

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ**  
**филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения**  
**высшего образования «Мурманский арктический государственный университет»**  
**в г. Апатиты**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Б1.Б.28 Сопротивление материалов**

(название дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом)

**основной профессиональной образовательной программы  
по специальности**

**21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства**  
**специализация №1 «Физические процессы горного производства»**

(код и наименование направления подготовки  
с указанием направленности (профиля) (наименования магистерской программы))

**высшее образование – специалитет**

уровень профессионального образования: высшее образование – бакалавриат / высшее образование –  
специалитет, магистратура / высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации

**горный инженер (специалист)**

квалификация

**очная**

форма обучения

**2019**

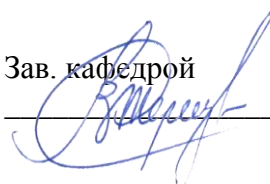
год набора

**Составитель:**

Бекетова Е.Б., к.т.н., доцент кафедры  
горного дела, наук о Земле и  
природообустройства

Утверждено на заседании кафедры горного  
дела, наук о Земле и природообустройства  
(протокол № 9 от «30» мая 2019 г.)

Зав. кафедрой



Терещенко С.В.

## **1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Целью изучения дисциплины «Сопротивление материалов» является формирование у студентов базовых знаний в области анализа и расчета элементов конструкций, механизмов и деталей машин, подготовка выпускников к решению профессиональных задач, связанных с проектированием и эксплуатацией отдельных элементов и конструкций, формирование у студентов современного научного мировоззрения, развитие творческого естественнонаучного мышления.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

### **Знать:**

- основные положения статики;
- уметь составлять и решать задачи по анализу равновесия и движения твердых тел и механизмов;
- теоретические основы сопротивления материалов;
- основные понятия, правила и порядок расчетов элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость;
- критерии выбора конструкционных материалов и конструктивных форм;
- принципы сопротивления конструкционных материалов.

### **Уметь:**

- самостоятельно выбирать расчетные схемы;
- производить расчеты типовых элементов конструкций;
- сравнивать и отыскивать оптимальные варианты решения;
- связывать воедино инженерную постановку задачи, расчет и проектирование;
- пользоваться ГОСТами.

### **Владеть:**

- аналитическими и численными методами решения статических и динамических задач сопротивления материалов;
- знать особенности решения задач, а также иметь сведения об области их приложения;
- иметь представление о критериях обеспечения высоких показателей надежности, долговечности и безопасности конструкций.

## **2. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

- способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу (ОК-1);
- готовностью с естественнонаучных позиций оценить строение, химический и минеральный состав горных пород, слагающих земную кору, морфологические особенности и генетические типы месторождений полезных ископаемых при решении задач по рациональному и комплексному освоению георесурсного потенциала недр на суше, на шельфе морей и на акваториях мирового океана (ОПК-4).

## **3. УКАЗАНИЕ МЕСТА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Данная дисциплина относится к базовой части образовательной программы по специальности 21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства, специализация №1 «Физические процессы горного производства».

Для освоения данной дисциплины обучающиеся используют знания, умения, навыки, которые они получили в процессе изучения дисциплин: «Высшая математика», «Физика», «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика», «Теоретическая механика», «Прикладная механика», «Материаловедение».

В свою очередь, дисциплина «Сопротивление материалов» представляет собой методологическую базу для изучения дисциплин: «Геомеханика», «Горные машины и оборудование», «Проходка горных выработок» и др.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ С УКАЗАНИЕМ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ИЛИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЧАСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА КОНТАКТНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ) И НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы или 144 часа.  
(из расчета 1 ЗЕТ= 36 часов).

Курс	Семестр	Трудоемкость в ЗЕТ	Общая трудоемкость (час)	Контактная работа			Всего контактных часов	Из них в интерактивных формах	Кол-во часов на СРС	Курсовые работы	Кол-во часов на контроль	Форма контроля
				ЛК	ПР	ЛБ						
3	6	4	144	32	8	8	48	4	60	-	36	экзамен
<b>Итого:</b>		<b>4</b>	<b>144</b>	32	8	8	<b>48</b>	4	<b>60</b>	-	<b>36</b>	<b>экзамен</b>

В интерактивной форме часы используются в виде устного опроса, заслушивания и обсуждения, подготовленных студентами практических работ по тематике дисциплины.

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ИЛИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Наименование раздела, темы	Контактная работа			Всего контактных часов	Из них в интерактивной форме	Кол-во часов на СРС	Кол-во часов на контроль
		ЛК	ПР	ЛБ				
1.	Задачи и методы сопротивления материалов.	1			1		2	
2.	Растяжение и сжатие.	4	2		6	1	6	
3.	Напряженное и деформированное состояние при растяжении и сжатии.	3		1	5		4	
4.	Основные механические характеристики материалов.	2		1	2		4	
5.	Сдвиг	2	1		3	1	3	
6.	Кручение	3	1		4		5	
7.	Геометрические характеристики поперечных сечений.	3		2	6		4	
8.	Изгиб.	2	1		3	1	4	
9.	Чистый изгиб.	1	1		1		4	
10.	Поперечный изгиб.	2		2	3		4	
11.	Косой изгиб.	1		2	2		4	
12.	Перемещения в брус.	2	1		3	1	4	
13.	Фермы и рамы.	2	1		3		4	
14.	Метод сил.	2			3		4	
15.	Канонические уравнения.	2			3		4	
	Экзамен							36
	<b>Итого:</b>	32	8	8	<b>48</b>	4	<b>60</b>	<b>36</b>

### **Содержание разделов дисциплины:**

*Тема 1. Задачи и методы сопротивления материалов.* Реальный объект и расчётная схема. Силы внешние и внутренние. Основные виды нагружения бруса. Метод сечений. Напряжения. Перемещения и деформации. Основные понятия и допущения.

*Тема 2. Растяжение и сжатие.* Внутренние силы и напряжения, возникающие в поперечных сечениях бруса. Растяжение и сжатие стержня. Закон Гука. Потенциальная энергия деформации. Статически определимые и статически неопределимые системы

*Тема 3. Напряжённое и деформированное состояние при растяжении и сжатии.* Напряжённое и деформированное состояние в точке. Испытание материалов при растяжении и сжатии. Диаграмма растяжения и сжатия. Расчёты на прочность и жёсткость при растяжении и сжатии. Устойчивость сжатых стержней. Динамические нагрузки и напряжения.

*Тема 4. Основные механические характеристики материалов.* Основные механические характеристики. Наклёп и нагартовка. Влияние температуры и фактора времени на механические характеристики материалов. Коэффициент запаса. Допускаемое напряжение. Гипотезы прочности и пластичности.

*Тема 5. Сдвиг.* Чистый сдвиг. Удельная потенциальная энергия при сдвиге.

*Тема 6. Кручение.* Расчёты на прочность и жёсткость. Кручение бруса с круглым поперечным сечением. Кручение бруса с некруглым поперечным сечением. Кручение тонкостенного бруса.

*Тема 7. Геометрические характеристики поперечных сечений.* Статические моменты сечения. Моменты инерции сечения. Главные и главные оси инерции. Расчёты и определение геометрических характеристик поперечного сечения бруса.

*Тема 8. Изгиб.* Виды изгиба. Изгиб прямых брусков. Внутренние силовые факторы при изгибе.

*Тема 9. Чистый изгиб.* Энергия упругих деформаций.

*Тема 10. Поперечный изгиб.* Определение нормальных и касательных напряжений при изгибе

*Тема 11. Косой изгиб.* Сложное сопротивление

*Тема 12. Перемещения в брус.* Определение напряжений и перемещений, расчёты на прочность и жёсткость. Теорема Кастилиано. Интеграл Мора. Способ Верещагина.

*Тема 13. Фермы и рамы.* Раскрытие статической неопределимости стержневых систем. Плоские и пространственные системы. Геометрические характеристики плоских сечений

*Тема 14. Метод сил.* Основные и расчётные системы рам. Замена лишних связей на внутренние силовые факторы.

*Тема 15. Канонические уравнения метода сил.* Расчёт статически неопределимых балок. Использование свойств симметрии при раскрытии статической неопределимости.

## **6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

### **Основная литература:**

1. Сопротивление материалов. Учебное пособие для студентов вузов/ Под ред. Костенко Н.А. - М: Высшая школа, 2004. - 430 с.
2. Сопротивление материалов: учебное пособие / Н.А. Костенко, С.В. Балясникова, Ю.Э. Волошановская и др.; под ред. Н.А. Костенко. - М.: Директ-Медиа, 2014. - 485 с. - [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=226084>

### **Дополнительная литература:**

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. - М.: изд. МГТУ, 2003. -591 с.

1. Копнов В.А., Кривошапко С.Н. Сопротивление материалов. Руководство для решения задач и выполнения лабораторных и расчетно-графических работ. - М.: Высшая школа, 2005. - 351 с.

## **7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

В образовательном процессе используются:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (мебель аудиторная (столы, стулья, доска аудиторная), комплект мультимедийного оборудования, включающий мультимедиапроектор, экран, переносной ноутбук для демонстрации презентаций; учебно-наглядные пособия; обеспечивающие тематические иллюстрации);
- помещения для самостоятельной работы (оснащены компьютерными столами, стульями, доской аудиторной, компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета);
- помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования (оснащены наборами инструментов, оборудованием, расходными материалами для монтажа, ремонта и обслуживания информационно-телекоммуникационной сети филиала и вычислительной техники);
- лаборатория механики и сопротивления материалов.

### **7.1 ПЕРЕЧЕНЬ ЛИЦЕНЗИОННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

1. Microsoft Windows.
2. Microsoft Office / LibreOffice.

### **7.2 ЭЛЕКТРОННО-БИБЛИОТЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ:**

1. ЭБС «Издательство Лань» [Электронный ресурс]: электронная библиотечная система / ООО «Издательство Лань». - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/>;
2. ЭБС «Электронная библиотечная система ЮРАЙТ» [Электронный ресурс]: электронная библиотечная система / ООО «Электронное издательство ЮРАЙТ». - Режим доступа: <https://biblio-online.ru/>;
3. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» [Электронный ресурс]: электронно-периодическое издание; программный комплекс для организации онлайн-доступа к лицензионным материалам / ООО «НексМедиа». – Режим доступа: <https://biblioclub.ru/>.

### **7.3 СОВРЕМЕННЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ:**

1. Электронная база данных Scopus;
2. «Университетская библиотека online» – электронная библиотечная система – <http://biblioclub.ru/>
3. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" – <http://window.edu.ru/>;
4. Информационный портал "Студенту вуза" – <http://studentu-vuza.ru/>.

### **7.4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ**

Справочно-правовая информационная система Консультант Плюс <http://www.consultant.ru/>.

## **8. ИНЫЕ СВЕДЕНИЯ И МАТЕРИАЛЫ НА УСМОТРЕНИЕ ВЕДУЩЕЙ КАФЕДРЫ**

Не предусмотрено.

## **9. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ЛИЦ С ОВЗ**

Для обеспечения образования инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья реализация дисциплины может осуществляться в адаптированном виде, с учетом специфики освоения и дидактических требований, исходя из индивидуальных возможностей и по личному заявлению обучающегося.

**Приложение 1 к РПД «Сопротивление материалов»**  
**21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства**  
**специализация №1 «Физические процессы горного производства»**  
**Форма обучения – очная**  
**Год набора - 2019**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ  
ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

1.	Кафедра	Горного дела, наук о Земле и природообустройства
2.	Специальность	21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства
3.	Специализация	№1 «Физические процессы горного производства»
4.	Дисциплина (модуль)	Сопротивление материалов
5.	Форма обучения	очная
6.	Год набора	2019

### **1. Методические рекомендации**

Приступая к изучению дисциплины, студенту необходимо внимательно ознакомиться с тематическим планом занятий, списком рекомендованной литературы. Следует уяснить последовательность выполнения индивидуальных учебных заданий. Самостоятельная работа студента предполагает работу с научной и учебной литературой, умение создавать тексты. Уровень и глубина усвоения дисциплины зависят от активной и систематической работы на лекциях, изучения рекомендованной литературы, решения задач и выполнение практических работ.

При изучении дисциплины студенты выполняют следующие задания:

- изучают рекомендованную научно-практическую и учебную литературу;
- выполняют задания, предусмотренные для самостоятельной работы.

Основными видами аудиторной работы обучающихся являются лекции, лабораторные и практические работы.

#### **1.1. Методические рекомендации по организации работы студентов во время проведения лекционных занятий**

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на семинарское занятие и указания на самостоятельную работу.

В учебном процессе, помимо чтения лекций, используются интерактивные формы (устный опрос, тестирование, консультации). В сочетании с внеаудиторной работой это способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

Изучение дисциплины требует систематического и последовательного накопления знаний, следовательно, пропуски отдельных тем не позволяют глубоко освоить предмет. Именно поэтому контроль над систематической работой студентов всегда находится в центре внимания кафедры. Студентам необходимо:

- перед каждой лекцией просматривать рабочую программу дисциплины, что позволит сэкономить время на записывание темы лекции, ее основных вопросов, рекомендуемой литературы;
- на отдельные лекции приносить соответствующий материал на бумажных носителях, представленный лектором на портале или присланный на «электронный почтовый ящик» (таблицы, графики, схемы). Данный материал будет охарактеризован, прокомментирован, дополнен непосредственно на лекции;
- перед очередной лекцией необходимо просмотреть по конспекту материал предыдущей лекции. При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к

основным литературным источникам. Если разобраться в материале опять не удалось, то обратитесь к преподавателю. Не оставляйте «белых пятен» в освоении материала.

## **1.2. Методические рекомендации по подготовке к практическим и лабораторным занятиям**

Лабораторные работы служат для закрепления теоретических знаний, полученных на лекциях и практических занятиях. При выполнении лабораторной работы студенты имеют возможность применить теоретические знания к решению практических задач, убедиться на практике в правильности полученных теоретических результатов.

Студентам следует:

- приносить с собой рекомендованную преподавателем литературу к конкретному занятию;
- до очередного практического (лабораторного) занятия по рекомендованным литературным источникам проработать теоретический материал, соответствующей темы;
- при подготовке к практическим (лабораторным) занятиям следует обязательно использовать не только лекции, учебную литературу, но и материалы правоприменительной практики;
- в начале занятий задать преподавателю вопросы по материалу, вызвавшему затруднения в его понимании и освоении при решении задач, заданных для самостоятельного решения;
- в ходе выполнения практической (лабораторной) работы давать конкретные, четкие ответы по существу вопросов;
- на занятии доводить каждое задание до окончательного решения, демонстрировать понимание проведенных расчетов (анализов, ситуаций), в случае затруднений обращаться к преподавателю.

Студентам, пропустившим занятия (независимо от причин) или не подготовившимся к данному практическому занятию, рекомендуется не позже чем в 2-недельный срок явиться на консультацию к преподавателю и отчитаться по выполнению заданий.

В случае если сроки сдачи работ превышены, количество баллов сокращается.

Студенты, не отчитавшиеся по каждой не проработанной ими на занятиях теме к началу зачетной сессии, упускают возможность получить положенные баллы за работу в соответствующем семестре.

## **1.3. Методические рекомендации по подготовке к устному опросу**

Устный опрос – наиболее распространенный метод контроля знаний студентов. При устном контроле устанавливается непосредственный контакт между преподавателем и студентом, в процессе которого преподаватель получает широкие возможности для изучения индивидуальных особенностей усвоения студентами учебного материала.

Как и любая другая форма подготовки к контролю знаний, устный опрос имеет ряд особенностей, знание которых помогает успешно ответить на поставленный вопрос. Можно дать следующие методические рекомендации:

- студент должен изучить лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов;
- обратить внимание на усвоение основных понятий дисциплины;
- выявить неясные вопросы и подобрать дополнительную литературу для их освещения, составить тезисы выступления по отдельным проблемным аспектам.

Тема и вопросы устного опроса доводятся до студентов заранее. Эффективность подготовки студентов к устному опросу зависит от качества ознакомления с рекомендованной литературой.

В среднем, подготовка к устному опросу занимает от 2 до 4 часов в зависимости от сложности темы и особенностей организации студентом своей самостоятельной работы.



#### 1.4. Методические рекомендации для занятий в интерактивной форме

В учебном процессе, помимо чтения лекций и аудиторных занятий, используются интерактивные формы (в целях выработки навыков применения теории при анализе реальных проблем, обсуждение отдельных разделов дисциплины, консультации). В сочетании с внеаудиторной работой это способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

Интерактивное обучение представляет собой способ познания, осуществляемый в формах совместной деятельности обучающихся, т.е. все участники образовательного процесса взаимодействуют друг с другом, совместно решают поставленные проблемы, задачи, обмениваются информацией, оценивают действие коллег и свое собственное поведение, погружаются в реальную атмосферу делового сотрудничества по разрешению проблем.

В курсе изучаемой дисциплины «Сопротивление материалов» в интерактивной форме часы используются в виде: устного опроса, заслушивания и обсуждения подготовленных студентами практических работ по тематике дисциплины.

##### Тематика занятий с использованием интерактивных форм

№ п/п	Тема	Интерактивная форма	Часы, отводимые на интерактивные формы	
			лекции	Практические занятия
1.	Растяжение и сжатие	Устный опрос. Обсуждение практической работы		1
2.	Сдвиг	Устный опрос. Обсуждение практической работы		1
3.	Изгиб	Устный опрос. Обсуждение практической работы		1
4.	Перемещения в брус	Устный опрос. Обсуждение практической работы		1
<b>ИТОГО:</b>			<b>4 часа</b>	

#### 1.5 Методические рекомендации по подготовке опорного конспекта

Студентам необходимо ознакомиться: с содержанием рабочей программы дисциплины, с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, методическими разработками по данной дисциплине, имеющимися на образовательном портале и сайте кафедры.

Изучение дисциплины требует систематического и последовательного накопления знаний, следовательно, пропуски отдельных тем не позволяют глубоко освоить предмет. Именно поэтому контроль над систематической работой студентов всегда находится в центре внимания кафедры. Студентам необходимо иметь полный конспект лекций, прочитанных в аудиторные часы и тем, теоретического материала, освоивших обучающимися самостоятельно.

При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к основным литературным источникам. Если разобраться в материале опять не удалось, то обратитесь к преподавателю на практических занятиях. Не оставляйте «белых пятен» в освоении материала.

Студенты, не отчитавшиеся по каждой не проработанной ими на занятиях теме, упускают возможность получить положенные баллы за работу в соответствующем семестре.

#### 1.6. Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзамена

Преподаватель может принимать экзамен только в том случае, если студент допущен к экзамену. Ведомость преподавателю передает специалист кафедры.

На экзамене обучающийся должен представить зачетную книжку. Если обучающийся не имеет при себе зачетной книжки, экзаменатор не имеет права принимать

экзамен.

В экзаменационной ведомости и зачетной книжке экзаменатор должен записать результат экзамена и поставить свою подпись.

Обучающемуся, сдающему экзамен, должно быть дано время, достаточное для тщательной подготовки ответа. Как правило, для подготовки ответов на зачете студент должен иметь не менее 30 минут, но не более часа.

При подготовке ответов на экзамене студент имеет право пользоваться программой по данному предмету.

Во время сдачи экзамена студент не имеет права пользоваться учебником, учебным пособием, конспектом, каким-либо источником.

Пользование «шпаргалками» должно повлечь за собой безусловное удаление студента с экзамена с выставлением оценки «неудовлетворительно» в экзаменационной ведомости.

Студенту должна быть предоставлена возможность полностью изложить свои ответы. Не рекомендуется прерывать студента, за исключением случаев, когда он отвечает не на тот вопрос, который ему задан, или когда он сразу же допускает грубую ошибку. Преподаватель может также прервать студента, если сказанного им достаточно, чтобы вполне положительно оценить его знания.

Не следует часто поправлять отвечающего, учитывая, что некоторые студенты утрачивают уверенность от замечаний преподавателя, которые он делает по ходу экзамена, что сказывается на качестве их ответов.

Экзаменатор задает дополнительные вопросы после того, как студент закончит ответ по данному вопросу, или по окончании ответов на все вопросы билета. Дополнительные вопросы должны быть поставлены четко и ясно. При выставлении оценок экзаменатор принимает во внимание не столько знание материала, часто являющееся результатом механического запоминания прочитанного, сколько умение ориентироваться в нем, логически рассуждать, а равно применять полученные знания к практическим вопросам. Важно также учесть форму изложения.

Попытки отдельных студентов выпрашивать повышение оценок следует корректно, но решительно пресекать.

Качество учебной работы обучающихся преподаватель оценивает с использованием критериев и шкалы оценивания (см. Приложение 2).

Шкала оценивания в рамках балльно-рейтинговой системы МАГУ по итогам выполнения всех заданий: «2» - 60 баллов и менее, «3» - 61-80 баллов, «4» - 81-90 баллов, «5» - 91-100 баллов.

### **1.7. Методические рекомендации по выполнению курсовых работ.**

Выполнение курсовой работы учебным планом не предусмотрено.

## **2. Планы практических занятий**

**Занятие 1. Определение внутренних усилий, напряжений и перемещений в поперечных сечениях бруса. Подбор сечений стержней из расчета на прочность (2 час)**

**План:**

1. Построить эпюры продольных сил  $N$  (внутренних усилий), нормальных напряжений  $\sigma$  и перемещений  $\lambda$ .

2. Подобрать требуемый профиль поперечного сечения стержней  $AB$  и  $CB$  шарнирно-стержневой конструкции, если они изготовлены из (см. вариант работы). Выполнить проверку прочности принятого сечения, учитывая условие оптимальной металлоемкости, при заданном допустимом напряжении  $[\sigma]$ . (○ – круглое сечение, □ – квадратный профиль, ▯ – два спаренных равнополочных уголков)

*Литература:* [1, с. 36-58]

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. В чем заключаются деформации растяжения и сжатия?
2. В чем сущность метода сечений?
3. Что называется продольной силой в сечении стержня?
4. Что называется эпюрами продольных сил и нормальных напряжений? Как они строятся?
5. Как записывается и как формулируется закон Гука при растяжении (сжатии)?
6. Что такое коэффициент Пуассона?
7. Формула Гука, ее применение.
8. Что называется пределами: упругости, текучести, прочности?
9. Какими показателями характеризуется степень пластичности материала? Как они определяются?
10. Что называется допускаемым напряжением материала?
11. Что называется коэффициентом запаса прочности?
12. Какие факторы влияют на выбор величины допускаемого напряжения и коэффициента запаса прочности?
13. Запишите условие прочности при растяжении, сжатии. Объясните его смысл.
14. Что называется опасным сечением бруса? ГОСТ 8509-93 – Уголки стальные горячекатаные равнополочные

#### *Задание для самостоятельной работы*

1. Оформить практическую работу, доработать ее по необходимости после проверки преподавателем и подготовиться к собеседованию.

### **Занятие 2. Сдвиг (1 час)**

#### **План:**

1. Подобрать диаметр заклепок, соединяющих накладку с листом; проверить прочность заклепок на смятие и листов на разрыв. Материал листов и заклепок – прокат из стали:
  - определить диаметр заклепок;
  - проверить заклепки на смятие;
  - проверить прочность листа на разрыв;
  - сделать вывод.

*Литература:* [3, с. 108-132].

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Какой вид нагружения называется сдвигом?
2. Изобразите элемент в состоянии чистого сдвига. Как изменятся напряжения, если элемент повернуть на 45 градусов?
3. Что называется абсолютным и относительным сдвигом?
4. Как формируется закон Гука при сдвиге?
5. Какие разрушения возможны для заклепочного соединения?
6. Запишите условие прочности на срез и смятие.
7. Что такое кручение?
8. Какие напряжения возникают в поперечном и продольном сечении круглого стержня при кручении и закон их распределения?
9. Как найти их величину в произвольной точке поперечного сечения?
10. Запишите условие прочности при кручении.
11. Чему равен момент сопротивления кольцевого сечения?
12. По какой формуле вычисляют угол закручивания?
13. Запишите условие жесткости.
14. Возникают ли при кручении нормальные напряжения?

#### *Задание для самостоятельной работы*

1. Оформить практическую работу, доработать ее по необходимости после проверки преподавателем и подготовиться к собеседованию.

### **Занятие 3. Кручение (1 час)**

#### **План:**

1. Из условия прочности и жесткости выполнить проектный расчет:
  - определить диаметры валов в двух вариантах исполнения – сплошного и полого с коэффициентом пустотелости  $c = d/D = 0.8$ . Результаты округлить согласно ГОСТу.
  - построить эпюры углов закручивания вала. Валы сопоставить по металлоемкости и жесткости.

*Литература:* [3, с. 103-142].

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Что называют кручением?
2. Запишите закон Гука при сдвиге.
3. Как вычисляют крутящий момент в сечении, если известны внешние скручивающие моменты?
4. Запишите формулу крутящего момента, если известны мощность, передаваемая валом при вращательном движении, и число оборотов в минуту.
5. Какие напряжения возникают в поперечном сечении круглого стержня при кручении и как они направлены?
6. Какие гипотезы (допущения) используют для получения линейного закона распределения касательных напряжений в круглом поперечном сечении?
7. Запишите формулу для определения напряжений в произвольной точке круглого поперечного сечения при кручении.
8. Покажите вид напряженного состояния в опасной точке вала.
9. В чем состоит условие прочности?
10. Чему равен полярный момент инерции круглого сечения?
11. Чему равен момент сопротивления кольцевого сечения вала?
12. Чем объясняется, что стержень кольцевого сечения при кручении более экономичен, чем сплошной?
13. Как разрушаются при кручении пластичные (стальные) и хрупкие (чугунные) стержни? Чем объяснить характер их разрушения?

#### *Задание для самостоятельной работы*

1. Оформить практическую работу, доработать ее по необходимости после проверки преподавателем и подготовиться к собеседованию.

### **Занятие 4. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов (1 час)**

#### **План:**

1. Для заданных схем балок построить эпюры поперечных сил  $Q$  и изгибающих моментов  $M$ .
2. По схеме подобрать сечение – двутавр, в схеме 2 сечение – круг. Проверить прочность выбранного сечения. Допускаемое напряжение материала балки принять равным  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ .

*Литература:* [1, с. 95-114].

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Что такое прямой изгиб?
2. Что такое чистый и поперечный изгиб?
3. Какие внутренние усилия возникают в поперечных сечениях балки при поперечном изгибе?

4. Как вычисляется поперечная сила в поперечном сечении балки? Каково правило знаков поперечной силы?
5. Как вычисляется изгибающий момент в поперечном сечении балки? Каково правило знаков изгибающего момента?
6. В чем заключается проверка правильности эпюр поперечных сил и изгибающих моментов?
7. Запишите условие прочности при изгибе. Какие задачи можно решать по этому условию?

*Задание для самостоятельной работы*

1. Оформить практическую работу, доработать ее по необходимости после проверки преподавателем и подготовиться к собеседованию.

### **Занятие 5. Чистый изгиб (1 час)**

#### **План:**

1. Для стальной балки, испытывающей прямой изгиб, из расчета на прочность по наибольшим напряжениям определить размеры поперечного сечения для каждого из заданных типов: а) прямоугольное сечение с соотношением сторон  $h/b = 2$ ; б) круглое сечение; в) двутавровое либо составленное из двух швеллеров или двух двутавров сечение. Сравнить веса рассчитанных балок. Вычислить наибольшие касательные напряжения в балках каждого из вариантов поперечных сечений.

*Литература:* [2, с. 109-141], [3, с. 103-108].

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Какой изгиб называется прямым, чистым, поперечным?
2. Что такое нейтральный слой и нейтральная линия, как они расположены в балке и в ее поперечном сечении при прямом изгибе?
3. Какие напряжения возникают в поперечных сечениях балки, как они определяются и как распределены по сечению?
4. Как определяется осевой момент сопротивления поперечного сечения балки?
5. Как записываются условия прочности по наибольшим напряжениям при изгибе балки?
6. Какова рациональная форма поперечного сечения балки из пластичного материала?

*Задание для самостоятельной работы*

1. Оформить практическую работу, доработать ее по необходимости после проверки преподавателем и подготовиться к собеседованию.

### **Занятие 6. Перемещение в брус (1 час)**

#### **План:**

1. Для схем стальных балок I, II и плоской рамы III построить эпюры нормальных, поперечных сил и изгибающих моментов. Для стальной балки схема II требуется определить методом начальных параметров угол поворота и линейное перемещение сечения границы второго и третьего участков балки. Для балки (схема I) требуется определить методом Мора (формула Симпсона или правило Верещагина) угол поворота и линейное перемещение консольного сечения балки, а для рамы (схема III) – линейное перемещение сечения приложения сосредоточенной силы, по направлению этой силы, и угол поворота сечения, находящегося над шарнирно подвижной опорой. Принять:  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа. Поперечные сечения стержней: балки схема I и II – двутавровое; рама схема III – трубчатое с внешним диаметром  $D$  и внутренним –  $d$ .

*Литература:* [2, с. 191-223], [3, с. 344-372]

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. В каком порядке производится определение перемещений с помощью интеграла Мора?
2. В каких случаях по направлению искомого перемещения в стержневой системе прикладывается единичная сосредоточенная сила, а в каких – сосредоточенный момент?
3. Интегрирование с использованием формулы перемещений ведется по участкам всего сооружения (упругой системы) или только тому участку, которому принадлежит точка искомого перемещения?
4. Что означает знак плюс или минус вычисленного значения интеграла Мора?
5. При определении перемещений в упругой системе все ли члены (слагаемые) формулы Мора используются? Если нет, то, какими из них можно пренебречь для случаев плоской и пространственной рам?
6. Что представляют собой уравнения метода начальных параметров?
7. Как определяются значения начальных параметров?
8. В каком порядке производится определение углов поворота и прогибов сечений балок методом начальных параметров?

*Задание для самостоятельной работы*

1. Оформить практическую работу, доработать ее по необходимости после проверки преподавателем и подготовиться к собеседованию.

## **Занятие 7. Фермы и рамы (1 час)**

### **План:**

1. Определить размеры поперечных сечений стержней металлодеревянной фермы. Стержни 1 и 2 принять из древесины с равным квадратным поперечным сечением; стержень 3 принять стальной, из двух равнополочных уголков. Расчетные сопротивления: для стали  $R = 210$  МПа, для древесины  $R_c = 13$  МПа.
2. Для заданной схемы статически определимой рамы построить эпюры внутренних силовых факторов ( $N_z$ ,  $Q_y$ ,  $M_x$ ).

Условия задания:

Рама загружена силами ( $P_1$  и  $P_2$ ), моментом ( $M$ ) и равномерно распределенной нагрузкой ( $q$ ).

Последовательность выполнения задания:

1. Вычертить расчетную схему рамы с заданными нагрузками. Проставить числовые значения размеров и нагрузок. Изобразить реакции и вычислить их величину.
2. Построить эпюры  $N_z$ ,  $Q_y$ ,  $M_x$  на каждом участке. Эпюры строят на контуре рамы. Контур рамы для построения каждой эпюры следует чертить заново в том же масштабе, что и расчетную схему. Контур рамы выделяют утолщенной линией. На всех эпюрах проставить числовые значения  $N_z$ ,  $Q_y$ ,  $M_x$  с указанием размерности.

*Литература:* [2, с. 275-328], [4, с. 324-325].

### *Вопросы для самоконтроля*

1. Как устанавливается правило знаков при построении эпюр изгибающих моментов в рамах?
2. Сколько внутренних усилий действует в стержнях рамы?
3. Как проверяется равновесие узлов рамы?
4. Дайте классификацию ферм, типов соединительной решетки. Назовите основные параметры фермы.
5. Назовите способы определения усилий в стержнях ферм от неподвижной сосредоточенной нагрузки
6. Перечислите признаки нулевых стержней.
7. Каковы преимущества и недостатки ферм по сравнению с балкой?

8. Постройте линии влияния для отдельных групп стержней фермы – верхнего и нижнего пояса, раскоса и стойки.

9. Как определить усилия в стержне фермы по линии влияния от сосредоточенной и распределённой нагрузки (максимальное и минимальное)?

*Задание для самостоятельной работы*

1. Оформить практическую работу, доработать ее по необходимости после проверки преподавателем и подготовиться к собеседованию.

### 3. Примерные темы лабораторных работ

№ п/п	Лабораторная работа	Номер темы	Кол-во часов
1.	Определение внутренних усилий, напряжений и перемещений в поперечных сечениях бруса	3	1
2.	Определение модуля продольной упругости и коэффициента Пуассона	4	1
3.	Определение линейных и угловых перемещений поперечных сечений статически определимой балки	7	2
4.	Определение нормальных и касательных напряжений в поперечных сечениях при поперечном изгибе	10	2
5.	Опытная проверка теории косого изгиба	11	2
	<b>Итого:</b>		<b>8</b>

**Приложение 2 к РПД «Сопротивление материалов»**  
**21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства**  
**специализация №1 «Физические процессы горного производства»**  
**Форма обучения – очная**  
**Год набора - 2019**

**ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ**  
**АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**1. Общие сведения**

1.	Кафедра	Горного дела, наук о Земле и природообустройства
2.	Специальность	21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства
3.	Специализация	№1 «Физические процессы горного производства»
4.	Дисциплина (модуль)	Сопротивление материалов
5.	Форма обучения	очная
6.	Год набора	2019

**2. Перечень компетенций**

—	способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу (ОК-1);
—	готовностью с естественнонаучных позиций оценить строение, химический и минеральный состав горных пород, слагающих земную кору, морфологические особенности и генетические типы месторождений полезных ископаемых при решении задач по рациональному и комплексному освоению георесурсного потенциала недр на суше, на шельфе морей и на акваториях мирового океана (ОПК-4).



### 3. Критерии и показатели оценивания компетенций на различных этапах их формирования

Этап формирования компетенции (разделы, темы дисциплины)	Формируемая компетенция	Критерии и показатели оценивания компетенций			Формы контроля сформированности компетенций
		Знать:	Уметь:	Владеть:	
1. Задачи и методы сопротивления материалов.	ОК-1, ОПК-4	Основные уравнения и методы решения задач сопротивления материалов	Проводить расчеты деталей и узлов машин и аппаратов аналитически и с помощью вычислительных методов	Значение дисциплины в свете решения задач, стоящих перед народным хозяйством, т.е. необходимостью повышения эффективности, эксплуатационной надежности и безопасности конструкций и снижение их трудоемкости.	Тест
2. Растяжение и сжатие.	ОК-1, ОПК-4	Физико-механические характеристики материалов и методы их определения	Определять характеристики прочности и пластичности хрупких и пластичных материалов	Навыками расчета элементов конструкций на прочность и построений эпюр внутренних силовых факторов, напряжений и перемещений при растяжении-сжатии	Устный опрос. Отчет по практической работе
3. Напряженное и деформированное состояние при растяжении и сжатии.	ОК-1, ОПК-4	Основные понятия сопротивления материалов	Создавать простейшие модели для исследования напряжений и деформаций.	Навыками расчета элементов конструкций на динамическую прочность и определения перемещений при ударе	Устный опрос. Отчет по лабораторной работе
4. Основные механические характеристики материалов.	ОК-1, ОПК-4	физико-механические характеристики материалов и методы их определения	Исследовать полученные экспериментальные результаты и сравнивать их с теоретическими.	Навыками расчета элементов конструкций на устойчивость	Отчет по лабораторной работе
5. Сдвиг	ОК-1, ОПК-4	Смятие. Расчеты на прочность. Потенциальную энергию деформации	Исследовать полученные экспериментальные результаты и сравнивать их с теоретическими.	Общим подходом к оценке предельного состояния	Устный опрос. Отчет по практической работе
6. Кручение	ОК-1, ОПК-4	Определение напряжений и деформаций. Расчеты на прочность и жесткость.	Исследовать полученные экспериментальные результаты и сравнивать их с теоретическими.	Навыками расчета элементов конструкций на прочность и построения эпюр внутренних силовых факторов, напряжений и углов закручивания при кручении	Устный опрос. Отчет по практической работе

Этап формирования компетенции (разделы, темы дисциплины)	Формируемая компетенция	Критерии и показатели оценивания компетенций			Формы контроля сформированности компетенций
		Знать:	Уметь:	Владеть:	
7. Геометрические характеристики поперечных сечений.	ОК-1, ОПК-4	Геометрические характеристики поперечных сечений	Исследовать полученные экспериментальные результаты и сравнивать их с теоретическими.	Методами определения геометрических характеристик поперечных сечений (составных)	Устный опрос. Отчет по лабораторной работе
8. Изгиб.	ОК-1, ОПК-4	Условие прочности при изгибе	Определять величины максимального прогиба и углов поворота сечений балки экспериментально и теоретически	Навыками расчета элементов конструкций на прочность и построения эпюр внутренних силовых факторов и напряжений при изгибе	Устный опрос. Отчет по практической работе
9. Чистый изгиб.	ОК-1, ОПК-4	Потенциальную энергию деформаций	Определять напряжения при чистом изгибе. Проводить расчеты на прочность	Расчетами на прочность	Устный опрос. Отчет по практической работе
10. Поперечный изгиб.	ОК-1, ОПК-4	Рациональные сечения при продольном изгибе. Понятие о продольно-поперечном изгибе	Исследовать и решать основные задачи сопротивления материалов	Определением нормальных и касательных напряжений в поперечных сечениях	Отчет по лабораторной работе
11. Косой изгиб.	ОК-1, ОПК-4	Условие прочности.	Обрабатывать результаты инженерного эксперимента	Определением напряжений и прогибов .	Отчет по лабораторной работе
12. Перемещения в брус.	ОК-1, ОПК-4	Усилия, напряжения и деформации в брус. Положение нейтральной линии в сечениях различной конфигурации	Исследовать полученные экспериментальные результаты и сравнивать их с теоретическими.	Грамотным составлением расчетных схем, определением теоретических и экспериментальных перемещений в объемных элементах конструкций	Устный опрос. Отчет по практической работе
13. Фермы и рамы.	ОК-1, ОПК-4	Влияние конструктивно-технологических факторов на усталостную прочность	Определять внутренние силовые факторы, контролировать правильность полученных результатов	Навыками выполнения расчетов, пользуясь справочной литературой и стандартами.	Устный опрос. Отчет по практической работе

Этап формирования компетенции (разделы, темы дисциплины)	Формируемая компетенция	Критерии и показатели оценивания компетенций			Формы контроля сформированности компетенций
		Знать:	Уметь:	Владеть:	
14. Метод сил .	ОК-1, ОПК-4	Основные расчетные формулы и способы их получения	Раскрыть статическую неопределимость стержневых систем методом сил	Навыками выбора основной системы метода сил	Тест
15. Канонические уравнения.	ОК-1, ОПК-4	Общий подход к расчету статически неопределимых стержневых систем.	Рассчитывать статически неопределимые системы	Методикой расчета статически неопределимых систем	Тест

#### 4. Критерии и шкалы оценивания

##### 4.1. Устный опрос

Процент правильных ответов	До 60	60-80	81-100
Количество баллов	0	1	2

##### 4.2. Тест

Процент правильных ответов	До 60	60-80	81-100
Количество баллов	0	1	2

##### 4.3. Отчет по практической работе

3 балла – студент решил все рекомендованные задачи, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

2 балла – студент решил не менее 85% рекомендованных задач, правильно изложил все варианты решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

1 балл – студент решил не менее 65% рекомендованных задач, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

0 баллов – студент выполнил менее 50% задания, и/или неверно указал варианты решения.

##### 4.4. Отчет по лабораторной работе

3 балла – студент решил все рекомендованные задачи, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

2 балла – студент решил не менее 85% рекомендованных задач, правильно изложил все варианты решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

1 балл – студент решил не менее 65% рекомендованных задач, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

0 баллов – студент выполнил менее 50% задания, и/или неверно указал варианты решения.

#### 5. Типовые контрольные задания и методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

##### 5.1. Типовые вопросы к устному опросу

###### 1. Метод допускаемых напряжений.

**Ответ:** Этот метод остается пока основным при расчете узлов и деталей машиностроительных конструкций. Основой метода допускаемых напряжений является предположение, что критерием надежности конструкции будет выполнение следующего условия прочности:  $\sigma_{\max} \leq [\sigma]$ , где  $\sigma_{\max}$  - наибольшее напряжение, возникающее в одной из точек опасного сечения и определяемое расчетом;  $[\sigma]$  - допускаемое (предельное) для данного материала напряжение, полученное на основании экспериментальных исследований. Допускаемое напряжение определяется по формуле:  $[\sigma] = \frac{\sigma_0}{n}$ , где  $\sigma_0$  - опасное напряжение;  $n$  - коэффициент запаса прочности. Для пластичных материалов за

опасное напряжение принимается предел текучести  $\sigma_s$ ; для хрупких материалов - временное сопротивление (предел прочности).

## 2. Метод разрушающих нагрузок.

**Ответ:** Критерий прочности, принятый в методе допускаемых напряжений, а именно, напряжения в точке, не всегда и не полностью характеризует условия наступления разрушения конструкции. В ряде случаев за такой критерий целесообразнее принимать предельную нагрузку, которую может выдержать конструкция, не разрушаясь и существенно не изменяя форму. При этом условие прочности, состоящее в том, что предельная или разрушающая нагрузка не должна превышать допускаемую, можно представить в виде:

$$F_{\max} \leq [F] = \frac{F_{\text{пред}}}{n},$$

где  $n$  – коэффициент запаса прочности, принимаемый таким же, как и в методе допускаемых напряжений.

## 3. Статически неопределимые задачи

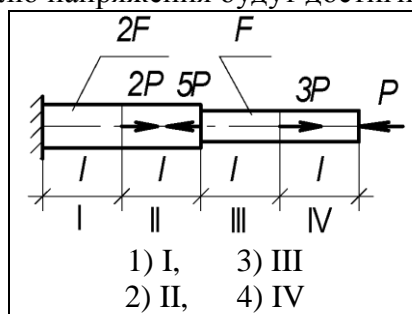
**Ответ:** Брусья и шарнирно-стержневые системы, в которых внутренние усилия и реакции опор от заданной нагрузки можно определить с помощью лишь одних уравнений равновесия (уравнений статики), называются статически определимыми.

В отличие от них статически неопределимыми называются брусья и системы, внутренние усилия или реакции опор в которых нельзя определить с помощью одних лишь уравнений равновесия. Поэтому при их расчете необходимо составлять дополнительные уравнения - уравнения совместности деформаций или перемещений сечений, учитывающих характер деформации системы (геометрическая сторона задачи). Число дополнительных уравнений, необходимых для расчета системы, характеризует степень ее статической неопределимости. Всегда можно составить столько дополнительных уравнений, сколько не хватает уравнений статики для решения задачи.

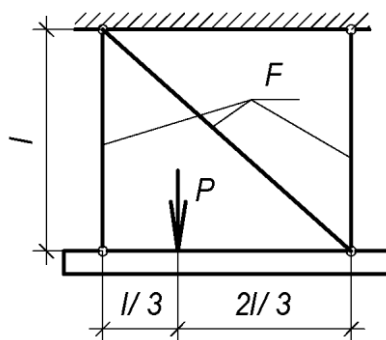
Усилия в элементах статически определимых систем возникают только от действия внешней нагрузки (включая собственный вес конструкций). В элементах статически неопределимых систем усилия могут возникать и при отсутствии внешней нагрузки – в результате, например, изменения температуры, смещения опорных связей, а также при монтаже из-за неточности изготовления отдельных элементов конструкции.

## 5.2. Типовое тестовое задание

1. Наибольшие по модулю напряжения будут достигнуты на участке

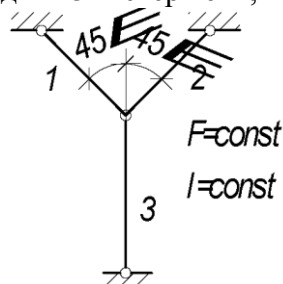


2.  $P = 30$  кН,  $F = 5$  см<sup>2</sup>,  $l = 0,5$  м. На какую величину удлинится левый стержень (мм)?



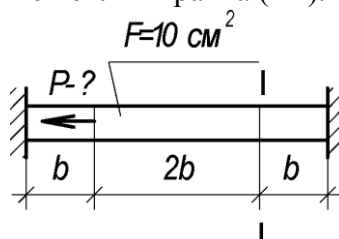
- 1) 0.1,      2) 0.2,      3) 0.3,      4) 0.5.

3. Если при нагреве 1-го и 2-го стержней на  $\Delta T_1$  градусов в системе возникают усилия, то насколько необходимо охладить 3-й стержень, чтобы эти усилия исчезли?



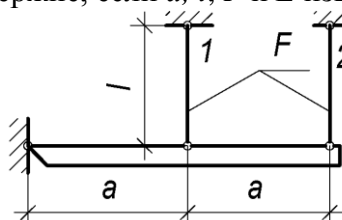
- 1)  $\Delta T_1$ ,      2)  $\sqrt{2} \Delta T_1$ ,      3)  $2 \Delta T_1$ ,      4)  $3 \Delta T_1$ .

4. Показание тензодатчика в сечении I-I равно  $\varepsilon = 1.5 \cdot 10^{-4}$ ,  $F = 10 \text{ см}^2$ ,  $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ МПа}$ . Тогда величина внешней силы  $P$  равна (кН).



- 1) 60,      2) 80,      3) 100,      4) 120.

5. 2-й стержень имеет длину больше расчетной на величину  $\delta$ . Определить монтажные напряжения в первом стержне, если  $a$ ,  $l$ ,  $F$  и  $E$  известны.



- 1)  $(0,18EF)/l$ ,      2)  $(0,28EF)/l$ ,  
3)  $(0,58EF)/l$ ,      4)  $(0,58EF)/l$

Ключ к правильным ответам тестовых заданий: 1-3; 2-1; 3-2; 4-4; 5-2.

### 5.3. Типовые примеры практических работ

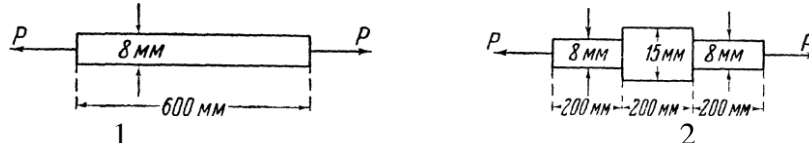
**Пример 1.** Вычислить удельную работу упругой деформации при растяжении стали, имеющей предел упругости  $\sigma_y = 2500 \text{ кгс/см}^2$  и модуль упругости  $E = 2 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2$ .

**Решение.** Удельную работу упругой деформации определяем по формуле:  $T_{уд} = \frac{\sigma^2}{2E}$ .

Тогда

$$T_{уд.упр} = \frac{\sigma^2}{2E} = \frac{2500^2}{2 \cdot 2 \cdot 10^6} = 1.56 \frac{\text{кгс} \cdot \text{см}}{\text{см}^3}.$$

**Пример 2.** Сравнить величины работы деформации двух стальных стержней круглого сечения (рис.), если наибольшие растягивающие напряжения в обоих стержнях одинаковы и равны  $\sigma = 1500 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$ ,  $E = 2.2 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2$



**Решение.** Так как минимальные сечения и наибольшие напряжения обоих стержней одинаковы, то должны быть одинаковы и растягивающие силы. Имеем:

$$P = \sigma \cdot S = 1500 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0.8^2 = 754 \text{ кг}$$

Определяем работу деформации первого стержня:

$$T_1 = \frac{P^2 l}{2ES} = \frac{754^2 \cdot 60}{2 \cdot 2.2 \cdot 10^6 \cdot (\pi/4) \cdot 0.8^2} = 15.4 \frac{\text{кгс} \cdot \text{см}}{\text{см}^3}.$$

Работа деформации левой и правой частей второго стержня:

$$T_2' = \frac{2}{3} T_1 = \frac{2}{3} \cdot 15.4 = 10.27 \frac{\text{кгс} \cdot \text{см}}{\text{см}^3}.$$

Работа деформации средней части второго стержня:

$$T_2'' = \frac{P^2 l}{2ES} = \frac{754^2 \cdot 20}{2 \cdot 2.2 \cdot 10^6 \cdot (\pi/4) \cdot 1.5^2} = 1.46 \frac{\text{кгс} \cdot \text{см}}{\text{см}^3}.$$

Работа деформации второго стержня:

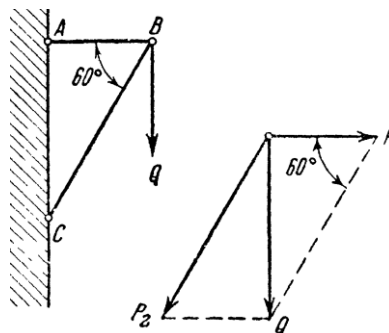
$$T_2 = T_2' + T_2'' = 11.73 \frac{\text{кгс} \cdot \text{см}}{\text{см}^3}.$$

Следовательно,

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{15.4}{11.73} \approx 1.4.$$

**Вывод:** в стержне постоянной толщины, имеющим ту же длину и то же максимальное напряжение, что и ступенчатый стержень, запасается в потенциальной форме работы в 1.4 раза больше, чем в ступенчатом стержне. Это положительное свойство, особенно при ударной нагрузке.

**Пример 3.** На чугунном кронштейне ABC (рис.) в шарнире подвешен груз  $Q = 5 \text{ т}$ . Определить, какие должны быть размеры площадей поперечного сечения в тяге AB и подкосе BC, если допускаемое напряжение чугуна на растяжение  $2942 \text{ Н/см}^2$ , а допускаемое напряжение на сжатие  $8826 \text{ Н/см}^2$ .



**Решение.** Раскладываем силу  $Q$  на две составляющие по направлениям тяги AB и подкоса BC.

Сила, растягивающая тягу,

$$P_1 = \frac{Q \cdot g}{\text{tg } 60^\circ} = \frac{5 \cdot 10^3 \cdot 10}{\text{tg } 60^\circ} = 28868 \text{ Н}.$$

Сила, сжимающая подкос,

$$P_2 = \frac{Q \cdot g}{\sin 60^\circ} = \frac{5 \cdot 10^3 \cdot 10}{\sin 60^\circ} = 57737 \text{ Н.}$$

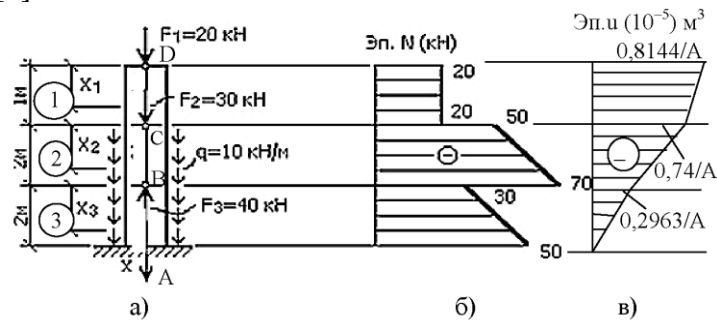
Необходимая площадь сечения тяги

$$S_1 \geq \frac{28868}{2942} = 9.8 \text{ см}^2.$$

Необходимая площадь сечения подкоса

$$S_2 \geq \frac{57737}{8826} = 6.5 \text{ см}^2.$$

**Пример 4.** Построить эпюру  $N$  для бруса, изображенного на рис. и подобрать площадь сечения  $A$  и размер сторон квадратного сечения из условия жесткости при:  $E = 0.27 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ,  $[u] = 2 \text{ мм} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .



Решение

1. Нет необходимости определять реакцию заделки, так как один конец бруса свободный.

2. Разбиваем брус на грузовые участки 1, 2, 3.

3. В пределах каждого грузового участка проводим сечения на расстоянии  $x$ ; от начала участка, т.е. используем местную систему координат.

4. Используя рабочее правило и принятое правило знаков, в каждом сечении записываем функцию продольной силы  $N(x)$  (в таком случае рекомендуется рукой или бумагой закрывать отбрасываемую часть бруса, чтобы не делать дополнительных рисунков). При этом рассматриваем свободную часть бруса.

$$N_1(x_1) = -F_1 = -20 \text{ кН (const)} \quad 0 \leq x_1 \leq 1 \text{ м.}$$

$$N_2(x_2) = -F_1 - F_2 - q \cdot x_2 = -20 - 30 - 10 \cdot x_2 = -50 - 10 \cdot x_2, \quad 0 \leq x_2 \leq 2 \text{ м.}$$

$$\text{При } x_2 = 0 \text{ м, } N_2(0) = -50 \text{ кН.}$$

$$\text{При } x_2 = 2 \text{ м, } N_2(2) = -70 \text{ кН;}$$

$$N_3(x) = -F_1 - F_2 - q \cdot (2 + x_3) + F_3 = -10 - 10 \cdot (2 + x_3) = -30 - 10x_3; \quad 0 \leq x_3 \leq 2 \text{ м;}$$

$$\text{При } x_3 = 0 \text{ м, } N_3(0) = -30 \text{ кН;}$$

$$\text{При } x_3 = 2 \text{ м, } N_3(2) = -50 \text{ кН.}$$

5. По вычисленным результатам строим эпюру  $N$  (рис. б). Анализ построенной эпюры  $N$  позволяет выделить следующие особенности:

— в сечении, где приложена сосредоточенная сила  $F$ , параллельная оси бруса, имеется скачок, равный этой силе;

— на грузовых участках, где действуют равномерно распределенные нагрузки интенсивностью  $q$ , на эпюре  $N$  имеются наклонные прямые, тангенсы углов между этими прямыми и осью бруса равны интенсивности распределенной по длине нагрузки  $q$ ;



— на тех грузовых участках, где отсутствует распределенная нагрузка, эпюра  $N$  постоянна.

6. Определим перемещения характерных сечений и построим эпюру перемещений при  $A = \text{const}$ :

$u_A = 0$  (так как здесь защемление, препятствующее вертикальным перемещениям).

$$u_B = \Delta \ell_3 = \int_0^{\ell_3} \frac{N_3(x) \cdot dx}{E \cdot A} = \int_0^2 \frac{(-30 - 10x_3) \cdot dx}{E \cdot A} =$$

$$= \frac{-30x - 10 \frac{x^2}{2}}{E \cdot A} \Big|_0^2 = \frac{-30 \cdot 2 - 10 \frac{2^2}{2}}{0,27 \cdot 10^8 \text{ кПа} \cdot A} = \frac{-0,2963 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3}{A};$$

$$u_C = \Delta \ell_3 + \Delta \ell_2;$$

$$\Delta \ell_2 = \int_0^{\ell_2} \frac{N_2(x) \cdot dx}{E \cdot A} = \int_0^2 \frac{(-50 - 10x_2) dx}{E \cdot A} = \frac{(-50x - 10 \frac{x^2}{2})}{E \cdot A} \Big|_0^2 =$$

$$= \frac{(-50 \cdot 2 - 10 \cdot \frac{2^2}{2})}{0,27 \cdot 10^8 \cdot A} = \frac{-0,444 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3}{A};$$

$$u_C = \frac{-0,2963 \cdot 10^{-5}}{A} + \frac{-0,444 \cdot 10^{-5}}{A} = \frac{-0,7403 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3}{A};$$

$$u_D = \Delta \ell_3 + \Delta \ell_2 + \Delta \ell_1;$$

$$\Delta \ell_1 = \frac{N_1 \cdot \ell_1}{E \cdot A} = \frac{-20 \text{ кН} \cdot 1 \text{ м}}{0,27 \cdot 10^8 \text{ кПа} \cdot A} = \frac{-0,0741 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3}{A};$$

$$u_D = \frac{-0,7403 \cdot 10^{-5}}{A} + \frac{-0,0741 \cdot 10^{-5}}{A} = \frac{-0,8144 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3}{A}.$$

Используя полученные результаты, строим эпюру перемещений сечений (см. рис. 3.3в), из которой видим, что

$$|u|_{\max} = \frac{0,8144 \cdot 10^{-5}}{A}. \text{ Используя равенство } |u|_{\max} = [u], \text{ получаем}$$

$$\frac{0,8144 \cdot 10^{-5}}{A} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

$$\text{Отсюда } A = \frac{0,8144 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot 10^{-3}} = 0,4072 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2 \approx 0,41 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2.$$

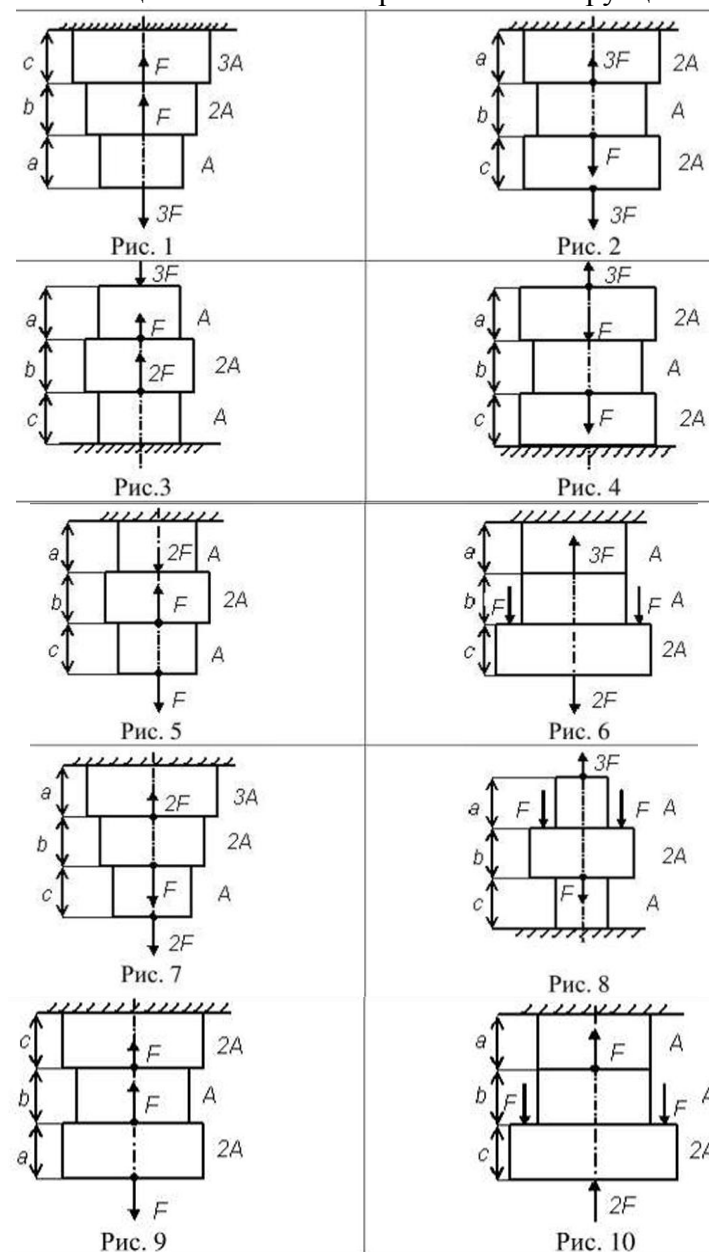
При  $A = a^2 = 0,41 \text{ м}^2$ , сторона квадратного поперечного сечения будет равна  $a = \sqrt{0,41 \cdot 10^{-2}} = 0,064 \text{ м} = 6,4 \text{ см}.$

#### 5.4. Пример лабораторной работы

##### Растяжение и сжатие. Определение внутренних усилий, напряжений и перемещений в поперечных сечениях бруса

Ступенчатый стержень находится под действием осевых сил. Построить эпюры продольных сил  $N$ , нормальных напряжений  $\sigma$  и перемещений  $\lambda$ . Стержень изготовлен из стали (модуль упругости  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ ). Варианты заданий выдает преподаватель.

Таблица 1.1 –Схемы стержневых конструкции



### Вопросы для самопроверки

1. В чем заключаются деформации растяжения и сжатия?
2. В чем сущность метода сечений?
3. Что называется продольной силой в сечении стержня?
4. Что называется эпюрами продольных сил и нормальных напряжений? Как они строятся?
5. Как записывается и как формулируется закон Гука при растяжении (сжатии)?
6. Что такое коэффициент Пуассона?
7. Формула Гука, ее применение.

### 5.5. Вопросы к экзамену

1. Задачи и методы сопротивления материалов
2. Реальный объект и расчетная схема.
3. Силы внешние и внутренние.
4. Основные виды нагружения бруса.
5. Метод сечений.

6. Перемещения и деформации.
7. Внутренние силы и напряжения, возникающие в поперечных сечениях бруса.
8. Удлинение стержня. Закон Гука.
9. Потенциальная энергия деформации.
10. Напряженное и деформированное состояние при растяжении и сжатии.
11. Основные механические характеристики. Наклеп и нагартовка.
12. Коэффициент запаса. Допускаемое напряжение.
13. Чистый сдвиг. Удельная потенциальная энергия при сдвиге.
14. Кручение бруса с круглым поперечным сечением.
15. Кручение бруса с некруглым сечением.
16. Кручение тонкостенного бруса.
17. Статические моменты сечения.
18. Моменты инерции сечения.
19. Главные моменты и главные оси инерции.
20. Виды изгиба.
21. Внутренние силовые факторы при изгибе.
22. Чистый изгиб.
23. Энергия упругих деформаций.
24. Поперечный изгиб.
25. Косой изгиб.
26. Теорема Кастилиано.
27. Способ Верещагина.
28. Раскрытие статической неопределимости стержневых систем.
29. Плоские и пространственные системы.
30. Метод сил.
31. Канонические уравнения метода сил.
32. Использование свойств симметрии при раскрытии статической неопределимости.

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

## ОСНОВНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА 21.05.05 Физические процессы горного или нефтегазового производства специализация №1 «Физические процессы горного производства»

(код, направление, профиль)

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

Шифр дисциплины по РУП			Б1.Б.28				
Дисциплина		Сопротивление материалов					
Курс	3	семестр	6				
Кафедра	горного дела, наук о Земле и природообустройства						
Ф.И.О. преподавателя, звание, должность			Бекетова Елена Борисовна, к.т.н., доцент				
кафедры горного дела, наук о Земле и природообустройства							
Общ. трудоемкость <sub>час/ЗЕТ</sub>		144/4	Кол-во семестров	1	Форма контроля	Экзамен	
ЛК <sub>общ./тек. сем.</sub>	32/32	ПР/СМ <sub>общ./тек. сем.</sub>	8/8	ЛБ <sub>общ./тек. сем.</sub>	8/8	СРС <sub>общ./тек. сем.</sub>	60/60

#### Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

- способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу (ОК-1);
- готовностью с естественно-научных позиций оценить строение, химический и минеральный состав горных пород, слагающих земную кору, морфологические особенности и генетические типы месторождений полезных ископаемых при решении задач по рациональному и комплексному освоению георесурсного потенциала недр на суше, на шельфе морей и на акваториях мирового океана (ОПК-4).

Код формируемой компетенции	Содержание задания	Количество мероприятий	Максимальное количество баллов	Срок предоставления
<b>Вводный блок</b>				
Не предусмотрен				
<b>Основной блок</b>				
ОК-1, ОПК-4	Устный опрос	9	18	В течение семестра
ОК-1, ОПК-4	Отчет по практической работе	7	21	В течение семестра
ОК-1, ОПК-4	Отчет по лабораторной работе	5	15	В течение семестра
ОК-1, ОПК-4	Тест	3	6	В течение семестра
<b>Всего:</b>			<b>60</b>	
ОК-1, ОПК-4	<b>Экзамен</b>		1 вопрос - 20 2 вопрос - 20	По расписанию
<b>Всего:</b>			<b>40</b>	
<b>Итого:</b>			<b>100</b>	
ОК-1, ОПК-4	Подготовка опорного конспекта		10	По согласованию с преподавателем
<b>Всего баллов по дополнительному блоку</b>			<b>10</b>	

Шкала оценивая в рамках балльно-рейтинговой системы МАГУ: «2» - 60 баллов и менее, «3» - 61-80 баллов, «4» - 81-90 баллов, «5» - 91-100 баллов.