении материалов. Особое внимание следует обратить на понятия напряжений и деформаций. Для определения внутренних силовых факторов и напряжений используют метод сечений (Р О З У – рассекаем, отбрасываем, заменяем, уравниваем). Метод сечений позволяет выразить внутренние силовые факторы через приложенные внешние нагрузки. Необходимо понять, что напряжение – это интенсивность внутреннего силового фактора; напряжение зависит от внутреннего силового фактора и геометрической характеристики сечения.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ



## Соппротивление материалов

1. Что подразумевается под прочностью, жесткостью и устойчивостью конструкции.
2. Какие гипотезы используются для идеализации свойств материала конструкции.
3. Что является объектами расчета в сопротивлении материалов.
4. Объясните сущность метода сечений.
5. Дайте определение полного, нормального и касательного напряжений. Как они связаны.
6. Какова размерность напряжения.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА: [6] – гл.1, [7] – гл.1, [8] – гл.1, [9] – гл.4.

### ТЕМЫ 8.1 – 8.4. Центральное растяжение-сжатие

Основные вопросы темы: определение внутренней продольной (нормальной) силы. Напряжения и деформации при растяжении и сжатии. Закон Гука. Испытание на растяжение и сжатие. Диаграммы растяжения и сжатия. Механические характеристики материалов. Расчеты на прочность и жесткость при растяжении-сжатии.

Рассмотрено действие на стержень сил, направленных вдоль его оси. Применение метода сечений позволяет найти величину и направление продольной силы в рассматриваемом сечении. В поперечном сечении стержня возникают только нормальные напряжения, которые распределены в плоскости сечения равномерно. Необходимо усвоить такие понятия как абсолютная и относительная деформации, модуль упругости при растяжении, коэффициент Пуассона. Закон Гука устанавливает линейную зависимость между нормальным напряжением и относительной продольной деформацией, а также между абсолютной продольной деформацией и продольной силой. Необходимо изучить механические свойства материалов, выбор допускаемых напряжений. Механическими характеристиками материала являются: предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести, предел прочности материала. При решении статически неопределимых задач кроме уравнений равновесия статики необходимо составить уравнения связи между деформациями элементов. Совместное решение этих уравнений с использованием закона Гука позволяет определить неизвестные продольные силы. Необходимо знать, что такое допускаемое напряжение и коэффициент за-

## Соппротивление материалов

паса прочности, как они определяются для пластичных и хрупких материалов. Следует понять, что условие прочности позволяет выполнять проектировочный и проверочный расчеты конструкции.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют продольной силой.
2. Какие напряжения возникают в поперечном сечении стержня при растяжении и сжатии.
3. Какие деформации возникают при растяжении и сжатии.
4. Как связаны между собой нормальное напряжение и относительная продольная деформация. Сформулируйте закон Гука при растяжении и сжатии.
5. Как строятся диаграммы растяжения и сжатия.
6. Перечислите основные механические характеристики материалов. Что называют пределом пропорциональности, пределом упругости, пределом текучести и пределом прочности материала.
7. Как вычисляется работа внешних сил при растяжении (сжатии)
8. Что такое запас прочности.
9. Дайте определение допускаемого напряжения.
10. Для чего используют условие прочности при растяжении-сжатии.
11. Какие задачи являются статически неопределимыми. Каков порядок их расчета.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА: [6] – гл.2, 26; [7] – гл.4,5; [8] – гл.3, [9] – гл.5.

## ТЕМА 9. Геометрические характеристики плоских поперечных сечений

Основные вопросы темы: понятие о статическом моменте площади сечения. Определение координат центра тяжести простого и составного сечений. Понятие о моментах инерции сечения. Вычисление моментов инерции простых сечений и стандартных прокатных профилей. Определение моментов инерции при параллельном переносе и повороте осей координат. Понятие о главных осях и главных моментах инерции. Моменты сопротивления сечения.

Надо усвоить, что основными геометрическими характери-

## Сопротивление материалов

стиками поперечного сечения являются статический момент площади, моменты инерции (осевые, полярный, центробежный), моменты сопротивления (осевые, полярный). Необходимо знать, как определить координаты центра тяжести сечения через статический момент. Знать связь между осевыми и полярным моментами инерции. Обратит внимание на определение моментов инерции при параллельном переносе и повороте осей координат. Необходимо уметь определять положение главных осей инерции и главных моментов инерции. Запомнить формулы для определения основных геометрических характеристик простых фигур, а также уметь пользоваться справочником для стандартных прокатных профилей (двутавра, швеллера, уголка).

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как определить положение центра тяжести составного сечения.
2. Что называется осевым, центробежным, полярным моментами инерции сечения.
3. Что называется осевым и полярным моментами сопротивления сечения. Как они связаны с осевым и полярным моментами инерции.
4. По каким формулам вычисляют осевые моменты инерции и осевые моменты сопротивления для прямоугольника, круга и кольца.
5. По каким формулам вычисляют полярный момент инерции и полярный момент сопротивления для круглого сечения.
6. Как определяют геометрические характеристики стандартных прокатных профилей.
7. Как определяют моменты инерции при параллельном переносе и повороте осей координат.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА: [6] – гл.9 - 12; [7] – гл.2; [8] – гл.2, [9] – гл.8.

## **ТЕМА 10. Напряженное и деформированное состояние в точке**

Основные вопросы темы: напряженное состояние в точке. Понятие о главных площадках и главных напряжениях. Определение напряжений в наклонных площадках при линейном, плос-

## Сопротивление материалов

ком и объемном напряженных состояниях. Обобщенный закон Гука. Потенциальная энергия деформации. Теории прочности.

Необходимо усвоить, что называют напряженным состоянием в точке. Помнить определение главных площадок и главных напряжений. В зависимости от числа главных напряжений различают три вида напряженного состояния: линейное (одноосное), при котором только одно из главных напряжений не равно нулю; плоское (двухосное), при котором два главных напряжения отличны от нуля; объемное (трехосное), при котором все три главных напряжения отличны от нуля. Главные напряжения играют значительную роль при решении вопроса о прочности материала; одно из этих напряжений является наибольшим, а другое — наименьшим из всех нормальных напряжений для данной точки. Необходимо научиться определять напряжения в наклонных сечениях для линейного и плоского напряженного состояния, а также направления главных площадок и главных напряжений. Следует уяснить, как решается прямая и обратная задачи с помощью круга Мора. Необходимо уметь определять удельную потенциальную энергию деформации, а также потенциальную энергию изменения объема и формы. Изучение основных теорий прочности позволит понять, как оценить прочность детали по известному напряженному состоянию.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое напряженное состояние в точке.
2. Что такое главные площадки и главные напряжения.
3. Какие существуют виды напряженного состояния.
4. Как определить напряжения в наклонных площадках при плоском напряженном состоянии.
5. Сформулируйте закон парности касательных напряжений.
6. Как определить значения главных напряжений при плоском напряженном состоянии.
7. Сформулируйте обобщенный закон Гука.
8. Как определить потенциальную энергию деформации.
9. Назовите основные теории прочности.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА: [6] – гл.6, 7; [7] – гл.6, 7; [8] – гл.4, [9] – гл.6.

## ТЕМЫ 11, 12. Сдвиг. Смятие. Кручение

## Сопротивление материалов

Основные вопросы темы: чистый сдвиг. Закон Гука при сдвиге. Условие прочности. Расчет на срез и смятие. Кручение стержней круглого поперечного сечения. Определение касательного напряжения и угла закручивания. Расчеты на прочность и жесткость при кручении.

Необходимо понять, что такое сдвиг (срез), какой возникает внутренний силовой фактор и напряжение. Обратит внимание на выбор допускаемого напряжения при сдвиге. Необходимо уяснить понятие «чистый сдвиг», какие напряжения и деформации возникают при чистом сдвиге. Линейную зависимость между касательным напряжением и углом сдвига выражает закон Гука при сдвиге. Следует обратить на примеры практического применения теории сдвига – это расчеты на срез заклепочных и сварных соединений. При определении касательных напряжений считают, что касательные напряжения в плоскости среза распределены равномерно. Запомнить основные допущения, положенные в основу расчета на смятие. Надо уметь показывать на чертежах площадки, на которых возникают напряжения среза, смятия и скалывания.

Необходимо обратить внимание на допущения (гипотезы), на которых основана теория кручения стержня круглого сечения. Научиться строить эпюры крутящих моментов. Знать какие напряжения возникают в сечении вала при кручении и вывод формулы для напряжения. При кручении стержня круглого сечения касательные напряжения в поперечном сечении распределяются по линейному закону — от нуля в центре до максимального значения по контуру сечения. Надо уметь определять абсолютный и относительный угол закручивания. Объяснять смысл закона Гука при кручении. Необходимо уметь рассчитывать диаметр вала из условия прочности и условия жесткости.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

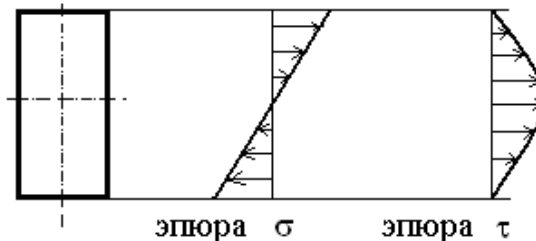
1. Объясните, при каком нагружении стержень испытывает чистый сдвиг.
2. Сформулируйте закон Гука при сдвиге.
3. Запишите условия прочности при сдвиге, смятии.
4. Какой вид нагружения называется кручением.
5. Как определить касательное напряжение и угол закручивания вала.
6. Запишите условия прочности и жесткости при кручении.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА: [6] – гл.8, 9; [7] – гл.8, 9; [9] – гл.7, 9.

### ТЕМА 13. Прямой поперечный изгиб

Основные вопросы темы: внутренние силовые факторы при плоском изгибе, связь между ними. Основные гипотезы. Чистый и поперечный изгиб. Напряжения при чистом изгибе. Условие прочности. Касательное напряжение при поперечном изгибе. Перемещения при изгибе, связь между ними. Методы определения перемещений при изгибе.

Следует запомнить определение плоского поперечного изгиба. Необходимо уяснить, что внутренними силовыми факторами при поперечном изгибе являются поперечная сила  $Q$  и изгибающий момент  $M$ . Поперечная сила в рассматриваемом сечении равна алгебраической сумме внешних сил, расположенных по одну сторону от сечения; изгибающий момент в данном сечении равен алгебраической сумме моментов внешних сил, расположенных по одну сторону от сечения, взятых относительно центра тяжести сечения. Необходимо четко запомнить правила знаков для поперечной силы и изгибающего момента. Необходимо научиться строить эпюры  $M$  и  $Q$ . Для проверки правильности построения эпюр целесообразно пользоваться теоремой Журавского, устанавливающей дифференциальную зависимость между изгибающим моментом и поперечной силой. Необходимо уметь выводить формулы для определения нормальных и касательных напряжений в произвольной точке сечения балки. Особое внимание следует обратить на неравномерность распределения нормальных и касательных напряжений по высоте сечения. На рисунке показано нормального и касательного напряжений в балке прямоугольного сечения.



## Соппротивление материалов

Помнить, что сечение балки получает два перемещения – прогиб и угол поворота, знать связь между ними. Необходимо ознакомиться с различными методами определения перемещений при изгибе. Рассмотреть методику расчета статически определимых и статически неопределимых балок и рам.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой вид деформации называют изгибом.
2. Как определить поперечную силу и изгибающий момент в сечении балки. Объясните правило знаков для поперечной силы и изгибающего момента.
3. Запишите дифференциальные зависимости между изгибающим моментом и поперечной силой.
4. Как определить нормальные напряжения при изгибе. Как они распределяются в поперечном сечении балки.
5. Составьте условие прочности балки при изгибе.
6. Как определить касательные напряжения при изгибе.
7. Какие существуют методы определения прогиба и угла поворота сечения балки.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА: [6] – гл.10, 11, 15, 26, 28; [7] – гл.3, 10, 13; [9] – гл.10.

## **ТЕМЫ 15, 16, 17. Сложное сопротивление. Изгиб с кручением. Косой изгиб. Внецентренное растяжение-сжатие**

Основные вопросы темы: определение крутящих, изгибающих, эквивалентных моментов при изгибе с кручением. Определение напряжений при изгибе с кручением. Расчет на прочность при изгибе с кручением. Определение напряжения при косом изгибе. Расчеты на прочность при косом изгибе. Определение напряжения при внецентренном растяжении-сжатии. Расчет на прочность при внецентренном растяжении-сжатии. Определение положения нейтральной линии при косом изгибе и внецентренном растяжении-сжатии.

На практике часто встречаются случаи сложного сопротивления, когда в результате воздействия нагрузки в поперечных сечениях стержня одновременно возникают несколько внутренних силовых факторов. К сложному сопротивлению относят: одновременное действие кручения и изгиба, косой изгиб (одновременное

## Соппротивление материалов

менный изгиб в двух плоскостях), внецентренное растяжение-сжатие (одновременное действие изгиба с растяжением-сжатием). Для определения напряжений при сложном сопротивлении используют принципа независимости действия сил.

Необходимо запомнить, что при изгибе с кручением в сечении стержня возникают нормальные и касательные напряжения, поэтому проверка прочности производится по главным напряжениям. При этом используют третью или четвертую теории прочности.

При косом изгибе в сечении стержня возникают нормальные напряжения. Надо знать формулу для их определения, а также определение положения нейтральной линии, так как наибольшие напряжения возникают в точках, наиболее удаленных от нейтральной линии. Нейтральная линия при косом изгибе не перпендикулярна плоскости внешних сил, а плоскость, в которой расположены прогибы при косом изгибе, не совпадает с плоскостью внешних сил. Явление косоугольного изгиба особенно опасно для сечений со значительно отличающимися друг от друга главными моментами инерции (например, для двутавра). Балки с таким сечением хорошо работают на изгиб в плоскости наибольшей жесткости, но даже при небольших углах наклона плоскости внешних сил к плоскости наибольшей жесткости в балках возникают значительные дополнительные напряжения и деформации.

Необходимо знать формулу для определения напряжения при внецентренном растяжении-сжатии. Необходимо знать положение нейтральной линии. Понять, что такое ядро сечения. Необходимо обратить внимание на то, что приложенная эксцентрично сжимающая сила может вызвать в поперечном сечении стержня как сжимающие, так и растягивающие напряжения. Поэтому внецентренное сжатие является особенно опасным для стержней из хрупких материалов, которые слабо сопротивляются растягивающим усилиям.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое нагружение называют изгибом с кручением.
2. Как определить крутящий момент в сечении вала.
3. Какие усилия возникают в ременных, зубчатых, цепных передачах.
4. Какие напряжения возникают в сечении вала при изгибе с кручением; как они распределяются в плоскости сечения.
5. Как определить эквивалентный момент.
6. Запишите условие прочности при изгибе с кручением по



## Соппротивление материалов

3-ей и 4-ой теориям прочности.

7. Как определить диаметр вала при изгибе с кручением.
8. Какое нагружение называют косым изгибом.
9. Как определить напряжение при косом изгибе.
10. Как определить положение нейтральной линии при косом изгибе.
11. Запишите условие прочности при косом изгибе.
12. Какое нагружение называют внецентренным растяжением-сжатием.
13. Как определить напряжение при внецентренном растяжении-сжатии.
14. Как определить положение нейтральной линии при внецентренном растяжении-сжатии.
15. Что такое ядро сечения.
16. Запишите условие прочности при внецентренном растяжении-сжатии.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА: [6] – гл.7, 20, 21; [7] – гл.12; [9] – гл.11.

### ТЕМА 18. Устойчивость сжатых стержней

Основные вопросы темы: понятие потери устойчивости. Критическая сила сжатого стержня. Критическое напряжение. Формулы Эйлера и Ясинского. Понятие о гибкости сжатого стержня. Определение допускаемого напряжения при расчете на устойчивость. Расчет сжатого стержня по условию устойчивости, проверочный и проектировочный расчеты.

Необходимо вспомнить понятие устойчивость. Знать, что такое потеря устойчивости. Опасность явления потери устойчивости заключается в том, что оно может наступить при критическом напряжении, значительно ниже предела прочности материала. Задачу о нахождении критической силы или критического напряжения для стержней большой гибкости впервые решил Леонард Эйлер. Исследования профессора Ф.С. Ясинского дали возможность установить величину критического напряжения и для стержней малой и средней гибкости, для которых формула Эйлера неприменима. Необходимо уметь определять величину гибкости сжатого стержня, знать, от каких параметров она зависит. Запомнить, что практический расчет на устойчивость производится по допускаемому напряжению, которое можно определять либо

## Сопротивление материалов

по критическому напряжению, либо по основному допускаемому сжимающему напряжению. Во втором случае применяют метод последовательных приближений по коэффициенту снижения основного допускаемого напряжения. Необходимо понять, какие сечения являются наиболее рациональными при расчете на устойчивость.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют потерей устойчивости стержня.
2. Что такое критическая сила сжатого стержня.
3. Как определить критическую силу по формуле Эйлера.
4. Влияние условий закрепления на величину критической силы.
5. Что такое гибкость сжатого стержня. От каких параметров она зависит.
6. Пределы применимости формулы Эйлера.
7. Когда применяется формула Ясинского для критического напряжения и критической силы.
8. Как определить допускаемое напряжение при расчете на устойчивость.
9. Запишите условие устойчивости сжатого стержня.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА: [6] – гл.27; [7] – гл.20; [9] – гл.12.

## ТЕМЫ 22, 23. Динамические задачи сопротивления материалов

Основные вопросы темы: понятие о статическом и динамическом нагружении. Понятие о динамическом коэффициенте. Расчеты на прочность с учетом сил инерции по принципу Даламбера при поступательном и вращательном движении системы. Основные понятия и гипотезы при ударе, использование закона сохранения энергии. Определение динамического коэффициента. Определение напряжения и перемещения при сжимающем и изгибающем ударе. Особенности расчета при скручивающем ударе.

Необходимо понять, что при динамическом приложении нагрузок напряжения и деформации значительно больше, чем при их статическом приложении. Введение динамического коэффициента позволяет определение динамических напряжений и деформаций (перемещений) в движущихся деталях свести к

## Соппротивление материалов

определению статических напряжений и деформаций.

При движении тел с постоянным ускорением возникают силы инерции, которые вызывают дополнительные (динамические) нагрузки на элемент конструкции. Метод расчета на динамическую нагрузку основан на известном из теоретической механики принципе Даламбера. С помощью этого принципа любая динамическая задача по форме решения сводится к статической задаче с учетом силы инерции – составлению уравнений равновесия для определения внутренних силовых факторов.

Необходимо знать определение удара. В основу приближенной теории удара положен ряд упрощенных гипотез, а также закон сохранения энергии. Напряжение при ударе вычисляют, приравнивая кинетическую энергию ударяющего тела потенциальной энергии деформаций стержня, воспринимающего удар. Важным является то обстоятельство, что напряжения при ударе зависят не только от геометрической характеристики сечения стержня, но и от длины и модуля упругости материала. Необходимо научиться определять динамический коэффициент при сжимающем и изгибающем ударе. При скручивающем ударе необходимо уметь определять наибольшее касательное напряжение в зависимости от угловой скорости вращения, а также размеров и модуля упругости.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие нагрузки называются статическими, а какие динамическими.
2. Что называется динамическим коэффициентом.
3. Как вычисляются напряжения в деталях при равноускоренном поступательном движении
4. От каких факторов зависят напряжения в ободе вращающегося колеса.
5. Что такое удар. Чему равен динамический коэффициент при ударе.
6. От каких параметров зависит динамический коэффициент при сжимающем и изгибающем ударе.
7. Как определить наибольшее касательное напряжение при скручивающем ударе.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА: [6] – гл.24, 30; [7] – гл.23.

## **ТЕМА 24. Расчет на прочность при напряжениях, циклически изменяющихся во времени**

## Соппротивление материалов

Основные вопросы темы: явление усталости материала, механизм усталостного разрушения с позиций современной науки. Основные параметры цикла переменных напряжений. Симметричный, отнулевой циклы напряжений, подобные циклы. Понятие о пределе выносливости, методы определения предела выносливости. Кривая выносливости, диаграмма предельных напряжений. Влияние конструктивно-технологических факторов на предел выносливости. Понятие о коэффициенте запаса усталостной прочности. Расчет на усталостную прочность по коэффициенту запаса при симметричном и несимметричном циклах нагружения.

Необходимо понять механизм усталостного разрушения материала при циклическом нагружении. Запомнить основные параметры и виды циклов переменных напряжений. Уяснить понятие предела выносливости и как он определяется. Уметь строить кривую выносливости. Необходимо знать все факторы, которые влияют на усталостную прочность. Необходимо определять коэффициент запаса усталостной прочности при симметричном и несимметричном нагружениях.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково происхождение термина «усталость материала».
2. Как графически изображается изменение напряжений во времени.
3. Что называется циклом напряжений.
4. Что называется параметрами цикла переменных напряжений.
5. Что представляют собой симметричный и асимметричный циклы. Приведите примеры этих циклов.
6. В чем заключаются особенности усталостного разрушения.
7. Что называют пределом выносливости.
8. Что называют кривой выносливости. Для чего её строят.
9. Какие факторы оказывают влияние на предел выносливости.
10. Как строится приближенная диаграмма предельных циклов.
11. Как по диаграмме предельных напряжений определить предел выносливости при любом цикле нагружения.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА: [6] – гл. 31; [7] – гл.22.



## 6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА УСВОЕНИЯ МАТЕРИАЛА

Для проверки усвоения материала могут быть использованы тестовые задания для самоконтроля:

1. Сайт [www.sopromat.ru](http://www.sopromat.ru) (электронное тестирование)
2. Обычное тестирование с передачей результата преподавателю для оценки уровня подготовки.

### Тестовые задания по отдельным разделам для самоконтроля студентов

#### Тема: Растяжение и сжатие

1. Внутренние силовые факторы при растяжении-сжатии:  
 а) нормальная сила, б) поперечная сила, в) нормальная сила и изгибающий момент.

2. Напряжения при растяжении-сжатии: а) нормальное, б) касательное, в) нормальное и касательное.

3. Как изменяются нормальные напряжения по сечению стержня при растяжении-сжатии: а) одинаковы во всех точках сечения, б) наибольшие – в центре, в) наименьшие – в точках контура сечения.

4. Нормальные напряжения в сечении стержня при растяжении-сжатии вычисляются по формуле: а)  $\sigma = N/F$ , б)  $\sigma = N/E$ , в)  $\sigma = N \cdot F$ .

5. Закон Гука при растяжении-сжатии имеет вид: а)  $\sigma = E \cdot \varepsilon$ , б)  $\sigma = E \cdot N$ , в)  $\sigma = \varepsilon \cdot \varepsilon$ .

6. Какова размерность нормального напряжения: а) кН, б) МПа, в) кН·м.

7. Условие прочности при растяжении-сжатии имеет вид:  
 а)  $\sigma_{max} = N_{max}/F \leq [\sigma]$ , б)  $\tau_{max} = N_{max}/F \leq [\tau]$ , в)  $\sigma_{max} = M_k^{max}/W_p \leq [\sigma]$ .

8. Условие прочности при растяжении-сжатии позволяет определить: а) относительную продольную деформацию, б) коэффициент Пуассона, в) размер поперечного сечения.

9. Удлинение стержня при растяжении-сжатии вычисляется по формуле:

а)  $\Delta l = N \cdot E$ , б)  $\Delta l = E \cdot \varepsilon$ , в)  $\Delta l = N \cdot l / E \cdot F$ .

## Тема: Механические характеристики материалов

1. Диаграмма растяжения – это график зависимости между: а) усилием и абсолютной продольной деформацией образца, б) усилием и напряжением, в) усилием и относительной продольной деформацией.

2. Модуль продольной упругости материала (модуль Юнга) – это коэффициент, связывающий между собой: а) усилие и напряжение, б) усилие и площадь поперечного сечения, в) нормальное напряжение и относительную продольную деформацию.

3. Что такое предел прочности материала: а) отношение максимального усилия, которое выдерживает образец, к первоначальной площади его сечения, б) максимальное напряжение за время испытания, в) напряжение в момент разрушения образца.

4. Напряжение, до которого выполняется закон Гука, - это: а) предел пропорциональности, б) предел упругости, в) предел текучести.

5. Какова размерность модуля Юнга: а) МПа, б) кН/м, в) безразмерен.

6. Коэффициент Пуассона связывает между собой: а) относительную поперечную и относительную продольную деформации, б) продольную деформацию и напряжение, в) продольную деформацию и площадь поперечного сечения.

7. Какова размерность коэффициента Пуассона: а) безразмерная величина, б) м, в) МПа.

8. Предел текучести материала – это напряжение, при котором: а) деформация увеличивается без заметного увеличения нагрузки, б) на образце появляется шейка, в) происходит разрушение образца.

9. Какая механическая характеристика чугуна определяется при испытании на сжатие: а) предел прочности, б) предел текучести, в) относительная остаточная деформация.

10. Какую механическую характеристику пластичного материала необходимо знать, чтобы определить допустимое напряжение: а) предел текучести, б) предел пропорциональности, в) предел упругости.

11. Напряжение, до которого деформация полностью исчезает после снятия нагрузки, это: а) предел текучести, б) предел прочности, в) предел упругости.

## Сопrotивление материалов

## Тема: Изгиб

1. В сечении балки при плоском изгибе возникают внутренние силовые факторы: а) изгибающий момент и поперечная сила, б) крутящий момент, в) изгибающий момент и продольная сила.
2. В сечении балки при поперечном изгибе возникают напряжения: а) нормальные, б) касательные, в) нормальные и касательные.
3. Нормальное напряжение в сечении балки достигает наибольшего значения: а) на нейтральной линии, б) в крайних волокнах сечения, в) на нейтральной линии и в крайних волокнах сечения.
4. При чистом изгибе в сечении балки возникают напряжения: а) касательное, б) касательное и нормальное, в) нормальное.
5. Касательное напряжение в балке прямоугольного сечения достигает наибольшего значения: а) в крайних волокнах сечения, б) на нейтральной линии, в) на нейтральной линии и в крайних волокнах сечения.
6. Балка равного сопротивления изгибу при равной прочности по сравнению с обычной балкой является: а) более экономичной, б) менее экономичной, в) более простой.
7. В опасном сечении балки изгибающий момент: а) достигает наибольшего значения, б) равен нулю, в) равен поперечной силе.
8. Балка равного сопротивления изгибу имеет поперечное сечение: а) постоянное, б) переменное, в) круглое.
9. Условие прочности при изгибе позволяет определить: а) размеры поперечного сечения, б) положение нейтральной линии в сечении, в) положение центра тяжести сечения.
10. Нейтральная линия балки является: а) главной центральной осью поперечного сечения, б) центром тяжести сечения, в) крайним верхним волокном.
11. Наиболее рациональной формой сечения балки является: а) двутавр, б) прямоугольник, в) круг.
12. Нормальное напряжение в сечении балки распределяется: а) по линейному закону, б) по квадратичному закону, в) пропорционально изменению поперечной силы.
13. Нормальное напряжение в сечении балки при удалении от нейтральной линии: а) увеличивается, б) не изменяется, в) уменьшается.
14. Условие прочности при изгибе имеет вид: а)  
$$\sigma_{max} = M_{оп.с.} / W_x \leq [\sigma], \quad б) \sigma_{max} = N / F \leq [\sigma], \quad в) \sigma_{max} = Q / F \leq [\sigma].$$
15. Первая производная от изгибающего момента по длине рав-



## Сопrotивление материалов

на: а) поперечной силе, б) продольной силе, в) осевому моменту сопроtивления сечения.

16. При действии на балку сосредоточенных сил эпюра изгибающего момента представляет собой: а) отрезки прямых, параллельных оси балки, б) параболу, в) отрезки наклонных прямых.

17. При действии на балку сосредоточенных моментов эпюра изгибающего момента представляет собой: а) отрезки наклонных и горизонтальных прямых, б) параболу, в) отрезки горизонтальных прямых.

18. При действии на балку равномерно распределённой нагрузки эпюра изгибающего момента представляет собой: а) параболу, б) наклонную прямую, в) горизонтальную прямую.

19. Скачок на эпюре изгибающего момента возникает в сечении, где приложены: а) сосредоточенный момент, б) сосредоточенная сила, в) распределённая нагрузка.

20. Скачок на эпюре поперечной силы равен: а) сосредоточенной силе в этом сечении, б) сосредоточенному моменту в этом сечении, в) интенсивности распределённой нагрузки.

21. Для определения касательного напряжения при поперечном изгибе необходимо знать: а) поперечную силу, б) изгибающий момент, в) интенсивность распределённой нагрузки.

## Тема: Сдвиг (Срез)

1. При сдвиге в поперечном сечении стержня возникают внутренние силовые факторы: а) поперечная сила, б) продольная сила, в) изгибающий момент.

2. Относительная деформация при чистом сдвиге – это: а) угол сдвига, б) удлинение, в) угол поворота сечения.

3. Закон Гука при чистом сдвиге – это линейная зависимость между: а) касательным напряжением и относительным сдвигом, б) нормальным напряжением и относительным удлинением, в) касательным напряжением и поперечной силой.

4. Условие прочности при сдвиге имеет вид: а)

$$\tau_{max} = Q_{max} / F \leq [\tau], \quad б) \tau_{max} = M_k^{max} / W_p \leq [\tau], \quad в) \sigma_{max} = N_{max} / F \leq [\sigma].$$

5. При сдвиге в поперечном сечении стержня возникают напряжения: а) касательные, б) нормальные, в) нормальные и касательные.

## Сопротивление материалов

**Тема: Кручение**

1. При кручении в поперечном сечении стержня возникают внутренние силовые факторы: а) крутящий момент, б) изгибающий момент, в) поперечная сила.

2. При кручении в поперечном сечении вала возникают напряжения: а) касательные, б) нормальные, в) нормальные и касательные.

3. Угол закручивания сечения вала при увеличении крутящего момента: а) увеличивается пропорционально, б) остаётся постоянным, в) изменяется обратно пропорционально.

4. Стальной стержень при кручении: а) разрушается в плоскости поперечного сечения, б) не разрушается, в) разрушается под углом  $45^\circ$  к оси.

5. Закон Гука при кручении для напряжения линейно связывает между собой: а) касательное напряжение и относительный угол закручивания, б) крутящий момент и полярный момент сопротивления, в) касательное напряжение и длину стержня.

6. Касательное напряжение при кручении равно нулю: а) в центре вала, б) на поверхности вала, в) под углом  $45^\circ$  к оси.

7. Угол, на который друг относительно друга поворачиваются вокруг продольной оси вала его поперечные сечения при действии скручивающего момента, называют: а) углом закручивания сечения, б) углом поворота сечения балки, в) углом сдвига.

8. Деформации при кручении: а) угол закручивания сечения, б) угол сдвига, в) прогиб.

9. Касательное напряжение при кручении принимает наибольшие значения: а) на поверхности вала, б) в центре вала, в) под углом  $45^\circ$  к оси.

10. Касательное напряжение при кручении с увеличением крутящего момента: а) увеличивается, б) не изменяется, в) уменьшается.

11. Условие прочности при кручении имеет вид:

а)  $\tau_{max} = M_k^{max} / W_p \leq [\tau]$ , б)  $\tau_{max} = Q / F \leq [\tau]$ , в)  $\sigma_{max} = M^{max} / W_x \leq [\sigma]$ .

12. Геометрические характеристики сечения при кручении:

а) полярный момент инерции, б) осевой момент инерции, в) площадь.

13. Полярный момент сопротивления определяют по формуле:

а)  $W_p = 0,2 \cdot D^3$ , б)  $W_p = 0,1 \cdot D^3$ , в)  $W_p = 0,1 \cdot D^4$ .

14. Закон Гука при кручении имеет вид: а)  $\tau = G \cdot \theta \cdot \rho$ , б)

$\tau = G \cdot \gamma$ , в)  $\sigma = E \cdot \varepsilon$ .

## Тема: Устойчивость сжатых стержней

1. По формуле Эйлера определяют: а) критическую силу сжатого стержня, б) гибкость стержня, в) поперечную силу.
2. Для стержня большой гибкости критическое напряжение определяют: а) по формуле Эйлера, б) по формуле Ясинского, в) из условия прочности при сжатии.
3. Гибкость сжатого стержня определяют по формуле:  
а)  $\lambda = \mu \cdot l / i_{min}$ , б)  $\lambda = \mu \cdot l / F$ , в)  $\lambda = F \cdot l / i_{min}$ .
4. Коэффициент приведения длины  $\mu$  зависит: а) от способа закрепления концов стержня, б) от площади поперечного сечения стержня, в) от величины сжимающей силы.
5. Критическая сила сжатого стержня - это: а) наибольшая сила, при которой происходит потеря устойчивости; б) наименьшая сила, при которой стержень разрушается; в) наименьшая сила, при которой происходит потеря устойчивости.

## Тема: Расчёт статически неопределимых стержневых систем при растяжении-сжатии

1. Степень статической неопределимости системы равна: а) разности между числом неизвестных усилий и числом независимых уравнений равновесия статики; б) числу неизвестных усилий; в) числу независимых уравнений равновесия статики.
2. Уравнения совместности деформаций (уравнения перемещений) связывают между собой: а) деформации или перемещения элементов; б) уравнения равновесия статики; в) внешние нагрузки.
3. Число уравнений совместности деформаций соответствует: а) степени статической неопределимости; б) числу неизвестных усилий; в) числу уравнений равновесия статики.
4. Монтажные напряжения возникают: а) в результате действия внешних нагрузок; б) при сборке конструкции из-за неточности изготовления элементов; в) при изменении температуры элементов.
5. Температурные напряжения возникают: а) из-за погрешности изготовления элементов; б) под действием внешних нагрузок; в) при изменении температуры элементов.
6. В статически неопределимых стержневых системах при растяжении-сжатии внутренним силовым фактором является: а) нормальная сила и изгибающий момент; б) продольная или нормальная сила; в) поперечная сила.

## Сопrotивление материалов

7. Закон Гука при растяжении-сжатии позволяет: а) выразить перемещения элементов через внутренние продольные силы в них; б) составить уравнения равновесия статики; в) связать между собой продольные и поперечные деформации.

8. При растяжении-сжатии элементов в поперечных сечениях стержней возникают напряжения: а) нормальные и касательные; б) нормальные; в) касательные.

9. Схема сил при расчёте статически неопределимой конструкции позволяет: а) составить условие прочности; б) записать закон Гука и составить условие прочности; в) выявить неизвестные усилия, составить уравнения равновесия статики, вычислить степень статической неопределимости.

10. Схема деформаций при расчёте статически неопределимой конструкции позволяет: а) связать между собой деформации или перемещения элементов и составить уравнения совместности деформаций; б) составить уравнения совместности деформации и условие прочности; в) составить уравнения равновесия статики.

11. Условие прочности при растяжении-сжатии позволяет: а) определить деформацию стержня; б) определить размер и площадь поперечного сечения; в) вычислить степень статической неопределимости.

### Тема: Расчет статически неопределимых балок

1. Многопролётная неразрезная балка является: а) эквивалентной; б) статически неопределимой; в) статически определимой.

2. Балка с защемлением и шарнирными опорами является: а) статически определимой; б) основной системой; в) статически неопределимой.

3. Эквивалентная балка является: а) статически определимой; б) статически неопределимой; в) равнопрочной.

4. Уравнения 3-х моментов составляют для: а) каждого силового фактора, б) каждой промежуточной опоры; в) крайних опор.

5. Уравнения 3-х моментов позволяют определить: а) неизвестные сосредоточенные моменты на крайних опорах; б) неизвестные сосредоточенные моменты на промежуточных опорах; в) внешние нагрузки.

6. При плоском изгибе статически неопределимой балки в поперечных сечениях возникают напряжения: а) касательные; б) нормальные; в) нормальные и касательные.

## Соппротивление материалов

7. Условие прочности при изгибе имеет вид: а)

$$\sigma_{max} = |M_{max}| / W_x \leq [\sigma]; \quad б) \tau_{max} = |M_k^{max}| / W_p \leq [\tau]; \quad в)$$

$$\sigma_{max} = |N_{max}| / F \leq [\sigma].$$

8. Канонические уравнения метода сил представляют собой: а) уравнения 3-х моментов; б) ограничения на перемещения по направлению "лишних" неизвестных усилий; в) уравнения равновесия статики.

9. Число канонических уравнений метода сил равно: а) числу внешних нагрузок; б) степени статической неопределимости; в) числу уравнений равновесия статики.

10. Перемещения в канонических уравнениях определяют: а) по методу Мора или Верещагина; б) по условию прочности; в) по закону Гука.

11. Формула Верещагина для определения перемещений при изгибе имеет вид: а)  $\Delta = \sum \frac{\Omega_i \cdot \overline{M}^{ci}}{E \cdot I_x}$ ; б)  $\Delta = \frac{[\sigma]}{n}$ ; в)

$$\Delta = \sum \frac{Q_i \cdot S_i}{b_i \cdot I_x}.$$

12. Из канонических уравнений метода сил определяют: а) неизвестные усилия; б) внешние нагрузки; в) перемещения опор.

### Тема: Определение перемещений при изгибе

1. Смещение центра тяжести поперечного сечения перпендикулярно недеформированной оси называют: а) удлинением; б) прогибом; в) углом поворота сечения.

2. Упругая линия балки – это: а) пролёт балки; б) нейтральная линия; в) искривлённая ось балки.

3. Угол, на который поворачивается поперечное сечение балки относительно первоначального положения, называют: а) углом закручивания; б) углом поворота сечения; в) углом сдвига.

4. Линейное перемещение балки – это: а) удлинение; б) прогиб; в) угол поворота сечения.

5. Прогиб и угол поворота поперечного сечения связаны между собой зависимостью (записать): \_\_\_\_\_.

6. Формула Верещагина для определения перемещений при изгибе имеет вид: а)  $\Delta = \frac{\Delta l}{l}$ ; б)  $\Delta = \frac{\varepsilon}{\varepsilon'}$ ; в)

## Соппротивление материалов

$$\Delta = \sum \frac{\Omega_i \cdot \bar{M}_{ci}}{E \cdot I_x}$$

7. Дифференциальное уравнение упругой линии балки имеет вид (записать): \_\_\_\_\_.

8. Дифференциальное уравнение упругой линии балки позволяет определить: а) удлинение; б) изгибающий момент; в) прогиб и угол поворота сечения.

9. Метод Мора позволяет определить при изгибе: а) относительную продольную деформацию; б) угол сдвига; в) прогиб и угол поворота поперечного сечения.

10. При определении прогиба методом Мора (способом Верещагина) вспомогательная балка должна быть нагружена: а) единичным сосредоточенным моментом на опоре; б) единичной сосредоточенной силой в точке, где определяют прогиб; в) единичной сосредоточенной силой посередине пролета.

## Тема: Изгиб с кручением

1. При изгибе с кручением в сечении стержня возникают внутренние силовые факторы: а) изгибающий момент и поперечная сила; б) изгибающий и крутящий моменты; в) крутящий момент.

2. Напряжения, возникающие в поперечном сечении вала при изгибе с кручением: а) нормальные; б) касательные; в) нормальные и касательные.

3. Опасные точки в поперечном сечении вала при кручении с изгибом в вертикальной плоскости расположены: а) в крайних верхнем и нижнем волокнах; б) в центре вала.

4. Условие прочности при изгибе с кручением имеет вид: а)  $T_{max} = |M_k^{max}|/W_p \leq [\tau]$ ; б)  $\sigma_{max} = |M_{max}|/W_x \leq [\sigma]$ ; в)  $\sigma_{max} = |M_{экр}^{max}|/W_x \leq [\sigma]$ .

5. Диаметр вала при изгибе с кручением определяют по формуле (записать): \_\_\_\_\_.

6. Суммарный изгибающий момент определяют по формуле (записать): \_\_\_\_\_.

7. Эквивалентный (приведённый или расчётный) момент по третьей теории прочности определяют в виде:

$$а) M_{экр} = \sqrt{M_u^2 + M_k^2}; \quad б) M_{экр} = \sqrt{M_u^2 + 0,75 \cdot M_k^2};$$

$$в) M_{экр} = \sqrt{W_x^2 + W_y^2}.$$

## Соппротивление материалов

8. Условие прочности при изгибе с кручением используют для определения: а) диаметра вала; б) касательного напряжения; в) угла закручивания.

### Тема: Косой изгиб. Внецентренное растяжение-сжатие

1. При косом изгибе в сечении стержня возникают внутренние силовые факторы: а) изгибающие моменты; б) изгибающие и крутящие моменты; в) продольные силы.

2. На нейтральной линии нормальное напряжение: а) равно нулю; б) достигает наибольшего значения; в) равно приложенной нагрузке

3. При косом изгибе нейтральная линия проходит: а) вдоль оси стержня; б) через центр тяжести сечения; в) через крайние точки сечения.

4. При косом изгибе наибольшие нормальные напряжения возникают: а) в центре тяжести сечения; б) в точке приложения внешней нагрузки; в) в точках, наиболее удалённых от нейтральной линии.

5. При косом изгибе угол наклона нейтральной линии определяют по формуле (записать): \_\_\_\_\_.

6. Нормальное напряжение при косом изгибе определяют

по формуле: а)  $\sigma = P \cdot z \cdot \left( \frac{y \cdot \cos \alpha}{J_x} + \frac{x \cdot \sin \alpha}{J_y} \right)$ ; б)  $\sigma = \frac{N}{F}$ ;

$$в) \sigma = \frac{M_k}{W_p}.$$

7. Условие прочности при косом изгибе имеет вид (записать): \_\_\_\_\_.

8. При внецентренном растяжении-сжатии возникают внутренние силовые факторы: а) изгибающий момент; б) изгибающий момент и продольная сила; в) продольная сила.

9. При внецентренном растяжении-сжатии внешняя нагрузка действует: а) перпендикулярно продольной оси стержня; б) параллельно продольной оси стержня.

10. При внецентренном растяжении-сжатии в поперечном сечении стержня возникают напряжения: а) нормальные; б) касательные; в) нормальные и касательные.

11. При внецентренном растяжении-сжатии нейтральная

## Соппротивление материалов

линия: а) всегда проходит через центр тяжести сечения; б) всегда касается сечения; в) может пересекать сечение, находиться вне сечения, касаться сечения.

12. При внецентренном растяжении-сжатии положение нейтральной линии зависит: а) от координат точки приложения внешней нагрузки; б) от величины приложенной силы; в) от координат точки приложения внешней нагрузки и радиусов инерции сечения.

13. При внецентренном растяжении-сжатии наибольшие нормальные напряжения возникают: а) в центре тяжести сечения; б) в точке приложения внешней нагрузки; в) в точках, наиболее удалённых от нейтральной линии.

14. При внецентренном растяжении-сжатии ядро сечения – это: а) область вокруг центра тяжести сечения; б) точка приложения внешней нагрузки; в) точка, наиболее удалённая от нейтральной линии.

15. При внецентренном растяжении-сжатии нормальное напряжение определяют по формуле: а)  $\sigma = \frac{M_k}{W_p}$ ; б)

$$\sigma = \pm \frac{N}{F} \cdot \left( 1 + \frac{x \cdot x_p}{i_y^2} + \frac{y \cdot y_p}{i_x^2} \right); \quad \text{в)}$$

$$\sigma = P \cdot z \cdot \left( \frac{y \cdot \cos \alpha}{J_x} + \frac{x \cdot \sin \alpha}{J_y} \right).$$

16. При внецентренном растяжении-сжатии условие прочности имеет вид (записать): \_\_\_\_\_.

### Тема: Геометрические характеристики плоских сечений

1. Что такое статический момент площади сечения относительно оси X:

$$S_x = \int_F y dF \quad \text{а)} \quad S_x = \int_F x dF \quad \text{б)} \quad S_x = \int_F y^2 dF \quad \text{в)}$$

2. Статический момент площади сечения относительно оси Y вычисляется по формуле (записать): \_\_\_\_\_.

3. Центральная ось сечения – это ось относительно которой: а) статический момент площади равен нулю; б) осевой



## Сопротивление материалов

момент инерции равен нулю; в) полярный момент инерции равен нулю.

4. Координата центра тяжести составного сечения  $X_c$  рассчитывается по формуле (записать): \_\_\_\_\_.

5. Что такое момент инерции сечения относительно оси  $X$

а)

б)

в)

$$J_x = \int_F y^2 dF$$

$$J_x = \int_F x^2 dF$$

$$J_x = \int_F x dF$$

6. Момент инерции круглого сечения относительно его центральной оси  $X$  рассчитывается по формуле: а)  $J_x = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$ ;

б)  $J_x = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$ ; в)  $J_x = 0,2 \cdot d^4$ .

7. Как изменится момент инерции сечения относительно оси  $X$ , если эта ось будет удаляться от центра тяжести, оставаясь параллельной самой себе: а) увеличится; б) уменьшится; в) не изменится.

8. Осевой момент сопротивления сечения относительно оси  $X$  определяют по формуле: а)  $W_x = \frac{J_x}{|y_{\max}|}$ ; б)  $W_x = \frac{J_y}{|y_{\max}|}$ ;

в)  $W_x = \frac{J_p}{|x_{\max}|}$ .

9. Полярный момент сопротивления сечения определяют по формуле: а)  $W_p = \frac{J_p}{\rho_{\max}}$ ; б)  $W_p = \frac{J_x}{|y_{\max}|}$ ; в)  $W_p = \frac{J_p}{|x_{\max}|}$ .

10. Моменты сопротивления сечения используют при определении: а) напряжений; б) перемещений; в) внешних нагрузок.

11. Статический момент площади сечения позволяет определить: а) размер сечения; б) координаты центра тяжести сечения; в) площадь сечения.

12. Главные оси инерции сечения - это оси, относительно которых центробежный момент инерции: а) обращается в нуль; б) больше нуля; в) меньше нуля.

13. Главный радиус инерции сечения относительно произ-

### Сопrotивление материалов

вольной оси определяют по формуле: а)  $i = \sqrt{\frac{J}{F}}$ ; б)

$$i = \sqrt{\frac{N}{F}}; \text{ в) } i = \sqrt{\frac{S}{F}}.$$

14.Эллипс инерции сечения позволяет: а) определить центр тяжести сечения; б) графически определить момент инерции сечения относительно любой центральной оси; в) вычислить полярный момент инерции для сечения любой формы.

15.Момент инерции прямоугольного сечения относительно оси  $Y$  вычисляют по формуле: а)  $J_y = \frac{h \cdot b^3}{6}$ ; б)  $J_y = \frac{h \cdot b^3}{12}$ ; в)

$$J_y = \frac{h \cdot b^2}{6}.$$

16.Какую размерность имеет момент инерции сечения: а)  $\text{м}^3$ ; б)  $\text{м}^4$ ; в)  $\text{м}$ .