

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 02 » марта 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Сопротивление материалов  
(наименование)

**Форма обучения:** очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** бакалавриат  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** 252 (7)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 15.03.01 Машиностроение  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Машиностроение (общий профиль, СУОС)  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины «Сопротивление материалов» – формирование комплекса знаний в области проведения инженерных расчётов на прочность, жёсткость и устойчивость элементов конструкций, обеспечивающих требуемую надёжность и безопасность работы изделий в условиях действия статических и динамических нагрузок; развитие инженерного мышления у студентов; формирование комплекса знаний, необходимых для изучения последующих дисциплин.

Задачи дисциплины:

- формирование знаний об основах и методах проведения расчетов на прочность, жёсткость и устойчивость элементов конструкций и деталей машин;
- формирование умений самостоятельно проводить расчеты на прочность, жёсткость и устойчивость типовых элементов конструкций;
- формирование навыков определения основных механических свойств материалов по результатам стандартных лабораторных испытаний, а также навыков проведения инженерных расчетов на прочность, жёсткость и устойчивость типовых элементов конструкций.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- инженерные расчеты на прочность и жесткость стержневых систем, работающих на растяжение и сжатие, сдвиг, кручение, изгиб;
- методы испытаний по определению характеристик прочности, пластичности и упругости материалов;
- основы экспериментального исследования механического поведения материалов и элементов конструкций;
- основы теории напряженного и деформированного состояния в точке тела;
- классические теории прочности и критерии пластичности материалов;
- расчеты на прочность и жесткость при сложном сопротивлении изделий;
- расчеты на устойчивость сжатых стержней;
- расчеты на прочность и жесткость при динамическом и циклическом характере нагружения изделий.

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

| Компетенция | Индекс индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)                                                                    | Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения   | Средства оценки |
|-------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| ОПК-1       | ИД-1ОПК-1         | Знает основы и методы проведения типовых инженерных расчетов с использованием знаний высшей математики, физики и вычислительной техники. | Знает основы высшей математики, физики, основы вычислительной техники и программирования | Зачет           |

| Компетенция | Индекс индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)                                                                                                                           | Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения                                                                                                                                      | Средства оценки             |
|-------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| ОПК-1       | ИД-2ОПК-1         | Умеет решать стандартные инженерные задачи прочностного расчета элементов конструкций с применением естественнонаучных и общинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования. | Умеет решать стандартные профессиональные задачи с применением естественнонаучных и общинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования                                                                   | Курсовая работа             |
| ОПК-1       | ИД-3ОПК-1         | Владеет навыками теоретического и экспериментального исследования по определению основных механических свойств конструкционных материалов.                                                      | Владеет навыками теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности                                                                                                                    | Расчетно-графическая работа |
| ОПК-13      | ИД-1ОПК-13        | Знает основы и этапы проведения расчетов на прочность, жёсткость и устойчивость при проектировании деталей машин и элементов конструкций с использованием технической литературы.               | Знает основы и этапы проектирования узлов и деталей машин с использованием технической литературы, а также средств автоматизированного проектирования на базе современных САПР                                              | Экзамен                     |
| ОПК-13      | ИД-2ОПК-13        | Умеет выполнять оценку прочности, жёсткости и устойчивости при проектировании и конструировании типовых элементов конструкций и деталей машин.                                                  | Умеет проектировать и конструировать типовые элементы машин, выполнять их оценку по прочности и жесткости и другим критериям работоспособности; устанавливать требования к точности изготовления деталей и сборочных единиц | Курсовая работа             |
| ОПК-13      | ИД-3ОПК-13        | Владеет навыками применения стандартных методов расчетов на прочность, жёсткость и устойчивость при проектировании элементов конструкций, деталей и узлов машин.                                | Владеет навыками выбора аналогов и прототипа конструкций при их проектировании; навыками применения стандартных методов расчета при проектировании деталей и узлов изделий машиностроения.                                  | Курсовая работа             |

### 3. Объем и виды учебной работы

| Вид учебной работы                                                                         | Всего часов | Распределение по семестрам в часах |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------|-----|
|                                                                                            |             | Номер семестра                     |     |
|                                                                                            |             | 3                                  | 4   |
| 1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме: | 90          | 54                                 | 36  |
| 1.1. Контактная аудиторная работа, из них:                                                 |             |                                    |     |
| - лекции (Л)                                                                               | 32          | 16                                 | 16  |
| - лабораторные работы (ЛР)                                                                 | 18          | 18                                 |     |
| - практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)        | 36          | 18                                 | 18  |
| - контроль самостоятельной работы (КСР)                                                    | 4           | 2                                  | 2   |
| - контрольная работа                                                                       |             |                                    |     |
| 1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)                                                | 126         | 54                                 | 72  |
| 2. Промежуточная аттестация                                                                |             |                                    |     |
| Экзамен                                                                                    | 36          |                                    | 36  |
| Дифференцированный зачет                                                                   |             |                                    |     |
| Зачет                                                                                      | 9           | 9                                  |     |
| Курсовой проект (КП)                                                                       |             |                                    |     |
| Курсовая работа (КР)                                                                       | 18          |                                    | 18  |
| Общая трудоемкость дисциплины                                                              | 252         | 108                                | 144 |

### 4. Содержание дисциплины

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----|----|----------------------------------------------|
|                                                        | Л                                         | ЛР | ПЗ |                                              |
| 3-й семестр                                            |                                           |    |    |                                              |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----|----|----------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Л                                         | ЛР | ПЗ | СРС                                          |
| Растяжение и сжатие, сдвиг и кручение, геометрические характеристики плоских сечений                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 8                                         | 10 | 8  | 27                                           |
| <p>Тема 1. Центральное растяжение и сжатие<br/> Определение внутренних силовых факторов. Напряжения и деформации при растяжении и сжатии. Закон Гука. Модуль Юнга. Коэффициент Пуассона. Условие прочности при растяжении и сжатии. Основные методы и виды расчетов на прочность. Напряжения на наклонных площадках растянутого стержня. Потенциальная энергия упругой деформации.</p> <p>Тема 2. Механические свойства конструкционных материалов<br/> Механические характеристики материалов. Виды стандартных испытаний материалов. Диаграмма растяжения. Условная диаграмма растяжения. Основные характеристики прочности и пластичности. Диаграмма сжатия. Влияние различных факторов на механические характеристики.</p> <p>Тема 3. Геометрические характеристики плоских сечений<br/> Основные понятия. Статические моменты сечений. Определение положения центра тяжести сечения. Понятие о моментах инерции. Моменты инерции простейших фигур. Зависимости между моментами инерции при параллельном переносе осей. Зависимости между моментами инерции при повороте осей. Главные оси и главные моменты инерции. Понятие о радиусах инерции. Понятие о моментах сопротивления.</p> <p>Тема 4. Чистый сдвиг<br/> Чистый сдвиг. Касательные напряжения при чистом сдвиге. Условие прочности при сдвиге. Закон Гука при чистом сдвиге. Модуль сдвига. Расчет элементов конструкций на срез.</p> <p>Тема 5. Кручение<br/> Анализ внутренних силовых факторов при кручении. Построение эпюр крутящих моментов. Напряжения и деформации при кручении валов круглого и кольцевого сечения. Расчеты на прочность и жесткость при кручении валов круглого и кольцевого сечения. Рациональные формы поперечных сечений валов при кручении. Расчет прямоугольного сечения на прочность и жесткость при кручении.</p> |                                           |    |    |                                              |
| Прямой изгиб                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 8                                         | 8  | 10 | 27                                           |
| <p>Тема 6. Изгиб прямого стержня<br/> Понятия об изгибе. Виды изгиба. Расчетные схемы простейших типов балок. Определение реакций опор при изгибе. Анализ внутренних силовых</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                           |    |    |                                              |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----|----|----------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Л                                         | ЛР | ПЗ | СРС                                          |
| <p>факторов при изгибе. Правило знаков для внутренних силовых факторов. Дифференциальные зависимости между внутренними силовыми факторами и интенсивностью распределенной нагрузки при изгибе. Закономерности эпюр внутренних силовых факторов.</p> <p>Тема 7. Определение напряжений при изгибе<br/>Чистый изгиб. Нормальные напряжения при чистом изгибе. Положение нейтральной линии при чистом изгибе. Условие прочности при чистом изгибе. Рациональные формы поперечных сечений при изгибе. Поперечный изгиб. Напряжения, возникающие при поперечном изгибе. Определение касательных напряжений при поперечном изгибе. Условия прочности при поперечном изгибе. Полная проверка на прочность балки при поперечном изгибе.</p> <p>Тема 8. Определение перемещений при изгибе<br/>Перемещения, возникающие при изгибе. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки. Дифференциальные зависимости между перемещениями и внутренними силовыми факторами при изгибе. Метод начальных параметров для определения перемещений. Общие методы определения перемещений в упругих системах. Понятие об обобщенной силе и обобщенном перемещении. Теорема Бэтти о взаимности дополнительных работ. Теорема Бэтти для внутренних сил. Теорема Максвелла о взаимности перемещений. Определение перемещений методом интеграла Мора. Определение перемещений способом Верещагина. Условие жесткости при изгибе.</p> |                                           |    |    |                                              |
| ИТОГО по 3-му семестру                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 16                                        | 18 | 18 | 54                                           |
| 4-й семестр                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                           |    |    |                                              |
| Напряженно-деформированное состояние в точке тела, статически неопределимые стержневые системы, сложные виды сопротивления                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 8                                         | 0  | 10 | 40                                           |
| <p>Тема 9. Расчет статически неопределимых стержневых систем<br/>Понятие о статической неопределимости стержневых систем. Степень статической неопределимости. Основные и дополнительные связи, внешние и внутренние. Метод сил. Основные этапы расчета статически неопределимых систем. Основная и эквивалентная системы. Канонические уравнения метода сил. Вычисление коэффициентов и свободных членов канонических уравнений метода сил интегралом Мора и способом Верещагина.<br/>Использование</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                           |    |    |                                              |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----|----|----------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Л                                         | ЛР | ПЗ | СРС                                          |
| <p>свойств симметрии при раскрытии статической неопределимости стержневых систем. Определение перемещений в статически неопределимых системах. Деформационная проверка правильности раскрытия статической неопределимости.</p> <p>Тема 10. Напряженное состояние в точке тела<br/>Составляющие напряженного состояния в точке тела. Закон парности касательных напряжений. Тензор напряжений. Виды напряженного состояния в точке тела. Главные напряжения и главные площадки. Плоское напряженное состояние. Напряжения на наклонных площадках при плоском напряженном состоянии. Главные напряжения при плоском напряженном состоянии. Наибольшие значения нормальных и касательных напряжений.</p> <p>Тема 11. Деформированное состояние в точке тела<br/>Составляющие деформированного состояния в точке тела. Обобщенный закон Гука. Объемная деформация. Потенциальная энергия деформации. Классические теории прочности. Равноопасные напряженные состояния. Эквивалентное напряжение. Теория наибольших нормальных напряжений. Теория наибольших линейных деформаций. Теория наибольших касательных напряжений. Энергетическая (четвертая) теория прочности. Теория прочности Мора.</p> <p>Тема 12. Сложные виды сопротивления. Косой изгиб<br/>Виды сложного нагружения. Плоский и пространственный косой изгиб. Анализ внутренних силовых факторов при косом изгибе. Напряжения при косом изгибе. Положение нейтральной линии. Условие прочности при косом изгибе. Определение перемещений.</p> <p>Тема 13. Внецентренное растяжение (сжатие)<br/>Анализ внутренних силовых факторов. Напряжения при внецентренном растяжении (сжатии). Положение нейтральной линии. Условие прочности. Ядро сечения.</p> <p>Тема 14. Изгиб с кручением<br/>Изгиб с кручением круглых валов. Анализ внутренних силовых факторов. Напряжения при изгибе с кручением. Напряженное состояние и условие прочности в опасной точке при совместном действии изгиба и кручения валов круглого сечения. Расчет по теориям прочности. Изгиб с кручением валов прямоугольного сечения.</p> |                                           |    |    |                                              |
| Усталостная прочность материалов, устойчивость сжатых стержней, динамическое действие                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 8                                         | 0  | 8  | 32                                           |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----|----|----------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Л                                         | ЛР | ПЗ | СРС                                          |
| <p>нагрузки, расчет оболочек</p> <p>Тема 15. Усталостная прочность материалов<br/> Явление усталости. Малоцикловая и многоцикловая усталость. Основные характеристики циклов. Механические характеристики сопротивления усталости. Кривые усталостной прочности. Циклическая долговечность. Физический и условный предел выносливости. Связь предела выносливости с другими механическими характеристиками. Диаграмма предельных амплитуд и её схематизация. Влияние различных факторов на сопротивление усталости. Определение предела выносливости детали. Расчет на сопротивление усталости при асимметричных циклах нагружения.</p> <p>Тема 16. Устойчивость сжатых стержней<br/> Устойчивые, неустойчивые и безразличные формы равновесия системы. Критическая сила сжатого стержня. Задача Эйлера по определению критической силы. Влияние условий закрепления стержней на величину критической силы. Критические напряжения. Гибкость. Пределы применимости формулы Эйлера. Расчет на устойчивость за пределами упругости. Полный график зависимости критических напряжений от гибкости стержня. Расчет на устойчивость. Коэффициент запаса устойчивости. Расчет на устойчивость по коэффициенту продольного изгиба. Рациональные конструкционные материалы и формы сечений сжатых стержней.</p> <p>Тема 17. Расчет движущихся с ускорением элементов конструкций<br/> Типы динамических нагрузок, действующих на элементы конструкций. Учет инерционных сил при заданных законах движения в расчетах на прочность и жесткость.</p> <p>Тема 18. Удар<br/> Механические процессы, сопровождающие удар. Техническая теория удара. Расчет на прочность и жесткость при ударе. Горизонтальный удар по безмассовой системе. Вертикальный удар по безмассовой системе. Удар по системе с промежуточной массой. Учет массы упругой системы. Элементы рационального проектирования систем при ударном нагружении.</p> <p>Тема 19. Расчет оболочек вращения по безмоментной теории<br/> Классификация оболочек. Основные допущения. Равновесие элемента симметричной оболочки. Уравнение Лапласа. Теорема о давлении на криволинейную стенку. Расчет сферических и цилиндрических оболочек, подверженных</p> |                                           |    |    |                                              |



| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием | Объем аудиторных занятий по видам в часах |    |    | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----|----|----------------------------------------------|
|                                                        | Л                                         | ЛР | ПЗ | СРС                                          |
| внутреннему давлению.                                  |                                           |    |    |                                              |
| ИТОГО по 4-му семестру                                 | 16                                        | 0  | 18 | 72                                           |
| ИТОГО по дисциплине                                    | 32                                        | 18 | 36 | 126                                          |

### Тематика примерных практических занятий

| № п.п. | Наименование темы практического (семинарского) занятия                                                                   |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | Построение эпюр продольных сил и нормальных напряжений при растяжении-сжатии ступенчатого стержня.                       |
| 2      | Расчет на прочность стержневых систем, работающих на растяжение и сжатие.                                                |
| 3      | Определение основных геометрических характеристик плоского сечения.                                                      |
| 4      | Расчеты на прочность и жёсткость при кручении.                                                                           |
| 5      | Определение внутренних силовых факторов при изгибе. Расчет балки на прочность по нормальным напряжениям.                 |
| 6      | Полная проверка на прочность двутавровой балки.                                                                          |
| 7      | Расчет на прочность плоской рамы.                                                                                        |
| 8      | Определение перемещений при изгибе методом интеграла Мора.                                                               |
| 9      | Определение перемещений при изгибе способом Верещагина. Расчет на жёсткость при изгибе.                                  |
| 10     | Расчет на прочность статически неопределимой балки. Раскрытие статической неопределимости стержневых систем методом сил. |
| 11     | Анализ плоского напряженного состояния в точке тела. Расчет по классическим теориям прочности.                           |
| 12     | Расчет балки на прочность при косом изгибе.                                                                              |
| 13     | Расчет вала на прочность при изгибе с кручением.                                                                         |
| 14     | Расчет вала на сопротивление многоциклового усталости.                                                                   |
| 15     | Расчет на устойчивость центрально сжатого стержня.                                                                       |
| 16     | Расчет на прочность с учетом сил инерции.                                                                                |
| 17     | Расчеты на прочность и жёсткость при ударе.                                                                              |
| 18     | Расчет простейших оболочек вращения по безмоментной теории.                                                              |

### Тематика примерных лабораторных работ

| № п.п. | Наименование темы лабораторной работы                                                                       |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | Испытание на растяжение конструкционного материала. Определение основных характеристик прочности материала. |

| № п.п. | Наименование темы лабораторной работы                                                                                         |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2      | Испытание на растяжение конструкционного материала. Определение основных характеристик пластичности материала.                |
| 3      | Сравнительные испытания на сжатие хрупких и пластичных материалов. Определение прочностных характеристик на сжатие.           |
| 4      | Экспериментальное определение методом тензометрирования упругих характеристик материала: модуля Юнга и коэффициента Пуассона. |
| 5      | Определение модуля сдвига материала по результатам испытания на кручение тонкостенной трубки.                                 |
| 6      | Исследование характера распределения напряжений по сечению балки при чистом изгибе                                            |
| 7      | Опытное определение перемещений при поперечном изгибе в заданных сечениях балки                                               |
| 8      | Опытное определение реакций опор в статически неопределимой балке.                                                            |
| 9      | Опытное определение перемещений консольной балки при косом изгибе.                                                            |

### Тематика примерных курсовых проектов/работ

| № п.п. | Наименование темы курсовых проектов/работ                                                                                                               |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | Расчеты на прочность, жёсткость и устойчивость типовых элементов конструкций при статическом, циклическом и динамическом характере воздействия нагрузок |

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.</p> <p>Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.</p> <p>Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.</p> <p>При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

| № п/п                                 | Библиографическое описание<br>(автор, заглавие, вид издания, место, издательство,<br>год издания, количество страниц)                                                                                                                                                                                                                                                                             | Количество<br>экземпляров в<br>библиотеке |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>1. Основная литература</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                           |
| 1                                     | Жученков А. П. Сопротивление материалов : конспект лекций : учебное пособие для вузов / А. П. Жученков, М. Л. Зинштейн, А. М. Ханов. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2014.                                                                                                                                                                                                                                 | 50                                        |
| 2                                     | Сопротивление материалов : учебное пособие / А. А. Балакирев [и др.]. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2007.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 395                                       |
| 3                                     | Феодосьев В. И. Сопротивление материалов : учебник для вузов / В. И. Феодосьев. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007.                                                                                                                                                                                                                                                                    | 146                                       |
| <b>2. Дополнительная литература</b>   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                           |
| <b>2.1. Учебные и научные издания</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                           |
| 1                                     | Жученков А. П. Сопротивление материалов : конспект лекций : учебное пособие для вузов / А. П. Жученков, М. Л. Зинштейн, А. М. Ханов. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2014.                                                                                                                                                                                                                                 | 50                                        |
| 2                                     | Макаров Е. Г. Сопротивление материалов на базе Mathcad : учебное пособие для вузов / Е. Г. Макаров. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2004.                                                                                                                                                                                                                                                       | 20                                        |
| 3                                     | Сопротивление материалов : учебное пособие для вузов / Н. Н. Вассерман [и др.]. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011.                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 41                                        |
| <b>2.2. Периодические издания</b>     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                           |
| 1                                     | Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. В. Ю. Петрова ; Р. В. Бульбовича. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012 -.                                                                                                                                                                                                          | 1                                         |
| 2                                     | Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение : журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Российская академия наук, Сибирское отделение ; Российская академия наук, Уральское отделение ; Пермский край. Министерство промышленности, инноваций и науки ; Росмолодежь ; Под ред. В. Ю. Петрова ; Под ред. В. Я. Беленького. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012 -. | 1                                         |

|                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |   |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 3                                                                         | Вестник ПНИПУ. Механика : журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. А. А. Ташкинова. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012 -.                                                                                                                                                   | 1 |
| <b>2.3. Нормативно-технические издания</b>                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |   |
| 1                                                                         | ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. М., 1984.                                                                                                                                                                                                                                                    | 1 |
| 2                                                                         | ГОСТ 25.502-79. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. М., 1979.                                                                                                                                                                                                                    | 1 |
| 3                                                                         | ГОСТ 25503-80. Методы испытания стали на сжатие. М., 1980.                                                                                                                                                                                                                                                          | 1 |
| 4                                                                         | ГОСТ 3565-80. Метод испытания на кручение. М., 1980.                                                                                                                                                                                                                                                                | 1 |
| <b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |   |
| 1                                                                         | Сопротивление материалов. Задания к выполнению курсовых и расчетно-проектировочных работ : [учебное пособие] / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Сост. А. А. Крюков, Т. Э. Римм. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2020.                                                                   | 5 |
| 2                                                                         | Справочные таблицы для выполнения учебных заданий и курсовых работ по курсу Сопротивление материалов / Пермский государственный технический университет, Кафедра Конструирование машин и сопротивления материалов ; Сост. Н. Н. Вассерман, М. Л. Зинштейн, А. А. Балакирев, Т. Э. Римм. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2009. | 1 |
| <b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |   |
|                                                                           | Не используется                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |   |

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

| Вид литературы            | Наименование разработки                                                                                                                          | Ссылка на информационный ресурс                                                                                     | Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ) |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Дополнительная литература | Вассерман Н.Н., Жученков А.П. и др. Сопротивление материалов: Учебное пособие для вузов – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2011. – 364 с.                     | <a href="https://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib3352">https://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib3352</a> | сеть Интернет; свободный доступ                                                 |
| Дополнительная литература | Жученков А.П., Зинштейн М.Л., Ханов А.М. Сопротивление материалов: тестовые задания: учебное пособие. Ч.1. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2016. – 223 с. | <a href="https://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib3860">https://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib3860</a> | локальная сеть; авторизованный доступ                                           |
| Дополнительная литература | Жученков А.П., Зинштейн М.Л., Ханов А.М. Сопротивление материалов: тестовые задания: учебное пособие. Ч.1. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2017. – 133 с. | <a href="https://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib3961">https://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib3961</a> | локальная сеть; авторизованный доступ                                           |
| Основная литература       | Балакирев А.А., Вассерман Н.Н. и др. Сопротивление материалов: Учебное пособие – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2007 – 339 с.                               | <a href="https://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib2659">https://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib2659</a> | сеть Интернет; свободный доступ                                                 |

| Вид литературы      | Наименование разработки                                                                                                                             | Ссылка на информационный ресурс                                                                                     | Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ) |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Основная литература | Жученков А.П., Зинштейн М.Л., Ханов А.М. Сопротивление материалов: конспект лекций. Учебное пособие для вузов – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2014. – 215 с. | <a href="https://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib3688">https://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib3688</a> | сеть Интернет; свободный доступ                                                 |

### 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

| Вид ПО               | Наименование ПО                                   |
|----------------------|---------------------------------------------------|
| Операционные системы | Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)   |
| Офисные приложения.  | Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567 |

### 6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

| Наименование                                                                                                                           | Ссылка на информационный ресурс                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета                                            | <a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>               |
| Электронно-библиотечная система Лань                                                                                                   | <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>         |
| Электронно-библиотечная система IPRbooks                                                                                               | <a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a> |
| Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс                                                                                            | <a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>   |
| Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки                                                               | <a href="http://www.diss.rsl.ru/">http://www.diss.rsl.ru/</a>       |
| Информационно-справочная система нормативно-технической документации "Техэксперт: нормы, правила, стандарты и законодательства России" | <a href="https://техэксперт.сайт/">https://техэксперт.сайт/</a>     |

### 7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

| Вид занятий         | Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения | Количество единиц |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Курсовая работа     | Компьютер персональный                                                          | 1                 |
| Лабораторная работа | Доска меловая                                                                   | 1                 |
| Лабораторная работа | Компьютер персональный                                                          | 1                 |
| Лабораторная работа | Машина испытательная учебная МИ-40КУ                                            | 1                 |

| Вид занятий          | Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения                                         | Количество единиц |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Лабораторная работа  | Машина разрывная ГРМ-1                                                                                                  | 1                 |
| Лабораторная работа  | Универсальный учебный комплекс для проведения лабораторных работ по дисциплине «Сопротивление материалов» СМ-1. 2011 г. | 5                 |
| Лекция               | Доска меловая                                                                                                           | 1                 |
| Лекция               | Компьютер персональный                                                                                                  | 1                 |
| Лекция               | Проектор                                                                                                                | 1                 |
| Лекция               | Экран настенный                                                                                                         | 1                 |
| Практическое занятие | Доска меловая                                                                                                           | 1                 |

## 8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

**«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»**

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

основной профессиональной образовательной программы высшего образования –  
программы бакалавриата

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**  
*Приложение к рабочей программе дисциплины*

Направление подготовки: 15.03.01 – «Машиностроение»

**Профиль программы бакалавриата:** Автоматизированное оборудование и инструмент  
бережливых производств машиностроения

**Квалификация выпускника:** Бакалавр

**Выпускающая кафедра:** Инновационные технологии машиностроения

**Форма обучения:**

| Очная                                                                                                                                                                                                                                                                    | Заочная                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Курс:</b> 2 <b>Семестр:</b> 3, 4<br><b>Трудоёмкость:</b><br>Кредитов по рабочему учебному плану: 6 ЗЕ.<br>Часов по рабочему учебному плану: 216 ч.<br><b>Виды промежуточного контроля:</b><br>Зачет: 3 семестр.<br>Экзамен: 4 семестр.<br>Курсовая работа: 4 семестр. | <b>Курс:</b> 2 <b>Семестр:</b> 3,4<br><b>Трудоёмкость:</b><br>Кредитов по рабочему учебному плану: 6 ЗЕ.<br>Часов по рабочему учебному плану: 216 ч.<br><b>Виды промежуточного контроля:</b><br>Зачет: 3 семестр.<br>Экзамен: 4 семестр.<br>Курсовая работа: 4 семестр. |

Пермь  
2020

**«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»**

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

основной профессиональной образовательной программы высшего образования –  
программы бакалавриата

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
*Приложение к рабочей программе дисциплины*

Направление подготовки: 15.03.01 – «Машиностроение»

**Профиль программы бакалавриата:** Компьютерное проектирование и автоматизация  
литейного производства

**Квалификация выпускника:** Бакалавр

**Выпускающая кафедра:** Инновационные технологии машиностроения

**Форма обучения:**

| Очная                                                                                                                                                                                                                                                                    | Заочная                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Курс:</b> 2 <b>Семестр:</b> 3, 4<br><b>Трудоёмкость:</b><br>Кредитов по рабочему учебному плану: 6 ЗЕ.<br>Часов по рабочему учебному плану: 216 ч.<br><b>Виды промежуточного контроля:</b><br>Зачет: 3 семестр.<br>Экзамен: 4 семестр.<br>Курсовая работа: 4 семестр. | <b>Курс:</b> 2 <b>Семестр:</b> 3,4<br><b>Трудоёмкость:</b><br>Кредитов по рабочему учебному плану: 6 ЗЕ.<br>Часов по рабочему учебному плану: 216 ч.<br><b>Виды промежуточного контроля:</b><br>Зачет: 3 семестр.<br>Экзамен: 4 семестр.<br>Курсовая работа: 4 семестр. |

Пермь  
2020



**«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»**

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

основной профессиональной образовательной программы высшего образования –  
программы бакалавриата

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
*Приложение к рабочей программе дисциплины*

Направление подготовки: 15.03.01 – «Машиностроение»

**Профиль программы бакалавриата:** Цифровые технологии сварки и реновации

**Квалификация выпускника:** Бакалавр

**Выпускающая кафедра:** Сварочное производство, метрология и технология материалов

**Форма обучения:**

| Очная                                                                                                                                                                                                                                                                    | Заочная                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Курс:</b> 2 <b>Семестр:</b> 3, 4<br><b>Трудоёмкость:</b><br>Кредитов по рабочему учебному плану: 6 ЗЕ.<br>Часов по рабочему учебному плану: 216 ч.<br><b>Виды промежуточного контроля:</b><br>Зачет: 3 семестр.<br>Экзамен: 4 семестр.<br>Курсовая работа: 4 семестр. | <b>Курс:</b> 2 <b>Семестр:</b> 3,4<br><b>Трудоёмкость:</b><br>Кредитов по рабочему учебному плану: 6 ЗЕ.<br>Часов по рабочему учебному плану: 216 ч.<br><b>Виды промежуточного контроля:</b><br>Зачет: 3 семестр.<br>Экзамен: 4 семестр.<br>Курсовая работа: 4 семестр. |

Пермь  
2020

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины «Сопротивление материалов» и разработан на основании:

- положения о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ, утвержденного 29 апреля 2014 г.;
- приказа ПНИПУ от 03.12.2015 № 3363-В «О введении структуры ФОС»;
- рабочей программы дисциплины «Сопротивление материалов», утвержденной 27 ноября 2020 г.

## **1. Перечень формируемых частей компетенций, этапы их формирования и контролируемые результаты обучения**

### **1.1. Формируемые части компетенций**

Согласно КМВ ОПОП учебная дисциплина Б1.Б.16 «Сопротивление материалов» участвует в формировании двух компетенций: ОПК-1, ОПК-13. В рамках учебного плана образовательной программы в 3 и 4 семестрах на этапе освоения данной учебной дисциплины формируются следующие дисциплинарные части компетенций:

1. **ОПК-1.** Б1.Б.16 Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования для решения типовых инженерных задач расчета элементов конструкций и деталей машин.

2. **ОПК-13.** Б1.Б.16 Способен применять стандартные методы расчета при проектировании деталей и узлов изделий машиностроения.

### **1.2. Этапы формирования дисциплинарных частей компетенций, объекты оценивания и виды контроля**

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение 2-х семестров (3-го и 4-го семестра базового учебного плана) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты дисциплинарных компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, и которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по практическим и лабораторным работам, экзамена и курсовой работы. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Итоговой оценкой освоения дисциплинарных компетенций (результатов обучения по дисциплине) является промежуточная аттестация в виде экзамена, проводимая с учетом результатов текущего и рубежного контроля.

| Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Вид контроля            |                         |               |            |                          |    |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|------------|--------------------------|----|---------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Текущий и промежуточный |                         |               | Рубежный   | Промежуточная аттестация |    |         |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ОП                      | ПЗ                      | ЛР            | РК         | Зачет                    | КР | Экзамен |
| <b>Усвоенные знания</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                         |                         |               |            |                          |    |         |
| <b>3.1 Знать</b><br>– теоретические положения, лежащие в основе расчетов на прочность и жёсткость элементов конструкций;<br>– основные гипотезы, допущения и законы, используемые в курсе «Сопротивление материалов»;<br>– существующие методы стандартных испытаний для определения механических свойств материалов;<br>– сущность процессов и явлений, возникающих при деформировании материалов,<br>– виды простого сопротивления элементов конструкций;<br>– основы проведения расчетов элементов конструкций при простых видах сопротивления | ОП<br>1-8               | ПЗ<br>1,3-8             | ЛР<br>2,4,7,8 | РК<br>1, 2 | КЗ                       | ТВ | ТВ      |
| <b>3.2 Знать</b><br>– виды сложного сопротивления элементов конструкций;<br>– классические теории прочности и критерии пластичности материалов;<br>– основы проведения расчетов элементов конструкций при сложных видах сопротивления, а также в условиях циклического и динамического характера нагружения изделий;<br>– теоретические положения и основы проведения расчетов элементов конструкций на устойчивость                                                                                                                              | ОП<br>9-19              | ПЗ<br>9,10,12,<br>14-19 | ЛР<br>9,12    | РК 2       |                          | ТВ | ТВ      |

| Освоенные умения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |                                   |                        |                    |           |           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------------------|------------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| <p><b>У.1 Уметь</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ориентироваться в выборе расчетных схем элементов конструкций;</li> <li>– проводить расчеты на прочность и жёсткость стержневых систем;</li> <li>– подбирать и использовать справочную литературу, необходимую для проведения инженерных расчетов;</li> <li>– определять механические характеристики материалов по результатам проведённых лабораторных испытаний;</li> <li>– проводить расчеты элементов конструкций при простых видах сопротивления</li> </ul> |  | <p>ОПЗ<br/>1,3-8</p>              | <p>ОЛР<br/>2,4,7,8</p> | <p>РК<br/>1, 2</p> | <p>ПЗ</p> | <p>ПЗ</p> | <p>ПЗ</p> |
| <p><b>У.2 Уметь</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выбирать и применять соответствующие теории прочности при проектировании и расчете элементов конструкций;</li> <li>– проводить расчеты элементов конструкций при сложных видах сопротивления, а также в условиях циклического и динамического характера нагружения изделий;</li> <li>– проводить расчеты элементов конструкций на устойчивость</li> </ul>                                                                                                        |  | <p>ОПЗ<br/>9,10,12,<br/>14-19</p> | <p>ОЛР<br/>9,12</p>    | <p>РК 2</p>        |           | <p>ПЗ</p> | <p>ПЗ</p> |
| Приобретенные владения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |                                   |                        |                    |           |           |           |
| <p><b>В.1 Владеть</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками проведения инженерных расчетов на прочность и жесткость стержневых систем при простых видах сопротивления с использованием справочной литературы;</li> <li>– навыками выбора оптимальных размеров и форм поперечных сечений стержней, обеспечивающих требуемые показатели надежности, безопасности и экономичности;</li> <li>– навыками определения основных характеристик прочности, пластичности и упругости материалов;</li> </ul>                 |  |                                   |                        | <p>РК<br/>1, 2</p> | <p>ПЗ</p> | <p>ПЗ</p> | <p>ПЗ</p> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |  |  |      |  |    |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|------|--|----|----|
| – навыками самостоятельной работы в лабораторных условиях по экспериментальному изучению механического поведения и определению свойств конструкционных материалов.                                                                                                                          |  |  |  |      |  |    |    |
| <b>В.2 Владеть</b><br>– навыками расчета элементов конструкций при сложных видах сопротивления, в том числе, находящихся в условиях циклического или динамического характера нагружения с использованием справочной литературы;<br>– навыками расчета элементов конструкций на устойчивость |  |  |  | РК 2 |  | ПЗ | ПЗ |

ОП – текущий контроль в форме устных опросов по теме занятия (оценка знаний);

ОПЗ – отчет по практическому занятию (оценка умений, навыков);

ОЛР – отчет по лабораторному занятию (оценка умений, навыков);

КП – курсовой проект (оценка умений, навыков);

РК – рубежный контроль по модулю (оценка знаний, умений, навыков);

ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения**

### **2.1. Текущий контроль**

Текущий контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) проводится согласно графика учебного процесса, приведенного в РПД, в форме письменного теоретического опроса студентов по каждой теме, выполнения и защиты лабораторных работ и практических заданий. Результаты заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

#### **Типовые вопросы текущего контроля**

1. Необходимо рассчитать на прочность газовый баллон. Какая модель формы будет использована?

2. Какое напряжение называется касательным (определение, обозначение, единица измерения)?

3. Записать формулу условия прочности для растяжения-сжатия (название величин, входящих в формулу).

4. Вам известна величина допускаемых напряжений при сжатии детали из хрупкого материала. Можно ли использовать эту величину для прочностного расчета при растяжении той же детали?

5. Какие детали считаются на прочность при сдвиге?

6. По какой формуле осуществляется проверочный расчет на жесткость при кручении (указать название величин, входящих в формулу).

7. Чему равны нормальные напряжения в сечении вала?

8. Какие напряжения возникают в сечении детали при поперечном изгибе (символ, название)?

9. Какая формула используется для определения касательных напряжений при поперечном изгибе балок? (название величин, входящих в формулу)

10. Какие параметры определяют величину деформации балки при изгибе?

### **2.1.1. Защита лабораторных работ**

Всего запланировано 9 лабораторных работ в 3-м семестре. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС программы бакалавриата.

#### **Типовые задания к лабораторным работам**

1. Испытание на растяжение конструкционного материала. Определение основных характеристик прочности и пластичности материала.

2. Сравнительные испытания на сжатие хрупких и пластичных материалов. Определение прочностных характеристик на сжатие.

3. Определение модуля сдвига материала по результатам испытания на кручение тонкостенной трубки.

4. Опытное определение перемещений при поперечном изгибе в заданных сечениях балки.

### **2.1.2. Защита практических работ**

Практические задания выдаются в форме расчетно-графических работ. Всего запланировано 6 работ в 3-м семестре и 5 работ в 4 семестре (не считая курсовой работы). Типовые темы практических работ приведены в РПД.

Каждая практическая работа выполняется студентом по индивидуальному варианту, сдается на проверку и, после исправления возможных замечаний, защищается.

Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС программы бакалавриата.

### **Типовое задание для расчетно-графической работы**

#### **Контрольное задание 1.**

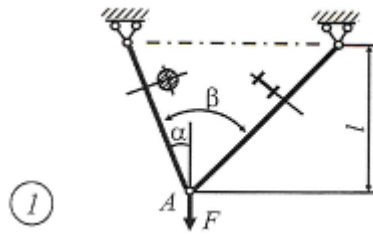
Расчет на прочность стержневых систем при деформации растяжения – сжатия

Подобрать из условия прочности поперечные сечения стержней статически определимой системы и определить перемещение точки А. Схема системы и типы сечений (круг, двутавр) приведены на рис.1, численные данные в табл.1.

Материал: сталь Ст.3.

Таблица 1.

| схема | l, м | a, м | $\alpha^{\circ}$ | $\beta^{\circ}$ | F, кН |
|-------|------|------|------------------|-----------------|-------|
| 1     | 1,8  | 0,6  | 30               | 75              | 300   |



Содержание и порядок выполнения работы:

1. Вычертить в масштабе схему, указать численные значения заданных величин.
2. Составить уравнения равновесия и определить усилия в стержнях.
3. Подобрать из условия прочности сечения стержней.
4. Определить изменения длины каждого стержня.
5. Построить в масштабе план перемещения точки А.
6. Найти аналитически и проверить графически горизонтальное, вертикальное и полное перемещение точки А.

## 2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) проводится согласно графику учебного процесса, приведенного в РПД, в форме защиты рубежных контрольных работ (тестирование), а также выполнения практических заданий после изучения 1 и 2 модулей учебной дисциплины.

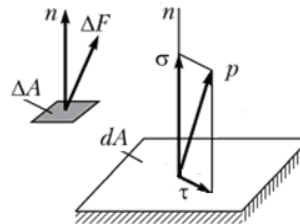
### 2.2.1. Рубежная контрольная работа

Согласно РПД, запланировано 2 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Простые виды сопротивления», вторая КР – по модулю 2 «Сложные виды сопротивления».

Типовые тестовые задания рубежного тестирования:

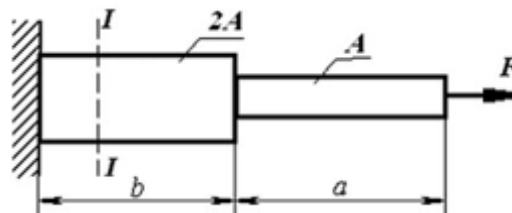
1. Проекция  $\tau$  полного напряжения  $p$  на площадку  $\Delta A$  называется

- A. Полное напряжение.
- B. Среднее напряжение.
- C. Нормальное напряжение.
- D. Касательное напряжение.



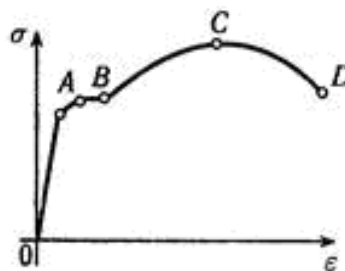
2. Чему равно *напряжение* в сечении I-I?

- A.  $\sigma = F / A$ ;
- B.  $\sigma = F \cdot A$ ;
- C.  $\sigma = F / 2 \cdot A$ ;
- D.  $\sigma = F / (a+b)$ .



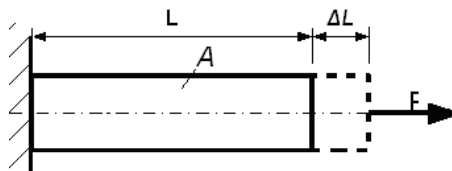
3. При растяжении образца получена диаграмма. Временное сопротивление (предел прочности) соответствует точке?

- A. B. C. D.

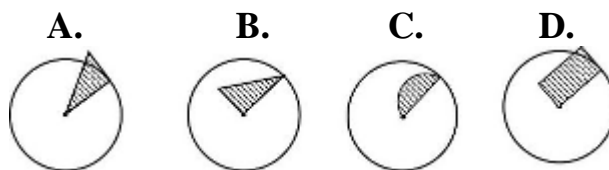


4. Стержень жесткий, если:

- A.  $\frac{F}{A} \leq [\sigma]$ ; C.  $\frac{F}{L} \leq [\sigma]$ ;  
 B.  $\frac{F \cdot L}{A \cdot E} \leq [\Delta L]$ ; D.  $\frac{F \cdot \Delta L}{A \cdot L} \leq [\varepsilon]$ .

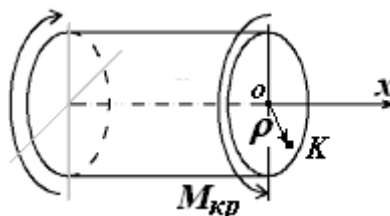


5. При деформации кручения напряжения распределяются по сечению таким образом:

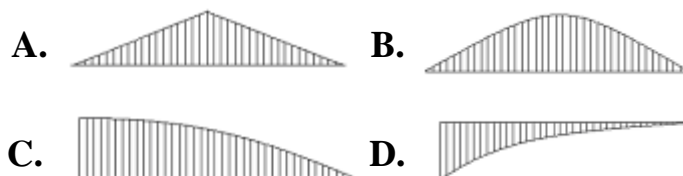
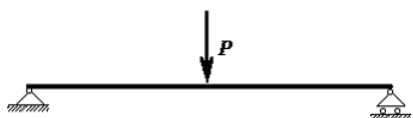


6. Напряжение в точке К сечения вала равно

- A.  $\tau = \frac{M_{\text{эд}}}{j_{\rho}} \cdot \rho$ ; B.  $\tau = \rho \cdot M_{\text{эд}} \cdot G$ ;  
 C.  $\sigma = \frac{M_{\text{эд}}}{A}$ ; D.  $\sigma = \frac{M_{\text{эд}} \cdot l}{G \cdot j_{\rho}}$ .



7. На балку действует сила P. Какую форму имеет эпюра изгибающих моментов M<sub>из</sub>?

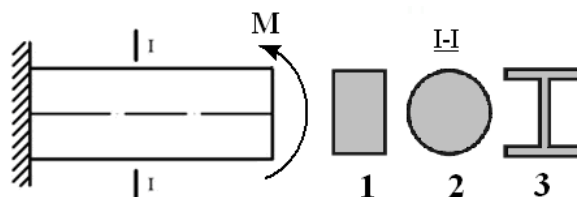


8. Условие прочности по нормальным напряжениям σ при изгибе?

- A.  $|\sigma| = \frac{|M_{\text{эц}}|}{G \cdot j_x} \leq [\sigma]$ ; B.  $|\sigma| = \frac{|M_{\text{эц}}|}{w_x} \leq [\sigma]$ ;  
 C.  $|\sigma| = \frac{|M_{\text{эд}}|}{j_{\rho}} \cdot \rho \leq [\sigma]$ ; D.  $|\sigma| = \frac{|M_{\text{эц}}|}{A} \leq [\sigma]$ .

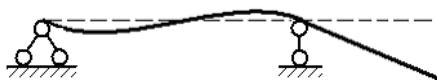
9. Расположите приведенные сечения балки в порядке возрастания прочности, если их площади равны ( $A_1=A_2=A_3$ ).

- A. 1, 2, 3; B. 2, 1, 3;  
 C. 2, 3, 1; D. 1, 3, 2.

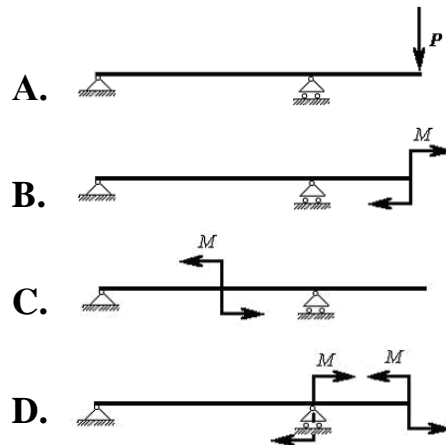




10. Форма изогнутой балки имеет вид:

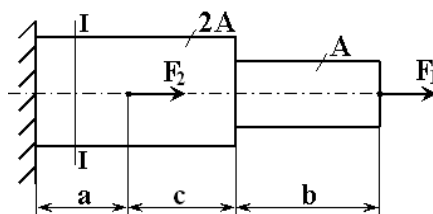


Как нагружена балка?



### Типовые практические задания рубежного контроля

1.

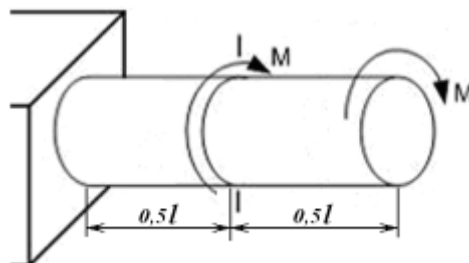


$$F_2 = 20 \text{ кН}; F_1 = 10 \text{ кН}; A = 100 \text{ мм}^2; a = b = c = 1 \text{ м}; [\sigma]_p = 100 \text{ МПа}.$$

**A.** Определить значение и знак (сжимает или растягивает) внутренней силы  $N$  в сечении  $I-I$ .

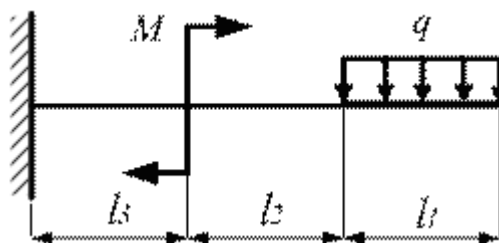
**B.** Оценить прочность в сечении  $I-I$ .

2. На какой угол повернется сечение  $I-I$ ?



$$M = 16 \text{ кНм}, l = 2 \text{ м}, \text{ диаметр вала } d = 0,1 \text{ м}, G = 8 \cdot 10^{10} \text{ Па}$$

3. Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов для балки



$$l_1 = l_2 = l_3 = 1 \text{ м}; M = 10 \text{ кН}\cdot\text{м}; q = 5 \text{ кН/м}$$

### 2.3. Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех практических работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде зачета в 3-м семестре, экзамена и курсовой работы по дисциплине в 4-м семестре.

**2.3.1 Зачет** выставляется по результатам текущего и рубежного контроля с использованием типовой шкалы и критериев оценивания, приведенной в общей части ФОС бакалаврской программы.

**2.3.2 Экзамен** проводится в форме собеседования (устно), каждый студент должен ответить на два теоретических вопроса для проверки усвоенных знаний и решить практическую задачу для проверки освоенных умений и контроля уровня приобретенных владений заявленных дисциплинарных компетенций.

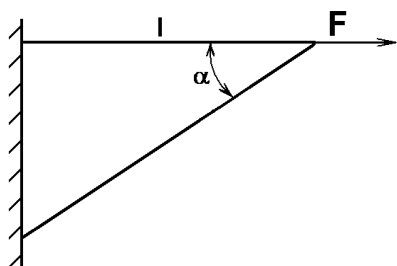
Пример билета приведён в приложении. Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.

#### Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине

##### Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:

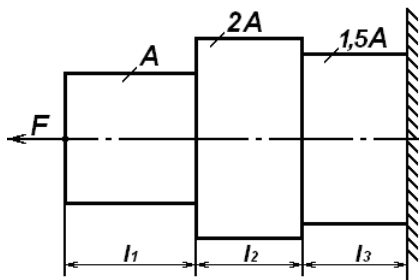
1. Напряжение как основная характеристика внутренних сил. Напряжения в точке сечения. Общие принципы расчета элементов конструкций по напряжениям.
2. Расчеты на прочность при сдвиге. Внутренние силы и напряжения, возникающие в сечении детали при сдвиге. Определение допускаемых напряжений для сдвига. Закон Гука для сдвига.
3. Расчеты на жесткость при изгибе. Условие жесткости при изгибе. Сущность определения перемещений при помощи интеграла Мора способом Верещагина.
4. Понятие продольного изгиба. Условие устойчивости. Гибкость стержня. Предел применимости формулы Эйлера. Эмпирическая формула расчета критических напряжений. Методика решения проектных задач на устойчивость.

##### Типовые практические задания (задачи) для контроля освоенных умений

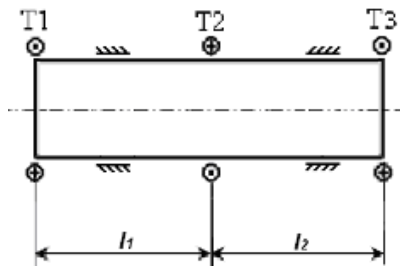


Определить перемещения концов стержней

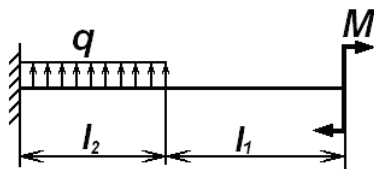
$$\begin{aligned} F &= 10 \text{ кН}; & \alpha &= 30^\circ; \\ l &= 1 \text{ м}; & A &= 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2; \\ E &= 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}; \end{aligned}$$



Проверить прочность бруса  
 $[\sigma_p] = 150 \text{ МПа}; \quad F = 50 \text{ кН};$   
 $l_1 = l_2 = l_3 = 1 \text{ м}; \quad A = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$



Определить углы закручивания вала  
 $G = 8 \cdot 10^{10} \text{ Па};$   
 $T_1 = 200 \text{ Н*м};$   
 $T_2 = 400 \text{ Н*м};$   
 $l_1 = l_2 = 1 \text{ м}; \quad d = 50 \text{ мм}$



Построить эпюры внутренних силовых факторов для балки. Определить опасный участок.  
 $M = 10 \text{ Н*м}; \quad q = 60 \text{ кН/м};$   
 $l_1 = 2 \text{ м}; \quad l_2 = 1 \text{ м}$

### 2.3.3 Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных дисциплинарных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС программы бакалавриата.

### 2.3.4. Выполнение курсовой работы

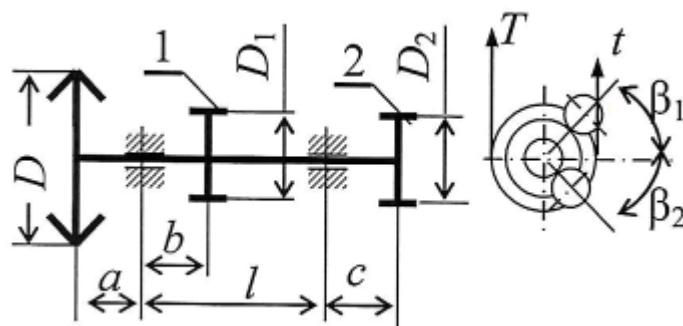
Выполнение курсовой работы является комплексным заданием, состоящим из решения нескольких задач, охватывающих все темы курса и предполагающих выполнение проверочных и проектировочных расчетов на прочность, жесткость и устойчивость типовых конструкций при различных видах нагружения.

Курсовая работа выполняется студентом по индивидуальному варианту, сдается на проверку и, после исправления возможных замечаний, защищается.

#### Типовое задание на курсовую работу (одна из частей работы)

##### Расчет вала на прочность при изгибе с кручением

Рассчитать стальной вал круглого поперечного сечения на прочность при совместном действии изгиба и кручения. Мощность подводится к валу от электродвигателя посредством цепной и ременной передач, а снимается с шестерен 1 и 2 через зубчатые передачи. Для ременной передачи натяжение набегающей ветви составляет  $t = F_{ок}$ , а сбегающей ветви  $T = 2t$ . Для цепной передачи –  $t = 0,25 F_{ок}$ ,  $T = 1,25 F_{ок}$ . Угол зацепления зубчатых передач  $\alpha = 20^\circ$ . Скорость вращения вала  $n$  (об/мин).



| Цифра шифра | 1     | 2           |          |          |          |          |                       |                       | 3           |           | 4          |                       | 5        |
|-------------|-------|-------------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------|-----------|------------|-----------------------|----------|
|             | Схема | Размеры, мм |          |          |          |          |                       |                       | Углы, град. |           | Мощн., кВт |                       | об/мин   |
|             |       | <i>l</i>    | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>D</i> | <i>D</i> <sub>1</sub> | <i>D</i> <sub>2</sub> | $\beta_1$   | $\beta_2$ | <i>N</i>   | <i>N</i> <sub>1</sub> | <i>n</i> |
| 1           | 11    | 500         | 100      | 80       | 200      | 350      | 280                   | 180                   | 30          | 30        | 80         | 50                    | 650      |

Содержание и порядок выполнения работы:

1. Вычертить схему вала и схему расположения передач с указанием численных значений заданных величин.
2. Определить усилия в элементах передач и привести их к центру вала, разложив по двум взаимно перпендикулярным плоскостям.
3. Построить эпюры крутящих моментов и изгибающих моментов в выбранных взаимно перпендикулярных плоскостях.
4. Построить эпюру суммарных изгибающих моментов.
5. Построить эпюру расчетных моментов, используя четвертую теорию прочности.
6. Произвести предварительный расчет диаметра вала из условия прочности и округлить его значение до ближайшего стандартного размера по ГОСТ 6636-69.

### 2.3.5. Шкалы оценивания результатов обучения при защите курсового проекта

По результатам защиты курсового проекта выставляется интегральная оценка по 4-х балльной шкале оценивания, которая распространяется на все запланированные результаты в форме *знать, уметь и владеть*, указанные в задании на курсовой проект.

Типовые критерии оценки результатов обучения при защите курсового проекта для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС программы бакалавриата.

## 3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и дисциплинарных компетенций

### 3.1 Оценка уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций

При оценке уровня сформированности дисциплинарных компетенций в рамках выборочного контроля на экзамене считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в процессе собеседования дисциплинарной компетенции обобщается на соответствующий компонент всех дисциплинарных компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций приведены в общей части ФОС программы бакалавриата.

### **3.2 Оценка уровня сформированности дисциплинарных компетенций**

Общая оценка уровня сформированности всех дисциплинарных компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС программы бакалавриата.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде дифференциального зачета и курсового проекта используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС программы бакалавриата.

Пример билета для экзамена

Пермский Национальный Исследовательский  
Политехнический Университет

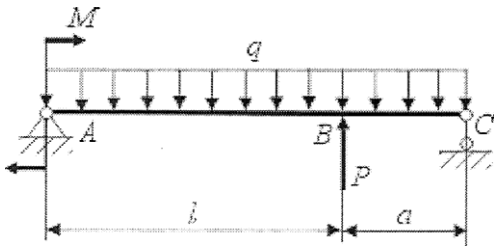
**Кафедра:** ИТМ  
**Дисциплина:** Сопротивление материалов  
**Направление:** 15.03.01 Машиностроение

БИЛЕТ N 1

1. Понятие прочности. Напряжение как основная характеристика внутренних сил. Общие принципы расчета элементов конструкций по напряжениям.

2. Расчеты на жесткость при кручении. Определение угловых перемещений и деформаций вала при кручении. Связь между напряжениями и деформациями. Условие жесткости при кручении и задачи, решаемые с его помощью.

3. Решите задачу



Определить номер стандартного двутавра из условия прочности по нормальным напряжениям.

$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ ;  $l = 2 \text{ м}$ ;  $a = 1 \text{ м}$ ;  
 $M = 15 \text{ кН м}$ ;  $P = 40 \text{ кН}$ ;  $q = 20 \text{ кН/м}$ .

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ В.В. Карманов

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г