

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Амурский государственный университет»**

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ  
«Сопротивление материалов»**

Основной образовательной программы по специальности: **260901.65 «Технология швейных изделий»**

Благовещенск 2012 г.

УМКД разработан старшим преподавателем Бошко Маргаритой Евгеньевной.

Рассмотрен и рекомендован на заседании кафедры.

Протокол заседания кафедры от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 года №\_\_\_

Зав. кафедрой

А.Н. Рыбалёв

## **УТВЕРЖДЁН**

Протокол заседания УМСС 260901.65 «Технология швейных изделий»

от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г. №\_\_\_

Председатель УМСС \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)

## ЛЕКЦИИ

### Лекция 1

Тема: Основные понятия.

Цель 1. Сформулировать понятие, что сопротивление материалов – наука об инженерных методах расчета на прочность, жесткость и устойчивость элементов конструкций (деталей машин); что знание основ сопротивления материалов является важнейшим требованием и составной частью при подготовке специалиста технологии швейных изделий.

#### План лекции

1. Основные задачи курса.
2. Место среди других дисциплин.
3. Основные гипотезы.
4. Реальный объект и расчетная схема.
5. Внешние силы. Классификация.
6. Метод сечений – метод определения внутренних усилий.
7. Напряжения.
8. Деформации и перемещения.

#### Ключевые вопросы

1. Что такое прочность? Жесткость? Устойчивость?
2. Сформулируйте определение сопротивления материалов как о науке.
3. На каких допущениях базируется сопротивление материалов?
4. Какие усилия называются внешними, внутренними?
5. В чем сущность метода сечений?
6. Какие внутренние усилия вы знаете?
7. Что такое напряжение?
8. Какие два вида напряжений вы знаете?
9. Физический смысл нормального и касательного напряжения?
10. Назовите размерность напряжений?
11. Правило знаков для нормального и касательного напряжения?
12. Индексация напряжений.
13. Главные напряжения. Их обозначение.
14. Условие прочности.
15. Деформации. Упругие и пластические (остаточные).
16. Деформации линейные и угловые, абсолютные и относительные.
17. Перемещение.
18. Условие жесткости.

Объем 2 часа.

### Лекция 2

Тема: Центральное растяжение (сжатие).

Цель 1. Научить определять внутреннее усилие, напряжение, деформации при центральном растяжении (сжатии); строить их эпюры  
2. Освоить расчет на прочность и жесткость при центральном растяжении (сжатии).

#### План лекции

1. Внутреннее усилие. Построение эпюр продольных сил.
2. Напряжение в поперечном сечении стержня.
3. Напряжения в наклонных сечениях стержня.
4. Закон парности касательных напряжений.
5. Условие прочности по методу допускаемых напряжений. Три вида задач на прочность
6. Деформации. Закон Гука. Закон Пуассона.
7. Условие жесткости.

#### Ключевые вопросы

1. Какие случаи деформации бруса называются центральным растяжением или сжатием?
2. Как вычисляется значение продольной силы в произвольном поперечном сечении стержня?
3. Что представляет собой эпюра продольных сил и как она строится?
4. Как распределены нормальные напряжения в поперечных сечениях центрально растянутого или сжатого бруса и чему они равны?
5. Что представляет собой величина Анетто и Абрутто поперечного сечения?
6. Что называется полной (абсолютной) продольной деформацией? Размерность.
7. Что называется относительной продольной деформацией? Размерность.
8. Что называется модулем упругости  $E$ ? Размерность? Как влияет величина  $E$  на деформацию бруса?
9. Что называется жесткостью поперечного сечения при растяжении (сжатии)?
10. Как формулируется закон Гука? Напишите формулы абсолютной и относительной продольных деформаций стержня.
11. Как определяются продольные перемещения точек бруса при ступенчато переменном сечении и продольных силах, постоянных в пределах отдельных участков.

Объем 2 часа.

### Лекция 3

Тема: Чистый сдвиг.

Цель: 1. Изучить напряженное состояние при чистом сдвиге, деформации.

2. Условие прочности для конструкций, работающих на сдвиг.

План

1. Напряженное состояние при сдвиге.
2. Деформации при сдвиге. Закон Гука при сдвиге.

Ключевые вопросы

1. Какой случай плоского напряженного состояния называется чистым сдвигом?
2. Как записывается закон Гука при сдвиге? Какие константы упругости вы знаете для изотропного материала и как они взаимосвязаны?
3. Что называется абсолютным сдвигом, относительным сдвигом и углом сдвига?
4. В чем состоит закон парности касательных напряжений?
5. Из каких условий определяется количество заклепок, толщина и ширина фасонного листа и другие размеры заклепочного соединения?
6. Как определяется длина сварных швов? Почему при расчете прочности шва его толщина умножается на коэффициент 0,7?
7. Что такое катет шва?

Объем 1 час.

### Лекция 4

Тема: Кручение стержней круглого и кольцевого поперечного сечения.

Цель: Научить методам расчета на прочность и жесткость сплошных и полых валов при кручении.

План

1. Определение момента крутящего. Построение эпюр моментов крутящих.
2. Напряжение и деформации при кручении.
3. Расчет сплошных и полых валов при кручении.
4. Критерии рациональности формы поперечных сечений при кручении.

Ключевые вопросы

1. При каком нагружении стержень испытывает деформацию кручения?
2. Как вычисляется вращающий момент, передаваемый шкивом, по заданной мощности и число оборотов в минуту?
3. Чему равен момент крутящий в произвольном поперечном сечении вала?

4. Какое правило знаков принято для крутящих моментов?
5. Что представляют собой эпюры крутящих моментов и как они строятся?
6. Чему равны касательные напряжения в произвольной точке поперечного сечения?
7. Закон распределения касательных напряжений по сечению при кручении?
8. Чему равны наибольшие экстремальные касательные напряжения и в каких точках они возникают?
9. Условие прочности при кручении.
10. Чем объясняется, что стержень кольцевого сечения при кручении экономичнее круглого стержня?
11. Что называется полным (абсолютным) и относительным углом закручивания бруса?
12. Как производится расчет вала на жесткость?
13. Чему равна жесткость при кручении?

Объем 2 часа.

### Лекция 5

Тема: Прямой поперечный изгиб.

Цель: Научить методам расчета на прочность и жесткость конструкций, работающих на изгиб.

#### План

1. Общие понятия о деформациях изгиба.
2. Определение внутренних усилий при изгибе.
3. Правило знаков для изгибающих моментов и поперечных сил.
4. Зависимости между изгибающим моментом, поперечной силой и интенсивностью распределенной нагрузкой.
5. Построение эпюр изгибающих моментов и поперечных сил.
6. Определение нормальных напряжений.
7. Определение касательных напряжений (без вывода).
8. Условие прочности по нормальным напряжениям.
9. Деформации при изгибе. Дифференциальное уравнение изогнутой оси. Метод непосредственного интегрирования.
10. Деформации при изгибе. Метод начальных параметров.

#### Ключевые вопросы

1. Понятие чистого, прямого, косоугольного изгиба.
2. Определение балки.
3. Типы опорных устройств балок.
4. Определение поперечной силы. Правило знаков.
5. Определение момента изгибающего. Правило знаков.
6. Дифференциальная зависимость между моментом изгибающим и поперечной силой.
7. Построение эпюр поперечных сил  $Q$  и моментов изгибающих  $M$ .
8. Понятие нейтральной оси.
9. Формула нормальных напряжений в поперечном сечении балки.
10. Формула максимальных нормальных напряжений.
11. Что называется осевым моментом сопротивления сечению?
12. Условие прочности по нормальным напряжениям для балок постоянного поперечного сечения, изготовленных из пластичного и хрупкого материала.
13. Рациональная форма сечения балки при изгибе для пластичного материала.
14. Чему равны касательные напряжения для балки прямоугольного поперечного сечения?
15. Деформации при изгибе. Понятие прогиба и угла поворота сечения. Правило знаков.
16. Дифференциальное уравнение изогнутой оси. Метод непосредственного интегрирования. Определение постоянных интегрирования.
17. Деформации при изгибе. Метод начальных параметров.

Объем 4 часа.

## Лекция 6

Тема: Анализ напряженного и деформированного состояния в точке.

Цель: Изучить напряженное и деформированное состояние в точке, для последующего решения более сложных задач (чем при простом нагружении), и в первую очередь для расчета на прочность при сложном напряженном состоянии материала.

### План

1. Понятие о напряженном состоянии материала в точке.
2. Главные напряжения, главные площадки.
3. Тензор напряжений.
4. Виды напряженного состояния.
5. Зависимости между деформациями и напряжениями при сложном напряженном состоянии (обобщенный закон Гука).

### Ключевые вопросы

1. Понятие о напряженном состоянии материала.
2. Главные напряжения.
3. Индексация напряжений и правило знаков.
4. Виды напряженных состояний.
5. Главные напряжения при плоском напряженном состоянии.
6. Обобщенный закон Гука.

Объем 1 час.

## Лекция 7

Тема: Теории прочности.

Цель: Усвоить, что оценка прочности для сложного напряженного состояния производится по эквивалентному (приведенному) напряжению в соответствии с той или иной гипотезой прочности.

### План

1. Опасное (предельное) состояние материала при различных теориях прочности.
2. Теория наибольших касательных напряжений.
3. Энергетическая теория прочности.

### Ключевые вопросы

1. Опасное (предельное) состояние пластичного материала при осевом растяжении (сжатии).
2. Опасное (предельное) состояние хрупкого материала при осевом растяжении (сжатии).
3. Опасное состояние материала по третьей теории прочности. Для каких материалов она применима. Эквивалентное напряжение. Условие прочности.
4. Опасное состояние материала по энергетической теории прочности. Для каких материалов она применяется. Эквивалентное напряжение. Условие прочности.

Объем 1 час.

## Лекция 8

Тема: Сложное сопротивление материалов.

I группа (те случаи сопротивления материалов, при которых в опасных сечениях стержня напряженное состояние является одноосным, либо может рассматриваться как одноосное, в связи с незначительным влиянием на прочность стержня, возникающих в его поперечных сечениях). Косой изгиб. Внецентренное сжатие (растяжение).

Цель: Научить расчетам на прочность при данных видах нагружения.

### План

1. Косой изгиб. Определение напряжений. Нейтральная ось. Условие прочности. Определение деформаций.

2. Внецентренное сжатие (растяжение). Определение напряжений. Нейтральная ось и её свойства. Условие прочности.

#### Ключевые вопросы

1. Какой изгиб называется косым?
2. Может ли балка круглого поперечного сечения испытывать косой изгиб?
3. Что называется чистым косым изгибом и поперечным косым изгибом?
4. По каким формулам определяются нормальные напряжения в поперечных сечениях бруса при косом изгибе? Как устанавливаются знаки напряжений?
5. Как находится положение нейтральной оси при косом изгибе?
6. Что представляют собой опасные точки в сечении и как определяется их положение при косом изгибе?
7. Как определяются перемещения точек оси балки при косом изгибе?
8. Какое сложное сопротивление называется внецентренным растяжением (сжатием)?
9. Сочетание каких деформаций представляет внецентренное растяжение (сжатие)?
10. Какие внецентренно растянутые (или сжатые) брусья называют жесткими и какие гибкими?
11. По каким формулам определяются нормальные напряжения в поперечных сечениях стержня при внецентренном растяжении (сжатии)? Какой вид имеет эпюра этих напряжений?
12. Как определяется положение нейтральной оси при внецентренном растяжении (сжатии)?
13. Как перемещается нейтральная ось, когда координаты  $I_y$  и  $I_z$  полюса возрастают по абсолютной величине?
14. Какой вид имеет формула нормальных напряжений и как расположена нейтральная ось в случае, когда полюс находится на одной из главных центральных осей инерции сечения?

Объем 2 часа.

#### Лекция 9

Тема: Изгиб с кручением брусьев круглого сечения.

Цель: Знать, что при изгибе с кручением возникает плоское напряженное состояние, и расчет на прочность выполняется с применением теорий прочности.

#### План

1. На конкретном примере определить внешние нагрузки.
2. На конкретном примере определить внутренние усилия (момент изгибающий в вертикальной плоскости, момент изгибающий в горизонтальной плоскости, суммарный момент изгибающий, момент крутящий) и построить их эпюры.
3. Нахождение опасного сечения.
4. Изгиб с кручением – частный случай плосконапряженного состояния материала. Главные напряжения.
5. Условие прочности по третьей и четвертой теории прочности.
6. Определение момента расчетного (эквивалентного) по третьей и четвертой теории прочности.

#### Ключевые вопросы

1. Какое напряженное состояние возникает при изгибе с кручением?
2. Какие напряжения возникают в поперечном сечении стержня при изгибе с кручением?
3. Как находятся опасные точки сечения бруса круглого сечения при изгибе с кручением?
4. Как находится величина приведенного момента по 3 и 4 теории прочности при изгибе с кручением стержня круглого сечения?
5. В чем сущность третьей теории прочности? Условие прочности по этой теории?
6. В чем сущность четвертой теории прочности? Условие прочности по этой теории?

Объем 1 час.

## Лекция 10

Тема: Устойчивость сжатых стержней.

Цель: Научить методам расчета на устойчивость.

### План

1. Устойчивые и неустойчивые формы равновесия.
2. Формула Эйлера для критической силы.
3. Влияние способа закрепления концов стержня на величину критической силы.
4. Пределы применимости формулы Эйлера.
5. Практические расчеты на устойчивость.

### Ключевые вопросы

1. В чем заключается явление потери устойчивости сжатого стержня?
2. Что называется продольным изгибом?
3. Что называется критической силой и критическим напряжением?
4. Какое дифференциальное уравнение из теории изгиба лежит в основе вывода формулы Эйлера?
5. Что называется жесткостью стержня при изгибе?
6. Какой вид имеет формула Эйлера, определяющая величину критической силы?
7. Как влияют жесткость  $EJ$  поперечного сечения и длина  $l$  стержня на величину критической силы?
8. Какой момент инерции обычно входит в формулу Эйлера?
9. Как устанавливается предел применимости формулы Эйлера?
10. Что представляет собой коэффициент приведения длины и чему он равен при различных условиях закрепления концов сжатых стержней?
11. Что называется предельной гибкостью?
12. Какой вид имеет формула Ясинского для определения критических напряжений и при каких гибкостях она применяется для стержней из стали Ст3?
13. Как определяется критическая сила по Ясинскому?
14. Какой вид имеет график зависимости критических напряжений от гибкости для стальных стержней?
15. Какой вид имеет условие устойчивости сжатого стержня? Какая площадь поперечного сечения стержня подставляется в это условие?
16. Что представляет собой коэффициент  $\varphi$ , как определяется его значение? Как производится проверка стержней на устойчивость с его помощью?
17. Как подбирается сечение стержня при расчете на устойчивость?

Объем 2 часа.

## Лекция 11

Тема: Усталость (Прочность при напряжениях, циклически изменяющихся во времени).

Цель: Освоить расчет на прочность при регулярном режиме нагружения. Знать формулу коэффициента запаса прочности по усталости.

### План

1. Явление усталости.
2. Природа и механизм усталостного разрушения.
3. Цикл напряжений. Его характеристики.
4. Виды циклов напряжений.
5. Кривая усталости (Кривая Вёлера). Предел выносливости.
6. Диаграмма предельных амплитуд.
7. Факторы, влияющие на предел выносливости: концентрация напряжений, масштабный фактор, влияние качества поверхности и упрочнения поверхностного слоя.
8. Определение коэффициента запаса прочности при сложном напряженном состоянии.
9. Практические меры повышения сопротивления усталости.

### Ключевые вопросы



1. Что называется усталостной трещиной?
2. Опишите характер усталостного разрушения.
3. Что называется сопротивлением усталости?
4. Что называется циклом напряжений?
5. Что называется максимальным и минимальным напряжением, амплитудой, коэффициентом асимметрии цикла?
6. Что представляет собой симметричный цикл?
7. Что представляет собой отнулевой цикл?
8. Какие циклы называются подобными?
9. Что представляет собой кривая усталости (кривая Вёлера) и как её получают?
10. Что называется пределом выносливости?
11. Какую величину называют базовым числом цикла?
12. Как влияют размеры детали на величину предела выносливости? Что представляет собой масштабный коэффициент (масштабный фактор) и от чего зависит его величина?
13. Что называется эффективным коэффициентом концентрации напряжений? От каких факторов он зависит?
14. Как влияет на величину предела выносливости чистота поверхности?
15. От каких основных факторов зависит величина требуемого коэффициента запаса прочности?
16. Условие прочности при регулярном режиме нагружения.
17. Приведите эмпирическую формулу Гафа и Полларада определения общего коэффициента запаса прочности.
18. Какой вид расчета на прочность при циклических напряжениях выполняют? Какое сечение является опасным?

Объем 2 часа.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

### Практическое занятие № 1

Тема: Центральное растяжение-сжатие.

Цель: Освоение техники построения эпюр продольной силы, нормальных напряжений, перемещений при осевом растяжении, сжатии.

#### План

1. Определение реакции жесткой заделки.
2. Применяя метод сечений на каждом участке, находим продольные силы и строим эпюру  $N$ .
3. На каждом участке находим нормальные напряжения. Строим эпюру  $\sigma$ .
4. Строим эпюру перемещений методом характерных сечений.

#### Вопросы для подготовки

1. Какие случаи деформации бруса называются центральным растяжением или сжатием?
2. Как вычисляется значение продольной силы в произвольном поперечном сечении стержня?
3. Что представляет собой эпюра продольных сил и как она строится?
4. Как распределены нормальные напряжения в поперечных сечениях центрально растянутого или сжатого бруса и чему они равны?
5. Что представляет собой величина Анетто и Абругто поперечного сечения?
6. Что называется полной (абсолютной) продольной деформацией? Размерность.
7. Что называется относительной продольной деформацией? Размерность.
8. Что называется модулем упругости  $E$ ? Размерность? Как влияет величина  $E$  на деформацию бруса?
9. Что называется жесткостью поперечного сечения при растяжении (сжатии)?

10. Как формулируется закон Гука? Напишите формулы абсолютной и относительной продольных деформаций стержня.

11. Как определяются продольные перемещения точек бруса при ступенчато переменном сечении и продольных силах, постоянных в пределах отдельных участков.

Объем 1 час.

### Практическое занятие № 2

Тема: Статически неопределимые задачи осевого растяжения (сжатия).

Цель. 1. Уяснить какие системы называются статически неопределимыми.

2. Уметь составлять дополнительные (к уравнениям равновесия) уравнения перемещений. Способы их составления рассмотреть на конкретных примерах.

#### План

1. Дать определение статически определимой и статически неопределимой системы.

2. Формула степени статической неопределимости системы.

3. Порядок решения этих задач.

4. Примеры:

4.1. Для двухступенчатого стержня, защемленного обоими концами и нагруженного продольными силами, требуется построить эпюры  $N$ ,  $\sigma$ ,  $\delta$ .

4.2. Система, состоящая из втулки и стержня. Втулка и стержень помещены между абсолютно жесткими плитами и сжимаются силой  $F$ . Требуется определить напряжения в поперечных сечениях втулки и стержня, вызываемой силой  $F$ .

4.3. Температурные напряжения, возникающие в результате изменения температуры элементов конструкции.

4.4. Монтажные напряжения.

#### Вопросы для подготовки

1. Какие системы называются статически неопределимыми?

2. Чему равна степень статической неопределимости?

3. Как составляются дополнительные уравнения – уравнения перемещений?

#### Расчетно-графическая работа № 1

Расчет статически неопределимого стержня при осевом растяжении (сжатии).

Объем занятия 2 часа.

### Практическое занятие № 3

Тема: Геометрические характеристики плоских сечений.

Цель: Научить вычислению геометрических характеристик плоских сечений.

#### План

1. Основные геометрические характеристики плоских сечений.

2. Определение координат центра тяжести сложного сечения.

3. Определение осевых и центробежного момента инерции относительно вспомогательных (случайных) осей сложного сечения.

4. Определение главных осей и главных моментов инерции сложного сечения.

5. Определение главных радиусов инерции сечения.

#### Вопросы для подготовки

1. Что называется статическим моментом сечения относительно оси?

2. Что называется осевым, центробежным, полярным моментом инерции сечения?

3. Какую размерность имеет статический момент инерции сечения?

5. Как определяются координаты центра тяжести простого и сложного сечения?

6. Чему равна сумма осевых моментов инерции сечения относительно двух взаимно перпендикулярных осей?

7. Чему равны осевые моменты инерции и осевые моменты сопротивления прямоугольника относительно центральных осей?

8. Чему равны осевые моменты и осевые моменты сопротивления круга и кольца относительно осей, проходящих через их центры тяжести?
9. Чему равны полярные моменты и полярные моменты сопротивления относительно их центров?
10. Какие оси называются центральными?
11. Какие оси называются главными?
12. Какие оси называются главными центральными?
13. Если в плоскости сечения проведен ряд параллельных осей, относительно какой из них осевой момент инерции имеет наименьшее значение?
14. Что представляют собой главные и главные центральные моменты инерции?
15. Чему равен центробежный момент инерции относительно главных осей инерции?
16. В каких случаях без вычисления можно установить положение главных осей?
17. Изменяется ли сумма осевых моментов инерции относительно двух взаимно перпендикулярных осей при повороте осей координат?
18. Как находится радиус инерции?
19. Почему производят разбивку сложного сечения на простые части при определении моментов инерции.
20. В какой последовательности определяются значения главных центральных моментов инерции сложного сечения?

Объем 2 часа.

#### Практическое занятие № 4

Тема: Сдвиг. Расчет заклепочных, сварных соединений.

Цель: Научить практическому расчету некоторых простейших конструкций, работающих на сдвиг.

##### План

1. Записать условие прочности в общем виде  $\tau \leq [\tau]$ .
2. Рассмотреть примеры
  - 2.1. Расчет заклепочного соединения.
  - 2.2. Расчет сварного соединения.

##### Вопросы для самоподготовки

1. Какой случай плоского напряженного состояния называется чистым сдвигом?
2. Как записывается закон Гука при сдвиге? Какие константы упругости вы знаете для изотропного материала и как они взаимосвязаны?
3. Что называется абсолютным сдвигом, относительным сдвигом и углом сдвига?
4. В чем состоит закон парности касательных напряжений?
5. Из каких условий определяется количество заклепок, толщина и ширина фасонного листа и другие размеры заклепочного соединения?
6. Как определяется длина сварных швов? Почему при расчете прочности шва его толщина умножается на коэффициент 0,7?
7. Что такое катет шва?

Объем 1 час.

#### Практическое занятие № 5

Тема: Кручение. Расчет сплошных и полых валов на прочность и жесткость.

Цель: 1. Усвоить расчет сплошных и полых валов на прочность и жесткость.

##### План

1. Отработка техники построения эпюр моментов крутящих.
2. Задача на проектный расчет сплошного и полого валов.
3. Задача на проверочный расчет вала.

##### Вопросы для подготовки

1. При каком нагружении стержень испытывает деформацию кручения?

2. Как вычисляется вращающий момент, передаваемый шкивом, по заданной мощности и число оборотов в минуту?
3. Чему равен момент крутящий в произвольном поперечном сечении вала?
4. Какое правило знаков принято для крутящих моментов?
5. Что представляют собой эпюры крутящих моментов и как они строятся?
6. Чему равны касательные напряжения в произвольной точке поперечного сечения?
7. Закон распределения касательных напряжений по сечению при кручении?
8. Чему равны наибольшие экстремальные касательные напряжения и в каких точках они возникают?
9. Условие прочности при кручении.
10. Чем объясняется, что стержень кольцевого сечения при кручении экономичнее круглого стержня?
11. Что называется полным (абсолютным) и относительным углом закручивания бруса?
12. Как производится расчет вала на жесткость?
13. Чему равна жесткость при кручении?

#### Расчетно-графическая работа № 2

Расчет на кручение.

Объем 2 часа.

#### Практическое занятие № 6

Тема: Прямой поперечный изгиб.

1. Построение эпюр поперечных сил  $Q$  и моментов изгибающих  $M$ .
2. Расчеты на прочность.

Цель: 1. Освоить технику построения эпюр поперечных сил  $Q$  и моментов изгибающих  $M$ .  
2. Овладеть методами расчета на прочность.

#### План

1. Построение эпюр  $Q$  и  $M$  для консольной и шарнирно-опертой балок.
2. Контроль построения эпюр  $Q$  и  $M$ .
3. Проектный расчет балок.

#### Вопросы для самоподготовки

1. Что называется прямым и косым изгибом?
2. Что называется чистым и поперечным изгибом?
3. Какие внутренние усилия возникают в поперечных сечениях стержня при изгибе?
4. Как вычисляется поперечная сила в поперечном сечении балки?
5. Как вычисляется момент изгибающий в поперечном сечении балки?
6. Правило знаков для поперечной силы  $Q$  и момента изгибающего  $M$ .
7. Какие применяются типы опор для закрепления балок?
8. При каком числе связей балка становится статически неопределимой?
9. Какие уравнения используются для определения значений опорных реакций?
10. Чему равна горизонтальная опорная реакция горизонтальной балки при вертикальной нагрузке?
11. Как проверить правильность определения опорных реакций?
12. Что представляют собой эпюры  $Q$  и  $M$ ? Что представляет собой каждая ордината этих эпюр?
13. В каком порядке строятся эпюры  $Q$  и  $M$ ?
14. Почему при построении эпюр  $Q$  и  $M$  для балки, заделанной одним концом, можно не определять опорные реакции?
15. Какая дифференциальная зависимость существует между моментом изгибающим и поперечной силой?
16. Чему равна поперечная сила в сечении балки, в котором изгибающий момент достигает экстремальное значение?

17. По каким законам изменяется поперечная сила и изгибающий момент по длине балки при отсутствии распределенной нагрузки?
18. Какой вид имеет эпюра изгибающих моментов на участке балки, во всех сечениях которого поперечная сила равна нулю?
19. Как изменяется изгибающий момент в сечении, в котором к балке приложен сосредоточенный внешний момент?
20. Как изменяется поперечная сила в сечении, в котором к балке приложена сосредоточенная внешняя сила, перпендикулярная к оси стержня?
21. В чем заключается проверка эпюр Q и M?
22. Как определяется экстремальное значение изгибающего момента?
23. По какой формуле определяются нормальные напряжения в поперечном сечении балки при чистом изгибе и как они изменяются по высоте сечения?
24. Что называется моментом сопротивления при изгибе и какова его размерность?
25. Как производится расчет на прочность при прямом изгибе балки из пластичного материала, имеющей постоянное по всей длине поперечное сечение? Напишите зависимости для всех трех видов расчета: проверочного, проектного и для расчета на определение допускаемой нагрузки.
26. В каких случаях следует производить дополнительную проверку балок на прочность по касательным напряжениям, возникающим в поперечных сечениях? В чем состоит эта проверка?
27. Какое сечение является опасным при проверке по нормальным напряжениям? По касательным напряжениям?

#### Расчетно-графическая работа № 3

Расчет балок на прочность при изгибе.

Объем 3 часа.

#### Практическое занятие № 7

Тема: Прямой поперечный изгиб. Деформации. Метод начальных параметров.

Цель: Научиться определять прогибы и углы поворота сечения методом начальных параметров.

#### План

1. Деформации при изгибе.
2. Дифференциальное уравнение изогнутой оси.
3. Определение перемещений (прогиба и угла поворота сечения) для консольной балки, для шарнирно-опертой балки.

#### Вопросы для подготовки

1. Какие перемещения (деформации) получают поперечные сечения балок при прямом изгибе.
2. Почему точное дифференциальное уравнение изогнутой оси балки можно заменить приближенным уравнением?
3. Приведите основное дифференциальное уравнение изогнутой оси балки.
4. Какая дифференциальная зависимость существует между прогибами и углами поворота сечения балки?
5. Как из дифференциального уравнения изогнутой оси балки получают выражения углов поворота и прогибов её сечения?
6. Из каких условий определяются постоянные интегрирования, входящие в уравнение углов поворота и прогибов сечений балки?
7. Как определяют наибольшую величину прогиба?
8. Что представляют собой уравнения метода начальных параметров и почему они так называются?
9. Как определяются значения неизвестных начальных параметров?

10. В каком порядке производится определение углов поворота сечения и прогиба методом начальных параметров?

Расчетно-графическая работа № 3

Определение деформаций балок.

Объем 1 час.

#### Практическое занятие № 8

Тема: Сложное сопротивление.

I группа – одноосное напряженное состояние: косой изгиб, внецентренное сжатие (растяжение).

Цель: Освоить расчет на прочность при данных видах сопротивления материалов.

План

Пример № 1. Косой изгиб. Проектный расчет.

Пример № 2. Внецентренное сжатие (растяжение). Определение допускаемой нагрузки.

Вопросы для подготовки.

1. Какой изгиб называется косым?
2. Может ли балка круглого поперечного сечения испытывать косой изгиб?
3. Что называется чистым косым изгибом и поперечным косым изгибом?
4. По каким формулам определяются нормальные напряжения в поперечных сечениях бруса при косом изгибе? Как устанавливаются знаки напряжений?
5. Как находится положение нейтральной оси при косом изгибе?
6. Что представляют собой опасные точки в сечении и как определяется их положение при косом изгибе?
7. Как определяются перемещения точек оси балки при косом изгибе?
8. Какое сложное сопротивление называется внецентренным растяжением (сжатием)?
9. Сочетание каких деформаций представляет внецентренное растяжение (сжатие)?
10. Какие внецентренно растянутые (или сжатые) брусья называют жесткими и какие гибкими?
11. По каким формулам определяются нормальные напряжения в поперечных сечениях стержня при внецентренном растяжении (сжатии)? Какой вид имеет эпюра этих напряжений?
12. Как определяется положение нейтральной оси при внецентренном растяжении (сжатии)?
13. Как перемещается нейтральная ось, когда координаты  $e_y$  и  $e_z$  полюса возрастают по абсолютной величине?
14. Какой вид имеет формула нормальных напряжений и как расположена нейтральная ось в случае, когда полюс находится на одной из главных центральных осей инерции сечения?

Расчетно-графическая работа № 4

Косой изгиб. Расчет на прочность.

Расчетно-графическая работа № 5

Внецентренное растяжение (сжатие). Расчет на прочность.

Объем 3 часа.

#### Практическое занятие № 9

Тема: Сложное сопротивление. Расчет на прочность по теориям прочности.

Цель: Освоить расчет по теориям прочности.

План

Пример. Ломаный брус, испытывающий деформации прямого поперечного изгиба, кручение центрального растяжения (или сжатия). Проектный расчет.

1. Построение эпюр продольных сил, моментов изгибающих, моментов крутящих.
2. Нахождение опасного сечения.

3. Из условия прочности по 3 или по 4 теории прочности подобрать диаметр стержня при заданном  $[\sigma]$ .

#### Вопросы для самоподготовки

1. Какие точки стержня круглого поперечного сечения являются опасными при растяжении (или сжатии) с кручением?
2. Как рассчитывается на прочность стержень круглого сечения при изгибе с кручением и растяжением (или сжатием)?
3. Условие прочности по третьей теории прочности.
4. Условие прочности по четвертой теории прочности.

Объем 1 час.

#### Практическое занятие № 10

Тема: Устойчивость сжатых стержней.

Цель: Освоить практические расчеты на устойчивость.

#### План

1. Прямая задача проектировочного расчета.  
Дана стойка (ее размеры, способ крепления и нагружения, материал). Требуется определить допустимую нагрузку.
2. Обратная задача проектировочного расчета.  
Дана конструкция стержня (схема нагружения, закрепления, форма сечения), материал, нагрузка. Требуется определить размеры сечения стержня.
3. Определение критической силы.
4. Определение коэффициента запаса устойчивости.

#### Вопросы для подготовки

1. В чем заключается явление потери устойчивости сжатого стержня?
2. Что называется продольным изгибом?
3. Что называется критической силой и критическим напряжением?
4. Какое дифференциальное уравнение из теории изгиба лежит в основе вывода формулы Эйлера?
5. Что называется жесткостью стержня при изгибе?
6. Какой вид имеет формула Эйлера, определяющая величину критической силы?
7. Как влияют жесткость  $EJ$  поперечного сечения и длина  $l$  стержня на величину критической силы?
8. Какой момент инерции обычно входит в формулу Эйлера?
9. Как устанавливается предел применимости формулы Эйлера?
10. Что представляет собой коэффициент приведения длины и чему он равен при различных условиях закрепления концов сжатых стержней?
11. Что называется предельной гибкостью?
12. Какой вид имеет формула Ясинского для определения критических напряжений и при каких гибкостях она применяется для стержней из стали Ст3?
13. Как определяется критическая сила по Ясинскому?
14. Какой вид имеет график зависимости критических напряжений от гибкости для стальных стержней?
15. Какой вид имеет условие устойчивости сжатого стержня? Какая площадь поперечного сечения стержня подставляется в это условие?
16. Что представляет собой коэффициент  $\varphi$ , как определяется его значение? Как производится проверка стержней на устойчивость с его помощью?
17. Как подбирается сечение стержня при расчете на устойчивость?

#### Расчетно-графическая работа № 7

Устойчивость сжатых стержней.

Объем 2 часа.

## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

### Лабораторная работа № 1

Испытание конструкционных материалов при центральном растяжении.

Цель работы: 1. Получение диаграммы растяжения различных конструкционных материалов.

2. Определение основных механических характеристик прочности материала (предел пропорциональности, предел текучести, предел прочности); пластичности (относительное остаточное удлинение и относительное остаточное сужение)

План

1. Теоретическое обоснование.
2. Форма и размеры образцов.
3. Описание установки (машин разрывная МР-50).
4. Порядок проведения испытания.
5. Обработка результатов испытания.
6. Составление отчета.
7. Анализ экспериментальных и теоретических данных.

Контрольные вопросы

1. Что называется диаграммой растяжения?
2. Как формулируется закон Гука?
3. Напишите формулы абсолютной и относительной продольных деформаций бруса.
4. Что такое предел пропорциональности?
5. Что такое предел текучести?
6. Что такое предел прочности?
7. Какие деформации называются хрупкими и пластическими?
8. Какие материалы называются хрупкими и пластичными?
9. Чем отличается диаграмма растяжения для хрупких и пластических материалов?
10. Что такое наклеп? Как он используется в технике?
11. Что такое относительное сужение поперечного сечения образца?
12. Что называется условным пределом текучести? Для каких материалов определяется эта механическая характеристика?

Объем 4 часа.

### Лабораторная работа № 2

Испытание материалов при сжатии.

Цель работы: Изучить поведение пластичного, хрупкого и анизотропного материалов при сжатии. Определить прочностные характеристики испытываемого материала при сжатии.

План

1. Теоретическое обоснование.
2. Формы и размеры образцов.
3. Описание установки (машина на сжатие МС-500).
4. Порядок проведения испытания.
5. Обработка результатов испытания.
6. Составление отчета.
7. Анализ экспериментальных и теоретических данных.

Контрольные вопросы

1. Чем объясняется бочкообразная форма стального образца?
2. Как происходит разрушение при сжатии образцов для пластичных и хрупких материалов?
3. Как происходит разрушение деревянных образцов при сжатии вдоль и поперек волокон?
4. Как определяется предел прочности при сжатии пластичных и хрупких материалов?
5. Какие материалы называются изотропными?



6. Какие образцы используются при испытании на сжатие, стали, чугуна, дерева?

7. В чем отличие диаграммы сжатия и растяжения для стали? Для чугуна?

Объем 2 часа.

### Лабораторная работа № 3

Испытание материалов на срез.

Цель работы: 1. Определить предел прочности малоуглеродистой стали на срез.

2. Сравнить предел прочности при срезе с пределом прочности при осевом растяжении для одной и той же силы.

#### План

1. Теоретическое обоснование.
2. Форма и размеры образца.
3. Описание установки (Разрывная машина МР-50 с приспособлением для двойного среза).
4. Порядок проведения испытания.
5. Обработка результатов испытания.
6. Составление отчета.
7. Анализ экспериментальных и теоретических данных.

#### Контрольные вопросы

1. Какой вид напряженного состояния называется чистым сдвигом?
2. Что называется срезом?
3. Допущения, принимаемые при расчетах на срез.
4. Как определить предел прочности на срез?
5. Сформулируйте условия прочности на срез.
6. От каких факторов зависит и как определяется допускаемое напряжение на срез?

Объем 2 часа.

### Лабораторная работа № 4

Испытание на кручение стального образца. Определение модуля сдвига.

Цель работы: Определение модуля упругости второго рода при чистом сдвиге.

#### План

1. Теоретическое обоснование.
2. Описание установки (стенд универсальный для проведения лабораторных работ по курсу «Сопротивление материалов»).
3. Порядок проведения испытания.
4. Обработка результатов испытания.
5. Составление отчета.
6. Анализ экспериментальных и теоретических данных.

#### Контрольные вопросы

1. При каком нагружении прямой брус испытывает деформацию кручения?
2. Что называется полным и относительным углом закручивания стержня?
3. Что называется жесткостью сечения при кручении?
4. Что называется модулем сдвига  $G$ ? Как влияет величина  $G$  на деформацию вала?
5. Напишите выражение полярных моментов инерции круглого (сплошного и кольцевого) сечения?

Объем 2 часа.

### Лабораторная работа № 5

Испытание винтовой цилиндрической пружины растяжения.

Цель работы: 1. Построение характеристики пружины.

2. Экспериментальное определение жесткости пружины.

3. Сопоставление с теоретической жесткостью.

## План

1. Теоретическое обоснование.
2. Описание установки (стенд универсальный для проведения лабораторных работ по курсу «Сопротивление материалов»).
3. Порядок проведения испытания.
4. Обработка результатов испытания.
5. Составление отчета.
6. Анализ экспериментальных и теоретических данных.

### Контрольные вопросы

1. Назовите основные геометрические параметры пружин.
2. Что такое характеристика пружины? К какому типу относятся характеристики испытанных пружин: постоянной или переменной жесткости?
3. Как влияют геометрические параметры и упругие свойства материала пружины на её деформацию? Какие факторы оказывают наибольшее влияние на жесткость пружины?
4. Как изменится удлинение пружины, если диаметр проволоки уменьшить в два раза, если увеличить диаметр пружины в 2 раза, если увеличить в 2 раза число витков?
5. Покажите, можно ли по имеющимся данным определить модуль сдвига материала.

Объем 2 часа.

## Лабораторная работа № 6

Прямой поперечный изгиб. Деформации двухопорной балки.

Цель работы: Определить опытным путем величину прогибов и углов поворота сечений балки и сравнить их с величинами, полученными путем теоретических расчетов.

### План

1. Теоретическое обоснование.
2. Описание установки (стенд универсальный для проведения лабораторных работ по курсу «Сопротивление материалов»).
3. Порядок проведения испытания.
4. Обработка результатов испытания.
5. Составление отчета.
6. Анализ экспериментальных и теоретических данных.

### Контрольные вопросы

1. Какие перемещения получают поперечные сечения балок при прямом изгибе?
2. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки.
3. Как дифференциальная зависимость существует между прогибами и углами поворота сечений балки?
4. Как из основного дифференциального уравнения изогнутой оси балки получают выражения углов поворота и прогибов её сечений?
5. Из каких условий определяются постоянные интегрирования, входящие в уравнение углов поворота и прогибов сечения балки?
6. В каком порядке производится определение углов поворота и прогибов сечений балки методом непосредственного интегрирования дифференциального уравнения упругой линии?
7. Что представляет собой уравнение метода начальных параметров и почему они так называются?

Объем 2 часа

## Лабораторная работа № 7

Опытная проверка значения опорной реакции статически неопределимой балки.

Цель работы: Определение опытным путем значения неизвестной опорной реакции в статически неопределимой балке и сравнение её с теоретическим значением.

## План

1. Теоретическое обоснование.
2. Описание установки (стенд универсальный для проведения лабораторных работ по курсу «Сопротивление материалов»).
3. Порядок проведения испытания.
4. Обработка результатов испытания.
5. Составление отчета.
6. Анализ экспериментальных и теоретических данных.

### Контрольные вопросы

1. Какие системы называются статически неопределимыми?
2. Что называется степенью статической неопределимости системы?
3. Что представляет собой абсолютно необходимые и условно необходимые связи статически неопределимой системы?
4. Что представляет собой основная система?
5. Напишите систему канонических уравнений.
6. Что выражает каждое из канонических уравнений.

Объем 2 часа

## Лабораторная работа № 8

Исследование явления потери устойчивости сжатого стержня в упругой стадии (четыре варианта закрепления).

Цель работы: Исследование явления потери устойчивости стальных центрально сжатых стержней в упругой стадии; определение экспериментальных значений критических нагрузок и сравнение их с теоретическими, подсчитанными по формуле Эйлера, при разных опорных закреплениях стержней.

## План

1. Теоретическое обоснование.
2. Описание установки (стенд универсальный для проведения лабораторных работ по курсу «Сопротивление материалов»).
3. Порядок проведения испытания.
4. Обработка результатов испытания.
5. Составление отчета.

### Контрольные вопросы

1. В чем заключается явление потери устойчивости сжатого стержня?
2. Что называется гибкостью стержня?
3. Какой вид имеет формула Эйлера, определяющая величину критической силы?
4. Чему равна жесткость  $EJ$  поперечного сечения в формуле Эйлера?
5. Что представляет собой коэффициент приведения длины и чему он равен при различных условиях закрепления концов сжатых стержней?
6. Как устанавливается предел применимости формулы Эйлера?

Объем 2 часа