



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ДВАЖДЫ ГЕРОЯ
СОВЕТСКОГО СОЮЗА, ЛЕТЧИКА-КОСМОНАВТА А.А. ЛЕОНОВА»

УТВЕРЖДАЮ
И.о. проректора
А.В. Троицкий

**ИНСТИТУТ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ
И ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

КАФЕДРА ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
ДИСЦИПЛИНЫ
«СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ»**

Направление подготовки: **15.03.05 «Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств»**

Направленность (профиль): **Технология машиностроения**

Уровень высшего образования: **Бакалавриат**

Форма обучения: **очная, заочная**

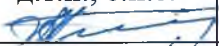

Королёв
2023

Автор: д.т.н., профессор Пашковский И.Э. Рабочая программа дисциплины: «Сопротивление материалов». – Королев МО: «Технологический университет», 2023

Рецензент: к.т.н., с.н.с. Привалов В.И.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки бакалавров 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» и Учебного плана, утвержденного Ученым советом Университета. Протокол № 9 от 11 апреля 2023 г.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры:

Заведующий кафедрой (ФИО, ученая степень, звание, подпись)	Мороз А.П. д.т.н., с.н.с. 	Мороз А.П. д.т.н., с.н.с.	Мороз А.П. д.т.н., с.н.с.	Мороз А.П. д.т.н., с.н.с.
Год утверждения (переутверждения)	2023 	2024	2025	2026
Номер и дата протокола заседания кафедры	№ 9 от 28.03.2023 г.			

Рабочая программа согласована:

Руководитель ОПОП ВО  д.т.н., профессор Пашковский И.Э.

Рабочая программа рекомендована на заседании УМС:

Год утверждения (переутверждения)	2023	2024	2025	2026
Номер и дата протокола заседания УМС	№ 5 от 11.04.2023 г.			

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Целью изучения дисциплины является: формирование у студентов знаний в области сопротивления материалов, обеспечение базы инженерной подготовки, теоретическая и практическая подготовка в области механики деформируемого твёрдого тела, развитие инженерного мышления.

В процессе обучения студент приобретает и совершенствует следующие компетенции:

Общепрофессиональные компетенции:

ОПК-9. Способен участвовать в разработке проектов изделий машиностроения.

Профессиональные компетенции:

ПК-10. Способен проектировать простую технологическую оснастку для изготовления машиностроительных изделий.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением теоретических основ расчётов на прочность, жёсткость и устойчивость элементов конструкций; приобретением навыков проектирования и конструирования, обеспечивающих рациональный выбор материалов, форм, размеров и способов изготовления типовых изделий машиностроения; ознакомлением с современными методиками расчёта на прочность, ресурс и безопасность сложных технических систем.

Основными **задачами** дисциплины являются:

- овладение теоретическими основами и практическими методами расчётов на прочность, жёсткость и устойчивость элементов конструкций и машин;
- овладение основными законами механики деформируемого твёрдого тела, методами и приёмами решения конкретных прочностных задач при различных видах деформации;
- формирование навыков механических испытаний образцов различных материалов и деталей машин;
- развитие способности использовать расчёты на прочность и жёсткость при проектировании машиностроительных изделий заданного качества при наименьших затратах материала.

После завершения освоения данной дисциплины студент должен:

Трудовые действия:

- Формулирует содержание этапов проектирования изделий машиностроения, разрабатывает конструкторско-технологическую документацию;
- Проектирует простые станочные приспособления для изготовления машиностроительных деталей;
- Оформляет конструкторскую документацию на разработанную оснастку для изготовления машиностроительных изделий.

Необходимые умения:

- Умеет устанавливать исходные данные для проектирования изделий машиностроения, выполнять расчеты элементов изделий машиностроения;
- Умеет разрабатывать конструктивные схемы приспособлений для изготовления и сборки машиностроительных изделий;
- Умеет составлять расчетные силовые схемы установки заготовок приспособлений для изготовления деталей;
- Умеет использовать САД-системы для разработки и оформления КД на технологическую оснастку.

Необходимые знания:

- Знает действующую нормативно-техническую документацию и стандарты ЕСКД и ЕСТД;
- Знает нормативно-техническую и справочную литературу по проектированию технологической оснастки;
- Знает методику проектирования технологической оснастки для изготовления машиностроительных изделий.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Сопротивление материалов» относится к базовой части блока 1 основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Дисциплина реализуется кафедрой техники и технологии.

Изучение данной дисциплины базируется на ранее изученных дисциплинах: «Математический анализ», «Физика», «Теоретическая механика» и частично изученных компетенциях УК-2; ОПК-1,3,8,9; ПК-1.

Знания и компетенции, полученные при освоении дисциплины «Сопротивление материалов», являются базовыми для изучения последующих дисциплин: «Детали машин и основы конструирования», «Проектирование технологической оснастки» и выполнении выпускной квалификационной работы.

3. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины для студентов очной формы составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

Таблица 1

Виды занятий	Всего часов	Семестр 5	Семестр 6	Семестр 5	Семестр 8
ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ					
Общая трудоемкость	144	144			
Аудиторные занятия	64	64			
Лекции (Л)	32	32			
Практические занятия (ПЗ)	16	16			
Лабораторные работы (ЛР)	16	16			
Практическая подготовка	-	-			
Самостоятельная работа	80	80			
Курсовые работы (проекты)	-	-			
Расчетно-графические работы	-	-			
Контрольная работа, домашнее задание	+	+			
Текущий контроль знаний					
Вид итогового контроля	Экзамен	Экзамен			
ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ					
Общая трудоемкость	144		144		
Аудиторные занятия	20		20		
Лекции (Л)	8		8		
Практические занятия (ПЗ)	8		8		
Лабораторные работы (ЛР)	4		4		
Самостоятельная работа	124		124		
Курсовые работы (проекты)	-	-			
Расчетно-графические работы	-	-			
Контрольная работа, домашнее задание	+	+	+		
Вид итогового контроля	Экзамен		Экзамен		

4. Содержание дисциплины

4.1. Темы дисциплины и виды занятий

Таблица 2

Наименование тем	Лекции, час, очн/заоч	Практ. занятия час, очн/заоч	Лабораторн. занятия час, очн/заоч	Занятия в интеракт. форме, час очн/заоч	Практич еская подготов ка, час очн/заоч	Код компете нций
1. Введение.	2/0,5	1/-	-	-		ОПК-9 ПК-10
2. Растяжение и сжатие	2/0,5	1/-	2/0,5	1/1		ОПК-9 ПК-10
3. Основы теории напряженного и деформированного состояния	2/0,5	1/-	1/0,25	-/-		ОПК-9 ПК-10
4. Геометрические характеристики плоских сечений	2/0,5	1/-	1/0,25	-/-		ОПК-9 ПК-10
5. Сдвиг и кручение	4/1	2/1	2/0,5	1/1		ОПК-9 ПК-10
6. Изгиб	4/1	2/1	2/0,5	1/1		ОПК-9 ПК-10
7. Перемещения при изгибе	2/0,5	2/1	2/0,5	1/1		ОПК-9 ПК-10
8. Статически неопределимые системы	2/0,5	2/1	2/0,5			ОПК-9 ПК-10
9. Сложное сопротивление	2/0,5	1/1	1/0,25	1/1		ОПК-9 ПК-10
10. Устойчивость сжатых стержней	2/0,5	1/1	1/0,25	1/1		ОПК-9 ПК-10
11. Динамическое действие нагрузки	4/1	1/1	1/0,25	1/1		ОПК-9 ПК-10
12. Расчёт на прочность при циклически изменяющихся напряжениях	4/1	1/1	1/0,25	1/1		ОПК-9 ПК-10
Итого:	32/8	16/8	16/4-	8/8	-	

4.2. Содержание тем дисциплины

Тема 1. Введение. Задачи курса «Сопротивление материалов». Связь курса с общеинженерными и специальными дисциплинами. Внешние силы и их классификация. Расчетные схемы. Внутренние силы и методы их определения. Эпюры внутренних сил.

Основные гипотезы о деформируемом теле. Понятие напряженного деформированного состояния. Деформации линейные и угловые.

Тема 2. Растяжение и сжатие. Закон Гука. Расчет на прочность и жесткость стержней при растяжении – сжатии. Механические характеристики материалов. Модуль продольной упругости. Поперечная деформация. Коэффициент Пуассона.

Механические свойства материалов при сжатии. Диаграммы сжатия пластичных и хрупких материалов.

Действительные и допускаемые напряжения. Выбор допускаемых напряжений при расчете на прочность пластичных и хрупких материалов.

Коэффициент запаса прочности. Действительный запас прочности.

Расчет на допускаемые деформации при растяжении и сжатии.

Потенциальная энергия при растяжении и сжатии.

Тема 3. Основы теории напряженного и деформированного состояния. Плоское и объемное напряженное состояние. Деформации при объемном напряженном состоянии. Потенциальная энергия деформации. Понятие о главных площадках и главных напряжениях. Виды напряженного состояния.

Исследование плоского напряженного состояния. Закон парности касательных напряжений. Напряжения на наклонных площадках. Определение главных напряжений и главных площадок при плоском напряженном состоянии. Наибольшие касательные напряжения. Обобщенный закон Гука.

Тема 4. Геометрические характеристики плоских сечений. Статический момент плоской фигуры. Центр тяжести сечения. Осевой, центробежный и полярный моменты инерции для параллельных осей. Изменение осевых и центробежных моментов инерции при повороте координатных осей. Главные оси инерции. Главные моменты инерции. Вычисление моментов инерции сложных профилей.

Тема 5. Сдвиг и кручение. Сдвиг. Расчеты на срез. Напряжение при сдвиге. Закон Гука при сдвиге. Модуль сдвига. Срез. Основное расчетное уравнение при расчете на срез. Потенциальная энергия при сдвиге.

Кручение прямого бруса круглого поперечного сечения. Понятие о крутящем моменте и эпюры крутящих моментов. Напряжения в поперечном сечении. Угол закручивания. Основные расчетные уравнения на прочность и жесткость. Определение допускаемых напряжений. Потенциальная энергия деформации при кручении.

Тема 6. Изгиб. Расчет на прочность и жесткость стержней при изгибе. Виды изгибов. Внешние силы, вызывающие изгиб и виды нагрузок. Опоры и опорные реакции. Изгибающий момент и поперечная сила. Эпюры изгибающих моментов и поперечных сил. Дифференциальные зависимости между изгибающим моментом, поперечной силой и интенсивностью распределенной нагрузки.

Нормальные напряжения при изгибе. Зависимость между изгибающим моментом и кривизной оси бруса. Жесткость при изгибе.

Касательные напряжения при изгибе (формула Д. И. Журавского).

Главные напряжения при изгибе. Расчет на прочность при изгибе. Основные расчетные уравнения на прочность. Проверочные уравнения на прочность.

Тема 7. Перемещения при изгибе. Сложное сопротивление. Энергетические теоремы и их применение. Теорема Кастильяно. Теорема Лагранжа. Интеграл Мора и способ Верещагина по его вычислению. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки. Вывод обобщенного уравнения упругой линии балки. Физический смысл постоянных интегрирования.

Тема 8. Статически неопределимые системы. Статически неопределимые системы. Способы раскрытия статической неопределимости. Статически неопределимые задачи при изгибе, растяжении и кручении. Выбор основной системы. Уравнения совместности деформаций.

Тема 9. Сложное сопротивление. Общий случай действия сил на брус. Внутренние силовые факторы. Определение нормальных и касательных напряжений, перемещений.

Косой изгиб. Определение нормальных напряжений. Положение нейтральной линии. Опасные точки в сечении. Условие прочности. Определение прогиба. Внецентренное сжатие - частный и общий случай. Уравнение нейтральной линии. Эпюра напряжений. Ядро сечения. Совместное действие кручения и изгиба. Определение напряжений и условие прочности при изгибе с кручением.

Тема 10. Устойчивость сжатых стержней. Понятие о предельном состоянии. Понятие устойчивости и неустойчивости стержней. Задачи Эйлера. Устойчивость сжатых стержней. Понятие о критической нагрузке. Формула Эйлера для различных случаев опорных закреплений. Понятие о гибкости и приведенной длине стержня. Пределы применимости формулы Эйлера.

Понятие о потере устойчивости при напряжениях, превышающих предел пропорциональности. Формула Ясинского, пределы ее применимости. Полный график критических напряжений. Расчет на устойчивость по коэффициенту уменьшения основного допускаемого напряжения на сжатие. Выбор типа сечения и материала.

Тема 11. Динамическое действие нагрузки. Расчет на прочность при динамическом нагружении. Движение тела с постоянным ускорением. Динамический коэффициент. Внезапное приложение нагрузки. Ударные нагрузки. Продольный удар. Изгибающий удар.

Тема 12. Расчет на прочность при циклически изменяющихся напряжениях. Явление усталости материалов. Предел выносливости. Усталость и долговечность. Циклы переменных напряжений и их основные характеристики. Кривые выносливости.

Факторы, влияющие на предел выносливости детали: концентрация напряжений, масштабный фактор, состояние поверхности, число циклов нагружений. Влияние степени асимметрии цикла. Диаграмма предельных амплитуд.

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы по дисциплине

1. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины «Соппротивление материалов».
2. Рабочая тетрадь.
3. Практикум.

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Структура фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Соппротивление материалов» приведена в Приложении 1 к настоящей программе.

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература:

1. Соппротивление материалов: учебник / П.А. Павлов, Л.К. Паршин, Б.Е. Мельников, В.А. Шерстнев; под ред. Б.Е. Мельникова. - СПб: Лань, 2019. – 556 с. – ISBN 978-5-8114-4208-9. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»
- URL: <https://e.lanbook.com/book/116013>
2. Соппротивление материалов: в 2 ч. Ч. 2: учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Чеканин, В.В. Волков. – М.: КУРС; ИНФРА-М, 2018. – 192 с.
- URL: <http://znanium.com/catalog/product/933947>
3. Соппротивление материалов [Электронный ресурс]: учебник / П.А. Павлов [и др.]. – Электрон. дан. – СПб: Лань, 2017. – 556 с.
- URL: <https://e.lanbook.com/book/90853>

Дополнительная литература:

1. Атаров Н.М. Сопротивление материалов в примерах и задачах: учебное пособие / Н.М. Атаров. – М.: ИНФРА-М, 2020. – 407 с. (Высшее образование: Бакалавриат). – ISBN 978-5-16-003871-1. – Текст: электронный.
- URL: <https://znanium.com/catalog/product/1073557>
2. Евтушенко С.И. Сопротивление материалов: сборник задач с решениями: учебное пособие / С.И. Евтушенко, Т.А. Дукмасова, Н.А. Вильбицкая. – 2-е изд. – М.: РИОР; ИНФРА-М, 2020. – 344 с. (Высшее образование: Бакалавриат). – ISBN 978-5-369-01659-6. – Текст: электронный.
- URL: <https://znanium.com/catalog/product/1060847>
3. Кудрявцев Г.С. Сопротивление материалов. Интернет-тестирование базовых знаний. [Электронный ресурс]. – М.: Лань, 2013. – 98 с.
- URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=5247
4. Кузьмин, Л.Ю. Сопротивление материалов / Кузьмин Л.Ю., Сергиенко В.Н., Ломунов В.К. – М.: Лань, 2016. – ISBN 978-5-8114-2056-8.
- URL: <https://e.lanbook.com/book/90004>
5. Логвинов В.Б. Сопротивление материалов. Лабораторные работы: учебное пособие / В.Б. Логвинов, В.А. Волосухин, С.И. Евтушенко. – 4-е изд. – М.: РИОР; ИНФРА-М, 2019. – 212 с. (ВО: Бакалавриат). – ISBN 978-5-369-01528-5. - Текст: электронный.
- URL: <https://znanium.com/catalog/product/1023251>
6. Межецкий, Г.Д. Сопротивление материалов / Г.Д. Межецкий, Г.Г. Загребин, Н.Н. Решетник. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2016. – 432 с. – ISBN 978-5-394-02628-7.
- URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=453911>
7. Сидорин С.Г. Сопротивление материалов: теория, тестовые задания, примеры решения: учебное пособие / С.Г. Сидорин, Ф.С. Хайруллин. – М.: РИОР; ИНФРА-М, 2020. – 184 с. (Высшее образование). – ISBN 978-5-369-01694-7. – Текст: электронный.
- URL: <https://znanium.com/catalog/product/1047104>

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Интернет-ресурсы:

- | | |
|--|---|
| 1. Научная электронная библиотека eLIBRARY | http://www.elibrary.ru |
| 2. Университетская библиотека | http://www.biblioclub.ru |
| 3. Электронно-библиотечная система Znanium | http://znanium.ru |
| 4. Электронно-библиотечная система Лань | http://e.lanbook.com/ |

5. Национальный цифровой ресурс Руконт – межотраслевая электронная библиотек <http://www.rucont.ru/>
6. Электронный каталог библиотеки МГОТУ «Технологический университет» <http://unitech-mo.ru/library/resources/electronic-catalogue-fta>

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины приведены в Приложении 2.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень программного обеспечения: *MOffice, Excel, ANSYS, SolidWorks.*

Информационные справочные системы: не предусмотрены курсом дисциплины

Ресурсы информационно-образовательной среды МГОТУ.

Рабочая программа и методическое обеспечение по дисциплине «Сопротивление материалов».

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Лекционные занятия:

- аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран);
- комплект электронных презентаций/слайдов.

Лабораторные работы:

Виртуальная лаборатория сопротивления материалов (компьютерный класс). Программный комплекс включает 11 виртуальных лабораторных работ. Виртуальный лабораторный практикум реализован в виде комплекса кроссплатформенных графических приложений под операционную систему: Microsoft Windows, а также в виде веб-приложений на основе технологии HTML5, обеспечивающих возможность дистанционного выполнения лабораторных работ в веб-браузере. Графическая составляющая программного обеспечения использует программный интерфейс и компонентную базу OpenGL 2.0.

Программный комплекс включает отдельные имитационные лабораторные работы, выполненные в виде графических приложений для настольных компьютеров под управлением различных операционных систем, а также в виде веб-приложений, выполнение которых осуществляется в веб-браузере с поддержкой технологии Web GL. Графический интерфейс пользователя каждой виртуальной лабораторной работы включает минимальное количество элементов управления. При запуске приложения после загрузки данных на экране отображается главное меню лабораторной работы (рисунок 1).

ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Определение ударной вязкости материала

Цели: приобретение практических навыков по проведению испытаний и расчету параметров ударной вязкости материала. Для испытания используется маятниковый копер, конструкция которого обеспечивает ударное воздействие на образец и измерение угла отклонения маятника после удара, что позволяет рассчитать энергию, затраченную на деформирование и разрушение образца.

НАЧАТЬ ЭКСПЕРИМЕНТ

О ПРОГРАММЕ

ЗАВЕРШИТЬ ПРОГРАММУ



Лицензия: проставляется лицензия: Wavay (V.K.) Science Co. Ltd

Рисунок 1 – Главное меню виртуальной лабораторной работы

В основной части главного меню отображается внешний вид лабораторного стенда. В левой части меню приводится название лабораторного комплекса, название лабораторной работы, краткий перечень целей лабораторной работы, а также приводятся основные кнопки главного меню. Кнопка «НАЧАТЬ ЭКСПЕРИМЕНТ» предназначена для начала виртуальной лабораторной работы. Кнопка «О ПРОГРАММЕ» вызывает экран, содержащий основную информацию о разработчике программного продукта. Кнопка «ЗАВЕРШИТЬ ПРОГРАММУ» активна только в настольной версии приложения, и предназначена для вызова диалогового экрана завершения работы приложения. В веб-версии завершение работы приложения осуществляется закрытием соответствующей вкладки веб-браузера.

Практические занятия:

- компьютерный класс с проектором для интерактивного обучения и проведения лекций в форме слайд-презентаций, оборудованный современными лицензионными программно-техническими средствами: операционная система не ниже Windows 7; офисные программы MS Office 10;
- рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
- рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет.

Проведение компьютерного тестирования может осуществляться в компьютерном классе университета, а также с использованием возможностей информационно-обучающей среды.

***ИНСТИТУТ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ
И ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ***

КАФЕДРА ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ
ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ»**

Направление подготовки: 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Направленность (профиль): Технология машиностроения

Уровень высшего образования: Бакалавриат

Форма обучения: очная, заочная

Королёв
2023

1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

Таблица 1

№ п/п	Индекс компетенции	Содержание компетенции	Раздел дисциплины, обеспечивающий формирование компетенции	В результате изучения раздела дисциплины, обеспечивающего формирование компетенции, (или ее части), обучающийся приобретает:		
				Трудовые действия	Необходимые умения	Необходимые знания
1	ОПК-9	Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с машиностроительными производствами, выборе оптимальных вариантов прогнозируемых последствий решения на основе их анализа;	Темы 1-12	Формулирует содержание этапов проектирования изделий машиностроения, разрабатывает конструкторско-технологическую документацию.	Умеет устанавливать исходные данные для проектирования изделий машиностроения, выполнять расчеты элементов изделий машиностроения.	Знает действующую нормативно-техническую документацию и стандарты ЕСКД и ЕСТД.
2	ПК-10	Способен проектировать простую технологическую оснастку для изготовления машиностроительных изделий.	Темы 1-12	Проектирует простые станочные приспособления для изготовления машиностроительных деталей; Оформляет конструкторскую документацию на разработанную оснастку для изготовления машиностроительных изделий.	Умеет разрабатывать конструктивные схемы приспособлений для изготовления и сборки машиностроительных изделий; Умеет составлять расчетные силовые схемы установки заготовок приспособлений для изготовления деталей; Умеет использовать САД-системы для разработки и оформления КД на технологическую оснастку.	Знает нормативно-техническую и справочную литературу по проектированию технологической оснастки; Знает методику проектирования технологической оснастки для изготовления машиностроительных изделий.

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания.

Код компетенции	Инструменты, оценивающие сформированность компетенции	Этапы и показатель оценивания компетенции	Критерии оценивания компетенции на различных этапах формирования и шкалы оценивания
ОПК-9; ПК-10	Задачи	<p><i>А) полностью сформирована (компетенция, освоена на высоком уровне) - 5 баллов</i></p> <p><i>Б) частично сформирована:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • компетенция освоена на продвинутом уровне - 4 балла; • компетенция освоена на базовом уровне - 3 балла; <p><i>В) не сформирована (компетенция не сформирована) - 2 и менее баллов</i></p>	<p><i>Например:</i></p> <p><i>Проводится в письменной форме.</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <i>1. Выбор оптимального метода решения задачи (1 балл).</i> <i>2. Умение применить выбранный метод (1 балл).</i> <i>3. Логический ход решения правильный, но имеются Арифметические ошибки в расчетах (1 балл).</i> <i>4. Решение задачи и получение правильного результата (2 балла).</i> <i>5. Задача не решена вообще (0 баллов).</i> <p><i>Максимальная оценка - 5 баллов.</i></p>
ОПК-9; ОПК-10	Тест	<p><i>А) полностью сформирована (компетенция освоена на высоком уровне) - 90% правильных ответов</i></p> <p><i>Б) частично сформирована:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • компетенция освоена на продвинутом уровне - 70% правильных ответов; • компетенция освоена на базовом уровне - от 51% правильных ответов; <p><i>В) не сформирована (компетенция не сформирована) - менее 50% правильных ответов</i></p>	<p><i>Проводится письменно. Время, отведенное на процедуру - 30 минут.</i></p> <p><i>Неявка — 0 баллов.</i></p> <p><i>Критерии оценки определяются процентным соотношением.</i></p> <p><i>Неудовлетворительно - менее 50% правильных ответов.</i></p> <p><i>Удовлетворительно - от 51 % правильных ответов.</i></p> <p><i>Хорошо - от 70%.</i></p> <p><i>Отлично - от 90%.</i></p> <p><i>Максимальная оценка – 5 баллов</i></p>

ОПК-9; ПК-10	Лабораторные работы	<p><i>А) полностью сформирована (компетенция освоена на высоком уровне) – 5 баллов</i></p> <p><i>Б) частично сформирована:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>компетенция освоена на продвинутом уровне – 4 балла;</i> • <i>компетенция освоена на базовом уровне – 3 балла;</i> <p><i>В) не сформирована (компетенция не сформирована) – 2 и менее баллов</i></p>	<p><i>Например:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <i>1. Оформление в соответствии с требованиями (1 балл).</i> <i>2. Выбор методов измерений и вычислений (1 балл).</i> <i>3. Умение применять выбранные методы (1 балл).</i> <i>4. Анализ и выводы, отражающие суть изучаемого явления с указанием конкретных результатов (2 балла).</i> <p><i>Максимальная оценка – 5 баллов.</i></p>
--------------	---------------------	---	--

3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

3.1. Примерная тематика докладов в презентационной форме

1. Продольные и поперечные деформации.
2. Перемещения с учётом температуры и собственного веса стержня.
3. Статически неопределимые стержневые системы.
4. Исследование плоского напряжённого состояния с помощью круга Мора.
5. Объёмная деформация и потенциальная энергия деформации.
6. Объёмная деформация и потенциальная энергия деформации при чистом сдвиге.
7. Вычисление моментов инерции сложных сечений.
8. Статически неопределимые задачи при кручении.
9. Формулы Журавского.
10. Центр изгиба прямого бруса.
11. Косой изгиб.
12. Внецентренное растяжение и сжатие.
13. Внутренние усилия в поперечных сечениях кривых брусьев.
14. Интеграл Мора и способ Верещагина.
15. Каноническое уравнение метода сил.
16. Потеря устойчивости стержней при напряжениях, превышающих предел пропорциональности.
17. Колебания систем с одной степенью свободы.
18. Диаграмма предельных амплитуд напряжений.
19. Расчёт на прочность при переменных напряжениях.
20. Расчёт бесконечно длинной балки, лежащей на сплошном упругом основании.

3.2. Примерная тематика реферата

1. Внешние и внутренние силы. Метод сечений.
2. Растяжение и сжатие прямого бруса.
3. Геометрические характеристики плоских сечений.
4. Механические характеристики конструкционных материалов.
5. Основы теории напряжённого состояния.
6. Основы теории деформированного состояния.
7. Деформация сдвига.
8. Деформация кручения.
9. Деформация чистого сдвига.
10. Деформация поперечного сдвига.
11. Теории прочности.
12. Сложное сопротивление.
13. Общие методы определения перемещений.
14. Статически неопределимые системы.
15. Элементы теории тонкостенных оболочек.
16. Расчёт конструкций по предельным состояниям.
17. Устойчивость сжатых стержней.
18. Упругие колебания.
19. Явление усталости в конструкционных материалах.
20. Расчёты на ударную нагрузку.

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Формой контроля знаний по дисциплине «Сопротивление материалов» являются две текущие аттестации в виде тестов и экзамен.

Неделя текущего контроля	Вид оценочного средства	Код компетенций, оценивающих знания, умения, навыки	Содержание оценочного средства	Требования к выполнению	Срок сдачи (неделя семестра)	Критерии оценки по содержанию и качеству с указанием баллов
в соответствии с учебным планом	тестирование	ОПК-9; ПК-10	25 вопросов	Компьютерное тестирование; время отведенное на процедуру - 30 минут	Результаты тестирования предоставляются в день проведения процедуры	Критерии оценки определяются процентным соотношением. Не явка - 0 Удовлетворительно - от 51% правильных ответов. Хорошо - от 70%. Отлично – от 90%.

в соответствии с учебным планом	тестирование	ОПК-9; ПК-10	25 вопросов	Компьютерное тестирование; время, отведенное на процедуру – 30 минут	Результаты тестирования предоставляются в день проведения процедуры	Критерии оценки определяются процентным соотношением. Не явка -0 Удовлетворительно - от 51% правильных ответов. Хорошо - от 70%. Отлично – от 90%.
в соответствии с учебным планом	Экзамен	ОПК-9; ПК-10	2 вопроса одна задача	Экзамен проводится в письменной форме, путем ответа на вопросы. Время, отведенное на процедуру – 30 минут.	Результаты предоставляются в день проведения экзамена	Критерии оценки: «Отлично»: • знание основных понятий предмета; • умение использовать и применять полученные знания на практике; • работа на практических занятиях; • знание основных научных теорий, изучаемых предметов; • ответ на вопросы билета. «Хорошо»: • знание основных понятий предмета; • умение использовать и применять полученные знания на практике; • работа на практических занятиях; • знание основных научных теорий, изучаемых предметов; • ответы на вопросы билета • неправильно решено практическое задание «Удовлетвори-

						<p>тельно»:</p> <ul style="list-style-type: none"> • демонстрирует частичные знания по темам дисциплин; • незнание неумение использовать и применять полученные знания на практике; • не работал на практических занятиях; <p>«Неудовлетворительно»:</p> <ul style="list-style-type: none"> • демонстрирует частичные знания по темам дисциплин; • незнание основных понятий предмета; • неумение использовать и применять полученные знания на практике; • не работал на практических занятиях; • не отвечает на вопросы.
--	--	--	--	--	--	--

4.1. Типовые вопросы, выносимые на тестирование

Тесты используются в режиме промежуточного контроля. По форме заданий выбраны закрытые тесты (с выборочным ответом). Каждому вопросу соответствует один или несколько вариантов ответа.

1. Какой из следующих принципов не относится к основным допущениям:

- принцип начальных размеров
- принцип независимости действия сил
- принцип Сен-Венана
- принцип возможных перемещений

2. Какой из нижеперечисленных методов является основным при расчёте машиностроительных конструкций

- метод разрушающих нагрузок
- метод предельных состояний
- метод допускаемых напряжений
- любой из указанных методов

3. В сопротивлении материалов материал конструкций предполагается

- упругопластичным
- прочным и жёстким
- сплошным, однородным и линейно упругим
- пластичным и изотропным

4. В общем случае нагружения стержня в его поперечных сечениях отличны от нуля

- два внутренних силовых фактора
- пять внутренних силовых факторов
- три внутренних силовых фактора
- Шесть внутренних силовых факторов

5. Модуль Юнга E , коэффициент Пуассона ν и модуль сдвига G связаны соотношением:

- $G = \frac{E}{2(1+2\nu)}$
- $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$
- $G = \frac{E}{2(1-\nu)}$
- $G = \frac{E}{1+2\nu}$

6. Продольная деформация при растяжении

- $\varepsilon_x = -\mu\varepsilon$
- $\varepsilon = \Delta l / l$
- $\sigma = N / A$
- $\varepsilon_x = -\gamma\varepsilon$

7. Потенциальная энергия деформаций при центральном растяжении-сжатии равна

- $\int_0^l \frac{N(x)}{EA} dx$
- $\int_0^l \frac{N^2(x)}{2GA} dx$
- $\int_0^l \frac{N^2(x)}{2EA} dx$
- $\int_0^l \frac{N^2(x)}{EA} dx$

8. Нормальные напряжения на косых площадках

- $\sigma_\alpha = \frac{\sigma}{2} \sin 2\alpha$
- $\sigma_\alpha = \sigma$
- $\sigma_\alpha = \sigma \cos^2 \alpha$
- $\sigma_\alpha = \frac{\sigma}{2} \cos 2\alpha$

9. Условие жёсткости при кручении

$$- \sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$$

$$- \theta = \frac{M_z}{G J_p} \leq [\theta]$$

$$- \tau = \frac{M_z}{W_p} \leq [\tau]$$

$$- \theta = \frac{M_z}{W_p} \leq [\tau]$$

10. Потенциальная энергия деформации при кручении

$$- U = \frac{M_z^2 l}{2 G J_p}$$

$$- U = \frac{N^2 l}{2 E A}$$

$$- U = \frac{Q^2 h}{2 G A}$$

$$- U = \frac{M_z^2 l}{2 G A}$$

11. Относительный угол закручивания

$$- \theta = \frac{M_z}{G J_p}$$

$$- \theta = \frac{\Delta l}{l}$$

$$- \theta = \frac{M_z l}{G J_p}$$

$$- \theta = \frac{M_z l}{2 G J_p}$$

12. Условие прочности при кручении

$$- \sigma = N / A \leq [\sigma]$$

$$- \tau = Q / A \leq [\tau]$$

$$- \tau = M_z / W_p \leq [\tau]$$

$$- \tau = M_z / A \leq [\tau]$$

13. Полный угол закручивания

$$- \varphi = \frac{M_z}{G J_p}$$

$$- \varphi = \frac{M_z l}{G J_p}$$

$$- \varphi = \frac{N l}{E A}$$

$$- \varphi = \frac{N l}{G A}$$

14. Полярный момент сопротивления сечения

$$- J_p = \int_A \rho^2 dA$$

$$- W_p = J_p / \rho_{max}$$

$$- J_p = \pi d^4 / 32$$

$$- J_p = \pi d^4 / 16$$

15. Полярный момент инерции круга

$$- J_p = \pi d^3 / 16$$

$$- J_p = \pi d^4 / 32$$

$$- J_x = \pi d^4 / 64$$

$$- J_p = \pi d^4 / 16$$

16. Статический момент относительно оси x

$$- S_x = \int_A y dA$$

$$- S_x = \int_A y^2 dA$$

$$- S_x = \frac{J_x}{y_{max}}$$

$$- S_x = \int_A y^4 dA$$

17. Полярный момент сопротивления круга

$$- W_p = \pi d^3 / 16$$

$$- W_p = \pi d^4 / 32$$

$$- W_x = \pi d^4 / 64$$

$$- W_x = \pi d^2 / 64$$

18. Статический момент S_y прямоугольного сечения

$$- S_y = \frac{hb^2}{2}$$

$$- S_y = \frac{hb^2}{4}$$

$$- S_y = 0$$

$$- S_y = \frac{hb^4}{2}$$

19. Центробежный момент инерции

$$- J_{xy} = \int_A x^2 dA$$

$$- J_{xy} = \int_A y^2 dA$$

$$- J_{xy} = \int_A xy dA$$

$$- J_{xy} = \int_A x^2 y dA$$

20. Потенциальная энергия деформации при изгибе

$$- U = \int_l \frac{M_z^2 dz}{2 G J_p}$$

$$- U = \int_l \frac{N^2 dz}{2 E A}$$

$$- U = \int_l \frac{M_x^2 dz}{2 E J_x}$$

$$- U = \int_l \frac{M_x^2 dz}{E J_x}$$

21. Формула Журавского

$$- J_{x1} = J_x + a^2 A$$

$$- \tau = \frac{Q_y S_x^*}{J_x b}$$

$$- \tau = \frac{M_z}{J_p} \rho$$

$$- \tau = \frac{Q_y S_x^*}{J_x}$$

22. Условие прочности при изгибе

$$- \sigma = \frac{M_x}{W_x} \leq [\sigma]$$

$$- \sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$$

$$- \tau = \frac{M_z}{W_p} \leq [\tau]$$

$$- \tau = \frac{M_x}{W_x} \leq [\tau]$$

23. Условие прочности при изгибе вокруг оси

$$- \frac{M_z}{W_z} \leq R$$

$$- \frac{\max(M_z)}{E J_z} \leq R$$

$$- \frac{|M_z|}{E J_z} \leq R$$

$$- \frac{\max|M_z|}{W_z} \leq R$$

24. Формула для нормальных напряжений в поперечном сечении балки при изгибе относительно оси z имеет вид

$$- \sigma_x = \frac{M_z y}{J_z}$$

$$- \sigma_x = \frac{M_z y}{A}$$

$$- \sigma_x = \frac{M_z y}{A J_z}$$

$$- \sigma_x = \frac{M_z y}{b J_z}$$

25. Изгибающий момент относительно вертикальной оси y в поперечном сечении стержня площадью A выражается зависимостью

$$- M_y = \int_A \sigma y dA$$

$$- M_y = \int_A \sigma z dA$$

$$- M_y = \int_A \tau_{xz} y dA$$

$$- M_y = \int_A \sigma dA$$

26. Третья теория прочности

$$- \sigma = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \leq [\sigma]$$

$$- \sigma = \sigma_1 - k \sigma_3 \leq [\sigma]$$

$$- \sigma = \sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma]$$

$$- \sigma = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \leq [\sigma]$$

27. Четвёртая теория прочности

$$- \sigma = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \leq [\sigma]$$

$$- \sigma = \sigma_1 - k \sigma_3 \leq [\sigma]$$

$$- \sigma = \sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma]$$

$$- \sigma = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \leq [\sigma]$$

28. Пятая теория прочности

$$- \sigma = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \leq [\sigma]$$

$$- \sigma = \sigma_1 - k \sigma_3 \leq [\sigma]$$

$$- \sigma = \sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma]$$

$$- \sigma = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \leq [\sigma]$$

29. Условие прочности по допускаемым напряжениям при внецентренном растяжении

$$- \sigma_1 = -\frac{F}{A} \left(1 + \frac{x_F x_1}{i_y^2} + \frac{y_F y_1}{i_x^2} \right) \leq [\sigma_c]$$

$$- \sigma_1 = -\frac{F}{A} \left(1 + \frac{x_F x_1}{i_y^2} - \frac{y_F y_1}{i_x^2} \right) \leq [\sigma_c]$$

$$- \sigma_1 = \frac{F}{A} \left(1 - \frac{x_F x_1}{i_y^2} + \frac{y_F y_1}{i_x^2} \right) \leq [\sigma_c]$$

$$- \sigma_1 = -\frac{F}{A} \left(1 - \frac{x_F x_1}{i_y^2} - \frac{y_F y_1}{i_x^2} \right) \leq [\sigma_c]$$

30. Формула для максимальных напряжений при косом изгибе имеет вид

$$- \sigma_{max} = \frac{M_x}{J_x} + \frac{M_y}{J_y}$$

$$- \sigma_{max} = \frac{M_y}{W_x} + \frac{M_x}{W_x}$$

$$- \sigma_{max} = \frac{M_x}{J_y} + \frac{M_y}{J_y}$$

$$- \sigma_{max} = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y}$$

31. Условие прочности по предельным состояниям при внецентренном растяжении

$$- \sigma_1 = -\frac{F}{A} \left(1 + \frac{x_{Fx_1}}{i_y^2} - \frac{y_{Fy_1}}{i_x^2} \right) \leq R_c \gamma_c$$

$$- \sigma_1 = -\frac{F}{A} \left(1 + \frac{x_{Fx_1}}{i_y^2} + \frac{y_{Fy_1}}{i_x^2} \right) \leq R_c \gamma_c$$

$$- \sigma_1 = \frac{F}{A} \left(1 - \frac{x_{Fx_1}}{i_y^2} + \frac{y_{Fy_1}}{i_x^2} \right) \leq R_c \gamma_c$$

$$- \sigma_1 = -\frac{F}{A} \left(1 - \frac{x_{Fx_1}}{i_y^2} - \frac{y_{Fy_1}}{i_x^2} \right) \leq R_c \gamma_c$$

32. Формула для нормальных напряжений при косом изгибе имеет вид

$$- \sigma = \frac{M_x}{J_x} x + \frac{M_y}{J_y} y$$

$$- \sigma = \frac{M_y}{J_y} y + \frac{M_x}{J_x} x$$

$$- \sigma = \frac{M_x}{J_x} y + \frac{M_y}{J_y} x$$

$$- \sigma = \frac{Q_x}{J_x} y + \frac{Q_y}{J_y} x$$

33. Формула угла наклона нейтральной линии при косом изгибе имеет вид

$$- \operatorname{tg} \alpha = \frac{J_x}{J_y} \operatorname{tg} \beta$$

$$- \operatorname{tg} \beta = \frac{J_x}{W_y} \operatorname{tg} \alpha$$

$$- \operatorname{tg} \alpha = \frac{J_x}{W_y} \operatorname{tg} \beta$$

$$- \operatorname{tg} \beta = \frac{J_x}{J_y} \operatorname{tg} \alpha$$

34. Критическая сила при продольном изгибе

$$- F_{кр} = \frac{\pi^2 EF}{(\mu l)^2}$$

$$- F_{кр} = \frac{\pi^2 EJ}{l^2}$$

$$- F_{кр} = \frac{\pi^2 EJ}{(\mu l)^2}$$

$$- F_{кр} = \frac{\pi^2 l^2}{W}$$

35. Формула Эйлера для критической силы сжатого шарнирно опертого по концам стержня имеет вид

$$\begin{aligned} - P_{кр} &= \frac{\pi^2 EA}{l^2} \\ - P_{кр} &= \frac{\pi^2 EJ_{min}}{l} \\ - P_{кр} &= \frac{\pi EJ_{min}}{l^2} \\ - P_{кр} &= \frac{\pi^2 EJ_{min}}{l^2} \end{aligned}$$

36. Формула Ясинского для критической силы сжатия стержня применима, если критическое напряжение

- превышает предел текучести
- превышает предел упругости
- превышает предел пропорциональности
- не превышает предел пропорциональности

37. Для стержня из малоуглеродистой стали формула Эйлера для критической силы применима, если гибкость стержня λ :

- больше 50
- больше 100
- меньше 50
- меньше 100

38. Коэффициент приведенной длины стержня при вычислении критической силы по формуле Эйлера зависит от

- формы поперечного сечения стержня
- величины приложенной силы
- способа закрепления стержня
- материала стержня

39. При определении критической силы сжатого стержня используется формула

- Гука;
- Журавского
- Сен-Венана
- Эйлера

40. Интеграл Мора

$$\begin{aligned} - \delta &= \sum \int_0^l \frac{\bar{M}_1 \bar{M}_2}{EA} dz \\ - \delta &= \sum \int_0^l \frac{\bar{M}_1 \bar{M}_2}{EI} dz \\ - \delta &= \sum \int_0^l \frac{\bar{M}_1 \bar{M}_2}{EN} dz \\ - \delta &= \sum \int_0^l \frac{\bar{M}_1 \bar{M}_2}{QI} dz \end{aligned}$$

41. Динамический коэффициент

$$- K_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\Delta_{st}}}$$

$$- K_d = 1 + \sqrt{2 + \frac{4h}{\Delta_{st}}}$$

$$- K_d = \frac{\Delta_d}{\Delta_{st}}$$

$$- K_d = 1 - \sqrt{1 - \frac{2h}{\Delta_{st}}}$$

42. Величина коэффициента продольного изгиба для сжатой стойки полностью определяется следующими факторами

- значением гибкости стойки
- значением гибкости и формой поперечного сечения стойки
- значением гибкости и способом закрепления стойки
- значением гибкости и материалом стойки

43. При расчёте сжатых стержней из хрупкого материала на устойчивость получаемые критические напряжения

- всегда больше предела пропорциональности
- всегда меньше предела прочности
- всегда меньше предела упругости
- всегда меньше предела пропорциональности

44. Условие прочности при динамическом нагружении имеет вид

$$- \sigma_d = K_d \cdot \sigma_{st} \leq R\gamma_c$$

$$- \sigma_d = T_d \cdot \sigma_{st} \leq R\gamma_c$$

$$- \sigma_d = Q_d \cdot \sigma_{st} \leq R\gamma_c$$

$$- \sigma_d = M_d \cdot \sigma_{st} \leq R\gamma_c$$

45. Динамический коэффициент при ударном нагружении

$$- K_d = 1 - \sqrt{1 - \frac{2h}{\Delta_{st}}}$$

$$- K_d = 1 - \sqrt{1 + \frac{4h}{\Delta_{st}}}$$

$$- K_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\Delta_{st}}}$$

$$- K_d = 1 + \sqrt{2 + \frac{4h}{\Delta_{st}}}$$

46. Дифференциальное уравнение собственных колебаний с одной степенью свободы

$$- \frac{d^2y}{dt^2} + \omega^2 y = 0$$

$$- \frac{d^2z}{dt^2} + \omega^2 z = 0$$

$$- \frac{d^2y}{dz^2} + \omega^2 z = 0$$

$$- \frac{d^2y}{dt^2} + \theta^2 y = 0$$

47. Уравнение Лапласа для безмоментной теории оболочек

$$\begin{aligned} - \frac{\sigma_m}{\rho_m} + \frac{\sigma_t}{\rho_t} &= \frac{p}{\delta} \\ - \frac{\tau_m}{\rho_m} + \frac{\tau_t}{\rho_t} &= \frac{p}{\delta} \\ - \frac{\sigma_m}{e_m} + \frac{\sigma_t}{e_t} &= \frac{p}{\delta} \\ - \frac{\sigma_m}{\rho_m} + \frac{\sigma_t}{\rho_t} &= \frac{e}{p} \end{aligned}$$

48. Формула нормальных напряжений кривого бруса

$$\begin{aligned} - \sigma &= \frac{Q}{eA} \frac{e+y}{\rho+y} \\ - \sigma &= \frac{M}{eN} \frac{e+y}{\rho+y} \\ - \sigma &= \frac{M}{eA} \frac{\rho+y}{e+y} \\ - \sigma &= \frac{M}{eA} \frac{e+y}{\rho+y} \end{aligned}$$

49. Формула нормальных напряжений кривого бруса при наличии продольной силы

$$\begin{aligned} - \sigma &= \frac{M}{eA} \frac{e+y}{\rho+y} + \frac{Q}{A} \\ - \sigma &= \frac{Q}{eW} \frac{e+y}{\rho+y} + \frac{N}{A} \\ - \sigma &= \frac{M}{eA} \frac{\rho+y}{\rho+e} + \frac{N}{A} \\ - \sigma &= \frac{M}{eA} \frac{e+y}{\rho+y} + \frac{N}{A} \end{aligned}$$

50. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки, лежащей на сплошном упругом основании

$$\begin{aligned} - \frac{d^4 M}{dz^4} + 4\beta^4 Q &= q'' \\ - \frac{d^4 Q}{dz^4} + 4\beta^4 M &= q'' \\ - \frac{d^4 M}{dz^4} + 4\beta^4 M &= q'' \\ (?) \frac{d^4 M}{dz^4} + 2\beta^4 M &= q'' \end{aligned}$$

4.2. Типовые вопросы, выносимые на экзамен

1. Внешние силы и их классификация. Расчетные схемы.
2. Внутренние силы и методы их определения. Эпюры внутренних сил.
3. Основные гипотезы о деформируемом теле. Понятие напряженного деформированного состояния.
4. Упругость и пластичность. Деформации линейные и угловые.
5. Закон Гука. Расчет на прочность и жесткость стержней при растяжении – сжатии.

6. Механические характеристики материалов. Модуль продольной упругости.
7. Поперечная деформация. Коэффициент Пуассона.
8. Механические свойства материалов при сжатии.
9. Диаграммы сжатия пластичных и хрупких материалов.
10. Действительные и допускаемые напряжения. Выбор допускаемых напряжений при расчете на прочность пластичных и хрупких материалов. Коэффициент запаса прочности.
11. Действительный запас прочности. Расчет на допускаемые деформации при растяжении и сжатии.
12. Потенциальная энергия при растяжении и сжатии.
13. Плоское и объемное напряженное состояние.
14. Деформации при объемном напряженном состоянии. Потенциальная энергия деформации.
15. Понятие о главных площадках и главных напряжениях.
16. Виды напряженного состояния.
17. Исследование плоского напряженного состояния. Закон парности касательных напряжений.
18. Напряжения на наклонных площадках.
19. Определение главных напряжений и главных площадок при плоском напряженном состоянии.
20. Наибольшие касательные напряжения.
21. Обобщенный закон Гука.
22. Статический момент плоской фигуры.
23. Центр тяжести сечения.
24. Осевой, центробежный и полярный моменты инерции для параллельных осей.
25. Изменение осевых и центробежных моментов инерции при повороте координатных осей.
26. Главные оси инерции. Главные моменты инерции.
27. Вычисление моментов инерции сложных профилей.
28. Теории прочности. Гипотеза наибольших нормальных напряжений.
29. Гипотеза наибольших деформаций. Гипотеза наибольших касательных напряжений.
30. Энергетические гипотезы прочности. Область применения различных гипотез.
31. Сдвиг. Расчеты на срез.
32. Напряжение при сдвиге. Закон Гука при сдвиге.
33. Модуль сдвига. Срез. Основное расчетное уравнение при расчете на срез.
34. Потенциальная энергия при сдвиге.
35. Кручение прямого бруса круглого поперечного сечения.
36. Понятие о крутящем моменте и эпюры крутящих моментов.
37. Напряжения в поперечном сечении. Угол закручивания.
38. Основные расчетные уравнения на прочность и жесткость. Определение допускаемых напряжений.

39. Потенциальная энергия деформации при кручении.
40. Расчет на прочность и жесткость стержней при изгибе.
41. Виды изгибов. Внешние силы, вызывающие изгиб и виды нагрузок.
42. Опоры и опорные реакции. Изгибающий момент и поперечная сила.
43. Эпюры изгибающих моментов и поперечных сил.
44. Дифференциальные зависимости между изгибающим моментом, поперечной силой и интенсивностью распределенной нагрузки.
45. Нормальные напряжения при изгибе.
46. Зависимость между изгибающим моментом и кривизной оси бруса. Жесткость при изгибе.
47. Касательные напряжения при изгибе (формула Д. И. Журавского).
48. Главные напряжения при изгибе.
49. Расчет на прочность при изгибе.
50. Основные расчетные уравнения на прочность. Проверочные уравнения на прочность.
51. Сложное сопротивление.
52. Энергетические теоремы и их применение.
53. Теорема Кастильяно.
54. Теорема Лагранжа.
55. Интеграл Мора и способ Верещагина по его вычислению.
56. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки.
57. Вывод обобщенного уравнения упругой линии балки.
58. Физический смысл постоянных интегрирования.
59. Статически неопределимые системы.
60. Способы раскрытия статической неопределимости.
61. Статически неопределимые задачи при изгибе, растяжении и кручении. Выбор основной системы.
62. Уравнения совместности деформаций.
63. Общий случай действия сил на брус.
64. Внутренние силовые факторы.
65. Определение нормальных и касательных напряжений, перемещений.
66. Косой изгиб.
67. Определение нормальных напряжений при косом изгибе.
68. Положение нейтральной линии.
69. Опасные точки в сечении.
70. Условие прочности. Определение прогиба.
71. Внецентренное сжатие - частный и общий случай.
72. Уравнение нейтральной линии. Эпюра напряжений.
73. Ядро сечения.
74. Совместное действие кручения и изгиба.
75. Определение напряжений и условие прочности при изгибе с кручением.
76. Понятие о предельном состоянии. Понятие устойчивости и неустойчивости стержней.
77. Задачи Эйлера.
78. Устойчивость сжатых стержней.

79. Понятие о критической нагрузке. Формула Эйлера для различных случаев опорных закреплений.
80. Понятие о гибкости и приведенной длине стержня.
81. Пределы применимости формулы Эйлера.
82. Понятие о потере устойчивости при напряжениях, превышающих предел пропорциональности.
83. Формула Ясинского, пределы ее применимости.
84. Полный график критических напряжений.
85. Расчет на устойчивость по коэффициенту уменьшения основного допускаемого напряжения на сжатие.
86. Выбор типа сечения и материала.
87. Расчет на прочность при динамическом нагружении.
88. Движение тела с постоянным ускорением.
89. Динамический коэффициент.
90. Внезапное приложение нагрузки.
91. Ударные нагрузки. Продольный удар.
92. Изгибающий удар.
93. Явление усталости материалов.
94. Предел выносливости.
95. Усталость и долговечность.
96. Циклы переменных напряжений и их основные характеристики.
97. Кривые выносливости.
98. Факторы, влияющие на предел выносливости детали: концентрация напряжений, масштабный фактор, состояние поверхности, число циклов нагружений.
99. Влияние степени асимметрии цикла.
100. Диаграмма предельных амплитуд.

Итоговое начисление баллов по дисциплине осуществляется в соответствии с разработанной и внедренной балльно-рейтинговой системой контроля и оценивания уровня знаний и внеучебной созидательной активности обучающихся.

**ИНСТИТУТ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ
И ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

КАФЕДРА ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ
«СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ»**

Направление подготовки: 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Направленность (профиль): Технология машиностроения

Уровень высшего образования: Бакалавриат

Форма обучения: очная, заочная

Королёв
2023

1. Общие положения

Цель дисциплины:

Формирование у студентов знаний в области сопротивления материалов, обеспечение базы инженерной подготовки, теоретическая и практическая подготовка в области механики деформируемого твёрдого тела, развитие инженерного мышления.

Задачи дисциплины:

1. Овладение теоретическими основами и практическими методами расчётов на прочность, жёсткость и устойчивость элементов конструкций и машин;
2. Овладение основными законами механики деформируемого твёрдого тела, методами и приёмами решения конкретных прочностных задач при различных видах деформации;
3. Формирование навыков механических испытаний образцов различных материалов и деталей машин;
4. Развитие способности использовать расчёты на прочность и жёсткость при проектировании машиностроительных изделий заданного качества при наименьших затратах материала.

2. Указания по проведению практических занятий

Практическое занятие 1, 2

Вид практического занятия: *практическая работа в группах.*

Образовательные технологии: *традиционная технология*

Тема и содержание практического занятия: растяжение и сжатие.

Определение внутренних силовых факторов и перемещений при растяжении (сжатии) статистически определяемых и статически неопределимых систем.

Продолжительность занятия – 2/- ч.

Практическое занятие 3

Вид практического занятия: *практическая работа в группах.*

Образовательные технологии: *традиционная технология*

Тема и содержание практического занятия: основы теории напряжённого и деформированного состояния.

Исследование напряжённого состояния при помощи круга Мора. Определение главных напряжений.

Продолжительность занятия – 1/-ч.

Практическое занятие 4

Вид практического занятия: *практическая работа в группах.*

Образовательные технологии: *традиционная технология*

Тема и содержание практического занятия: геометрические характеристики плоских сечений.

Определение момента инерции, момента сопротивления и центра тяжести простых и сложных сечений.

Продолжительность занятия – 1/- ч.

Практическое занятие 5

Вид практического занятия: *практическая работа в группах.*

Образовательные технологии: *традиционная технология*

Тема и содержание практического занятия: сдвиг и кручение.

Расчёт болтовых и сварных соединений. Определение углов закручивания и подбор диаметров сечений валов.

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 6

Вид практического занятия: *практическая работа в группах.*

Образовательные технологии: *традиционная технология*

Тема и содержание практического занятия: изгиб.

Определение внутренних усилий при изгибе балок и рам.

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 7

Вид практического занятия: *практическая работа в группах.*

Образовательные технологии: *традиционная технология*

Тема и содержание практического занятия: перемещения при изгибе.

Определение перемещений при изгибе при помощи интеграла Мора и способа Верещагина.

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 8

Вид практического занятия: *практическая работа в группах.*

Образовательные технологии: *традиционная технология*

Тема и содержание практического занятия: статически неопределимые системы.

Определение перемещений при изгибе статически неопределимых систем методом сил.

Продолжительность занятия – 2/1 ч.

Практическое занятие 9

Вид практического занятия: *практическая работа в группах.*

Образовательные технологии: *традиционная технология*

Тема и содержание практического занятия: сложное сопротивление.

Определение внутренних усилий при косом изгибе, внецентренном растяжении и сжатии, кручении с изгибом.

Продолжительность занятия – 1/1 ч.

Практическое занятие 10

Вид практического занятия: *практическая работа в группах.*

Образовательные технологии: *традиционная технология*

Тема и содержание практического занятия: устойчивость сжатых стержней.

Исследование устойчивости стержней с помощью формул Эйлера и Ясинского.

Продолжительность занятия – 1/1 ч.

Практическое занятие 11

Вид практического занятия: *практическая работа в группах*

Образовательные технологии: *традиционная технология*

Тема и содержание практического занятия: динамическое действие нагрузки.

Решение задач при плоском, равномерно вращательном движении и ударе стержней и балок.

Продолжительность занятия – 1/1 ч.

Практическое занятие 12

Вид практического занятия: *практическая работа в группах*

Образовательные технологии: *традиционная технология*

Тема и содержание практического занятия: расчёт на прочность при циклически изменяющихся напряжениях.

Определение ресурса плоских и круглых деталей при однократном и циклическом нагружении.

Продолжительность занятия – 1/1 ч.

3. Указания по проведению лабораторного практикума

Виртуальный лабораторный практикум реализован в виде комплекса кроссплатформенных графических приложений под операционную систему: Microsoft Windows, а также в виде веб-приложений на основе технологии HTML5, обеспечивающих возможность дистанционного выполнения лабораторных работ в веб-браузере. Графическая составляющая программного обеспечения использует программный интерфейс и компонентную базу OpenGL 2.0.

Программный комплекс включает отдельные имитационные лабораторные работы, выполненные в виде графических приложений для настольных компьютеров под управлением различных операционных систем, а также в виде веб-приложений, выполнение которых осуществляется в веб-браузере с поддержкой технологии Web GL.

Перед проведением лабораторных занятий студенты должны освоить требуемый теоретический материал и процедуры выполнения лабораторных работ по предварительно полученным учебным материалам.

Лабораторная работа № 1. (2/0,5 час.) Растяжение и сжатие

Лабораторная работа № 2.(1/0,25 час.) Основы теории напряженного и деформированного состояния.

Лабораторная работа № 3.(1/0,25 час.) Геометрические характеристики плоских сечений

Лабораторная работа № 4.(2/0,5 час.) Сдвиг и кручение

Лабораторная работа № 5.(2/0,5 час.) Изгиб

Лабораторная работа № 6.(2/0,5 час.) Перемещения при изгибе

Лабораторная работа № 7. (2/0,5 час.) Статически неопределимые системы

Лабораторная работа № 8. (1/0,25 час.) Сложное сопротивление

Лабораторная работа № 9 (1/0,25 час.) Устойчивость сжатых стержней

Лабораторная работа № 10 (1/0,25 час.) Динамическое действие нагрузки

Лабораторная работа № 11 (1/0,25 час.) Расчёт на прочность при циклически изменяющихся напряжениях.

Пример выполнения и оформления лабораторной работы № 1 приведен на рисунках 2.1-2.9.

4. Указания по проведению самостоятельной работы студентов

Цель самостоятельной работы: приобретение навыков к самостоятельному обучению, подготовить специалистов к научному творчеству.

Задачи самостоятельной работы:

1) систематизировать знания в области прочностных расчётов стержневых и балочных систем;

2) овладеть навыками компьютерных технологий при расчёте на статические и динамические нагрузки.

№ п/п	Наименование блока (раздела) дисциплины	Виды СРС
1.	Темы 1-12	<i>Подготовка докладов по темам:</i> 1. Расчёты конструкционных материалов на исходный и остаточный ресурс. 2. Изучение основ пакета программ ANSYS расчёта на прочность стержневых систем.

1. ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ МАТЕРИАЛОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Цели и задачи лабораторной работы

Экспериментальное определение механических характеристик: предела текучести σ_T , предела прочности σ_B , истинного сопротивления разрыву S_k , относительного удлинения δ и относительного сужения ψ образца материала после разрыва.

Описание лабораторной установки

Для определения механических характеристик материалов используют испытательные машины. Применяют разрывные и универсальные испытательные машины всех систем при условии их соответствия требованиям ГОСТ. Внешний вид испытательной машины с электромеханическим силовозбудителем представлен на рисунке 1.1.

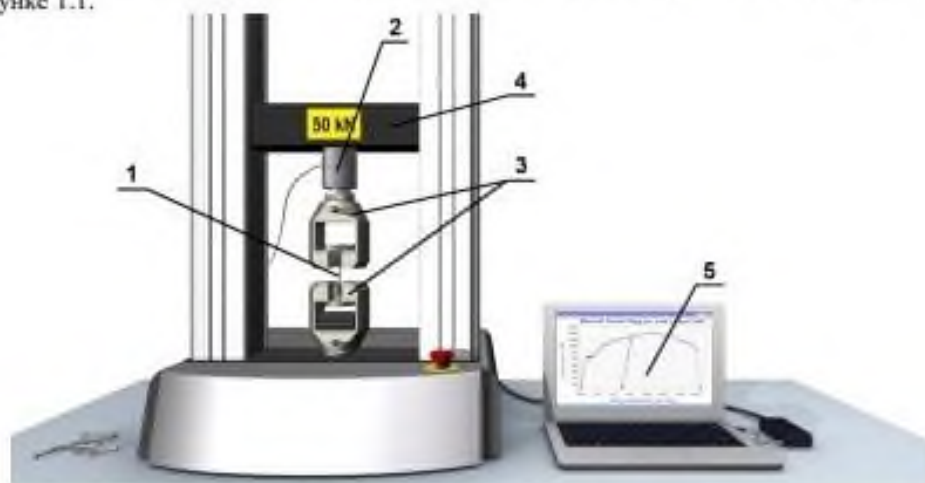


Рисунок 1.1 – Внешний вид лабораторной установки:
1 – испытуемый образец; 2 – динамометр; 3 – захваты; 4 – траверса; 5 – ноутбук

Краткие теоретические сведения

При испытании на растяжение образец определенной формы и размеров из исследуемого материала прочно закрепляется своими концами (головками) в захватах испытательной машины и подвергается непрерывному плавному деформированию до разрушения. При этом регистрируется зависимость между растягивающей нагрузкой и удлинением расчетной части образца в виде диаграммы растяжения образца. Для испытаний на растяжение применяют стандартные образцы по ГОСТ 1497, который предусматривает семь типов образцов. Один из типов представлен на рисунке 1.2.

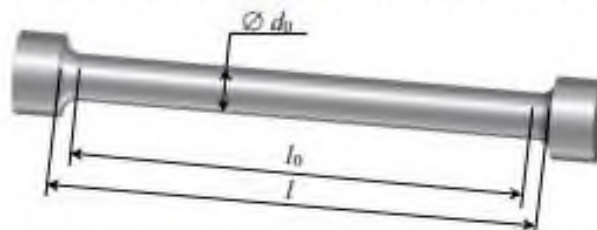


Рисунок 1.2 – Геометрическая модель образца:
 d_0 – диаметр расчетной части образца; l_0 – длина расчетной части образца; l – длина рабочей части образца.

Рисунок 2.1 – Лабораторная работа № 1

Отношение l_0 к d_0 должно быть строго определенным. В ГОСТ 1497 предусмотрено $\frac{l_0}{d_0} = 10$ или $\frac{l_0}{d_0} = 5$.

При проведении испытаний должны соблюдаться следующие основные условия: качественное центрирование образца в захватах испытательной машины, плавность деформирования, скорость перемещения активного захвата при испытании до предела текучести не более 0,1, за пределом текучести – не более 0,4 длины расчетной части образца в минуту, возможность приостанавливать нагружение с точностью до одного наименьшего деления шкалы силовизмерителя, плавность разгрузки.

Диаграммы растяжения образцов из низкоуглеродистой стали ($C \leq 0,3\%$), конструкционной стали ($C \geq 0,35\%$) и серого чугуна приведены на рисунках 1.3 а, 1.3 б и 1.3 в.

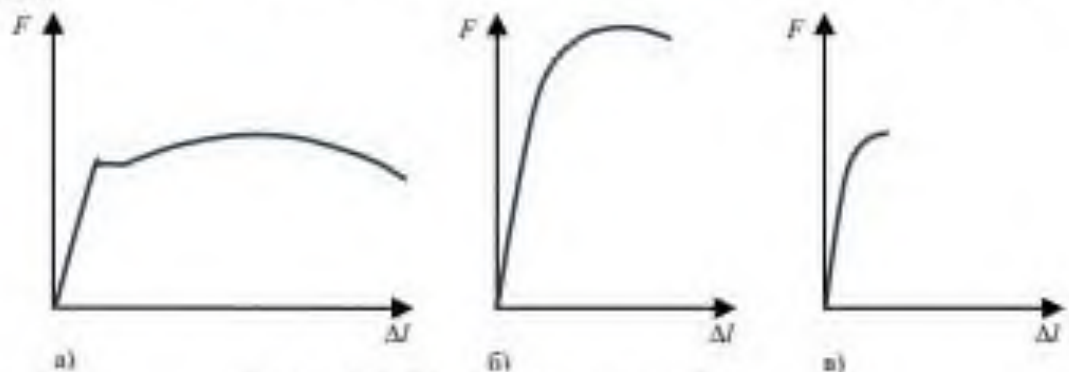


Рисунок 1.3 – Диаграммы растяжения образцов: низкоуглеродистая сталь (а), конструкционная сталь (б), чугун (в)

Рассмотрим более подробно диаграмму растяжения образца из низкоуглеродистой стали (рисунок 1.4). На начальном участке диаграммы между силой F и удлинением Δl соблюдается прямая пропорциональная зависимость – образец подчиняется закону Гука.

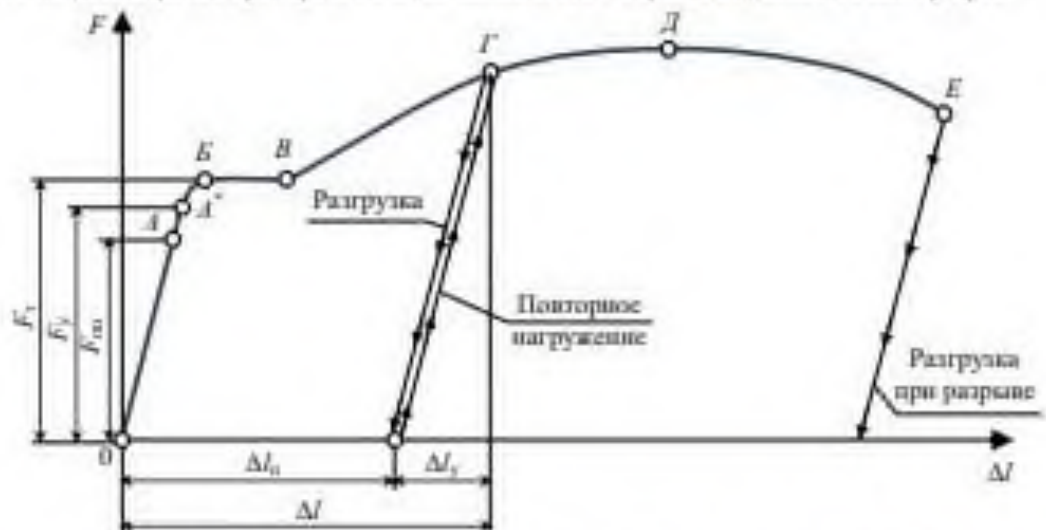


Рисунок 1.4 – Диаграмма растяжения образца из низкоуглеродистой стали

В некоторой точке диаграммы закон Гука нарушается: зависимость между силой и удлинением становится нелинейной. На диаграмме имеется горизонтальный участок, называемый «плато текучести». В этой стадии испытания образец удлиняется (деформируется) практически при постоянной силе. Это явление называется «текучестью», при этом образец деформируется равномерно по всей длине его рабочей части. Затем «плато текучести» заканчивается, и начинается «участок упрочнения». В конечной точке этого участка достигается максимальная сила, которую может выдержать образец. Далее начинается «участок разрушения» или «участок местной текучести». На образце появляется местное утончение (шейка). Диаметр шейки уменьшается по мере деформирования образца, и образец разрывается по наименьшему сечению шейки.

Если при испытании на растяжение нагружение приостановить, например, в точке G диаграммы (рисунок 1.4) и осуществить разгрузку образца, то окажется, что диаграмма разгрузки и диаграмма предыдущего нагружения не совпадают. Линия разгрузки – прямая, параллельная начальному линейному участку диаграммы растяжения образца. Такой характер деформирования образца при его разгрузке называется законом разгрузки.

При повторном нагружении диаграмма до точки G совпадает с линией разгрузки, а затем будет совпадать с диаграммой растяжения образца при однократном нагружении. Такой характер деформирования называется законом повторного нагружения и заключается в прямой пропорциональной зависимости силы и удлинения, которая сохраняется до значения силы, достигнутой при первичном нагружении.

При разгрузке образца в пределах участка OA' законы нагружения, разгрузки и повторного нагружения совпадают.

Удлинение образца при его деформировании за точкой A' диаграммы складывается из упругого и пластического удлинений (рисунок 1.4), т.е.

$$\Delta l = \Delta l_e + \Delta l_p, \quad (1.1)$$

где Δl , Δl_e , Δl_p – полное, упругое и пластическое удлинения расчетной части образца.

При разгрузке образца, получившего упругое и пластическое удлинения, упругое удлинение уменьшается, в соответствии с законом разгрузки, а пластическое сохраняется неизменным.

Диаграмма растяжения образца позволяет оценить поведение материала образца в упругой и упруго-пластической стадиях деформирования, а так же определить механические характеристики материала.

Для получения численно сопоставимых между собой механических характеристик материалов диаграммы растяжения образцов перестраивают в диаграммы растяжения материалов, т.е. в зависимости между напряжением σ и деформацией ϵ , которые определяются по формулам

$$\sigma = \frac{F}{A_0}, \quad (1.2)$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad (1.3)$$

где F – сила, действующая на образец; A_0 , l_0 – начальная площадь поперечного сечения и начальная длина расчетной части образца.

Диаграмма растяжения материала, полученная при этих условиях (без учета изменения размеров расчетной части образца), называется условной диаграммой растяжения материала в отличие от действительной диаграммы растяжения, которую получают с учетом изменений размеров образца. Диаграмма растяжения материала зависит от его структуры, условий испытаний (температуры, скорости деформирования).

Для низкоуглеродистой стали диаграмма растяжения приведена на рисунке 1.5.

Рисунок 2.3 – Лабораторная работа № 1

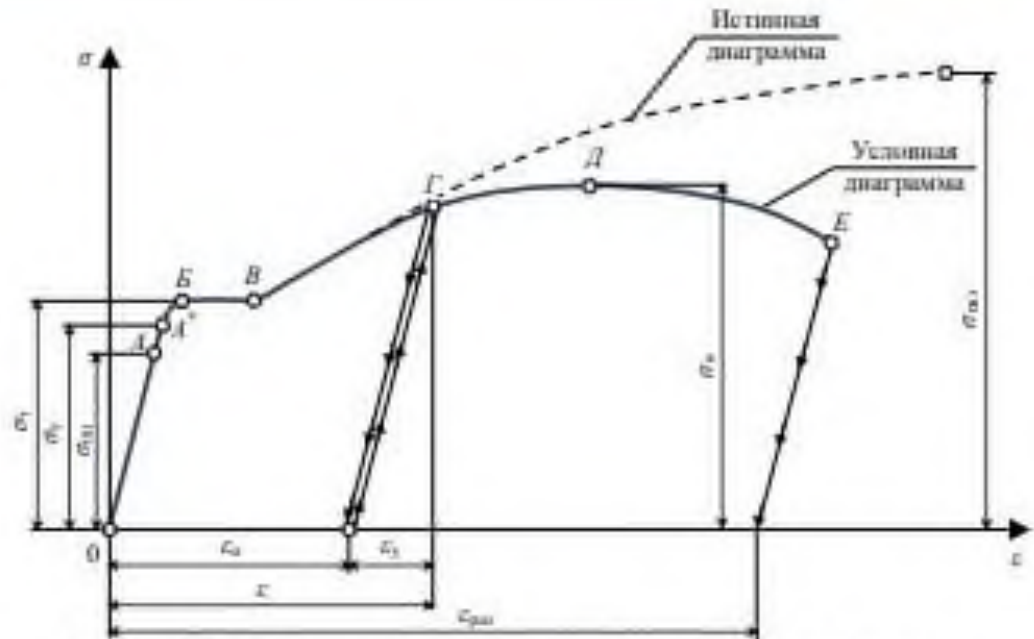


Рисунок 1.5 – Диаграмма растяжения материала (низкоуглеродистая сталь)

В пределах участка OA диаграммы соблюдается закон Гука, т.е.

$$\sigma = E \cdot \epsilon \tag{1.4}$$

Коэффициент пропорциональности E называется модулем упругости 1-го рода, или модулем Юнга. Он характеризует сопротивление материала упругим деформациям. Эта величина является постоянной упругости материала.

Закон Гука нарушается в точке A диаграммы. Ордината этой точки имеет особое наименование – предел пропорциональности.

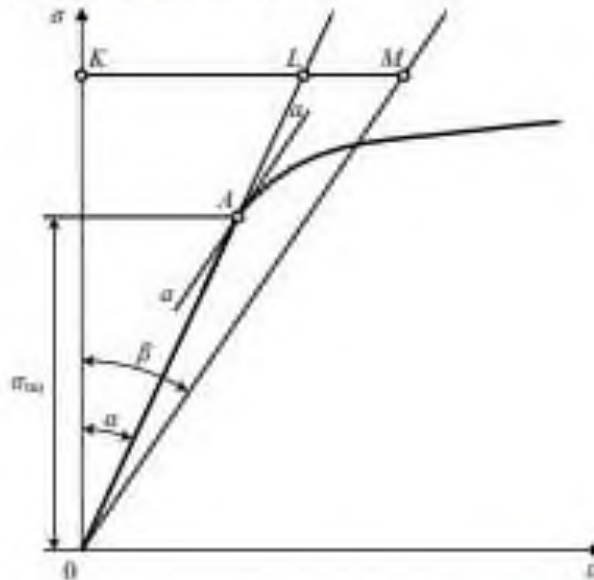


Рисунок 1.6 – Определение условного предела пропорциональности

Рисунок 2.4 – Лабораторная работа № 1

Пределом пропорциональности $\sigma_{\text{пр}}$ называется наибольшее напряжение, до которого справедлив закон Гука. Воспользоваться этим определением предела пропорциональности для практического вычисления его значения, по существу, невозможно. Поэтому вводится понятие условного (технического) предела пропорциональности. Его оценивают как напряжение, при котором отступление от прямой пропорциональной зависимости между напряжением и деформацией достигает определенной величины.

Условным (техническим) пределом пропорциональности называется напряжение $\sigma_{\text{пр}}$, при котором тангенс угла наклона касательной к кривой $\sigma = f(\varepsilon)$ в 1,5 раза больше тангенса угла наклона линейного участка этой диаграммы (углы отсчитываются от оси σ) (рисунок 1.6).

При некотором превышении предела пропорциональности все деформации продолжают оставаться упругими, т.е. полностью исчезающими, если напряжение снизить до нуля. Наибольшее напряжение, до которого все деформации в материале упругие, называется пределом упругости σ_y . На практике пользуются условным пределом упругости.

Условным (техническим) пределом упругости $\sigma_{0.01}$ называется напряжение, при котором остаточная (пластическая) деформация составляет 0,01%. Для нахождения на диаграмме точки A' (рисунок 1.7.), соответствующей пределу упругости, необходимо воспользоваться законом разгрузки и повторного нагружения.

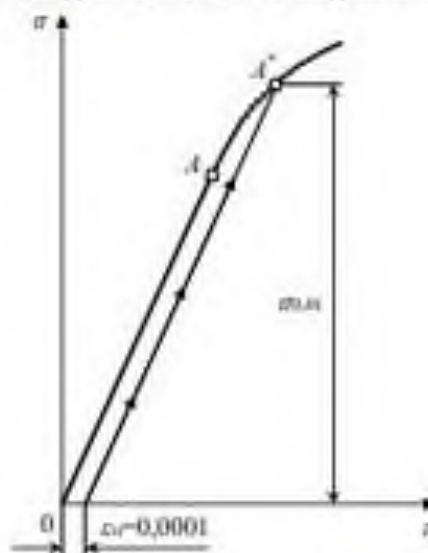


Рисунок 1.7 – Определение условного предела упругости

Площадке текучести диаграммы растяжения низкоуглеродистой стали соответствует напряжение σ_b , называемое пределом текучести. Пределом текучести (физическим) σ_f называется напряжение, при котором в материале интенсивно накапливаются остаточные (пластические) деформации, причем этот процесс идет при почти постоянном напряжении.

При отсутствии площадки текучести (диаграммы растяжения большинства материалов) определяют условный (технический) предел текучести. Условным (техническим) пределом текучести $\sigma_{0.2}$ называется напряжение, при котором остаточная (пластическая) деформация составляет 0,2%.

Рисунок 2.5 – Лабораторная работа № 1

Условный предел текучести определяется аналогично пределу упругости (рисунок 1.8).

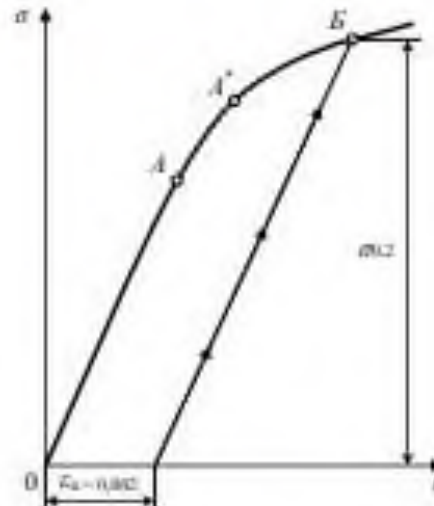


Рисунок 1.8 – Определение условного предела текучести

Участок *ВД* диаграммы растяжения материала (рисунок 1.5) имеет максимум в точке *Д*. Ордината этой точки называется условным пределом прочности (временным сопротивлением) и определяется как:

$$\sigma_s = \frac{F_{max}}{A_s} \quad (1.5)$$

Для материалов, находящихся при данных условиях в пластичном состоянии, предел прочности σ_s не равен действительному напряжению в материале образца, так как к моменту достижения F_{max} площадь поперечного сечения образца существенно уменьшается. До образования шейки (точка *Д* диаграммы) деформация расчетной части образца равномерная и состоит из упругой (обратимой) и пластической (остаточной) (рисунок 1.5).

Напряженное состояние до образования шейки является одноосным: в площадках, совпадающих с поперечным сечением, имеются нормальные растягивающие напряжения, во всех площадках, перпендикулярных поперечному сечению, напряжения равны нулю. Существенно, что напряжения во всех точках одного сечения одинаковы, и внутренние силы во всех сечениях на рабочем участке равны. На конечном участке деформирования (после возникновения шейки) происходит локализация деформаций в шейке, в остальной части образца она практически не увеличивается. Деформация в шейке неоднородная, имеет высокий градиент вдоль оси образца. Напряженное состояние также становится неоднородным, кроме того, оно изменяется качественно – становится трехосным. Внутри шейки напряженное состояние – трехосное растяжение.

Образец рвется по наименьшему поперечному сечению шейки (рисунок 1.9) при напряжении, существенно превышающем предел прочности. Это напряжение называется истинным сопротивлением разрыву:

$$S_k = \frac{F_{pm}}{A_{min}} \quad (1.6)$$

Рисунок 2.6 – Лабораторная работа № 1

где $F_{раз}$ – сила, при которой образец разрушается; $A_{мин}$ – площадь поперечного сечения шейки в месте разрыва;

$$A_{мин} = \frac{\pi d_{мин}^2}{4} \quad (1.7)$$

Пластические свойства материалов оцениваются двумя характеристиками: относительным удлинением после разрыва и относительным сужением после разрыва.

Относительное удлинение после разрыва δ :

$$\delta = \frac{l_{раз} - l_0}{l_0} \cdot 100\%, \quad (1.8)$$

где $l_{раз}$ – длина расчетной части образца после разрыва, l_0 – длина расчетной части образца до испытания.

Относительное сужение после разрыва ψ :

$$\psi = \frac{A_0 - A_{мин}}{A_0} \cdot 100\%, \quad (1.9)$$

где A_0 – площадь поперечного сечения расчетной длины образца до испытаний.

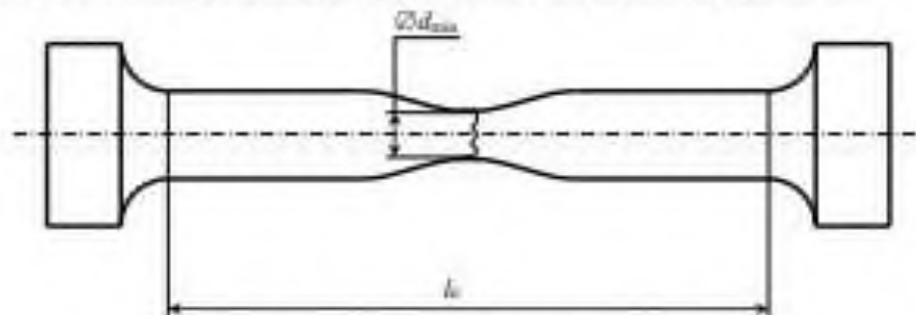


Рисунок 1.9 – Эскиз разрушенного образца

Методика определения механических характеристик материалов, имеющих диаграммы растяжения, отличные от диаграммы растяжения малоуглеродистой стали, остается без изменений.

Обработка машинной диаграммы

Диаграмма растяжения образца, отображаемая на экране ПЭВМ, называется машинной диаграммой растяжения образца и содержит значительную погрешность, вызванную методом измерения удлинения рабочей части образца. Удлинение рабочей части образца измеряется по перемещению подвижной траверсы испытательной машины. Для определения механических характеристик материала преобразованная машинная диаграмма, как правило, представляется двумя частями. Сначала диаграмма отображается полностью от начала деформирования образца до его разрушения, после чего диаграмма отображается от начала деформирования до конца площадки текучести.

Последовательность обработки машинной диаграммы растяжения образца:

1. Продолжить линейный (начальный) участок диаграммы до верхней и нижней границ координатной сетки (точки L и O).
2. Вычислить масштабы диаграммы по осям F и Δl (M_F , Н/мм; $M_{\Delta l}$, мм/мм).
3. Определить упругое удлинение рабочей части образца для силы F_0 по формуле

$$\Delta l_0 = \frac{F_0 \cdot l}{E \cdot A_0}, \quad (1.10)$$

Рисунок 2.7 – Лабораторная работа № 1

где F_b , N – значение силы, соответствующее верхней границе координатной сетки; l , мм – расстояние между головками образца до испытания; E – модуль упругости ($E = 2 \cdot 10^5$ для стали); A_0 – начальная площадь поперечного сечения образца:

$$A_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \quad (1.11)$$

4. Отложить отрезок Δl_0 в масштабе M_Δ от точки L влево (точка M).
5. Соединить точки O и N прямой. От этой прямой отсчитываются полные удлинения рабочей части образца.
6. Аналогичные операции провести для полной диаграммы.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Измерить диаметр d_0 рабочей части испытуемого образца. Длину расчетной части образца l_0 принять равной длине рабочей части образца l , т.е. равной расстоянию между головками образца. Изменение именно этого размера фиксирует на диаграмме испытательная машина в качестве Δl .

2. Провести испытание и получить машинную диаграмму.

3. Измерить разрушенный образец (диаметр шейки d_{10} и конечную длину рабочей части l_1). Для оценки конечной длины рабочей части следует соединить части разрушенного образца и измерить расстояние между его головками.

4. Воспроизвести полученную машинную диаграмму деформирования на двух листах формата А4. Определить масштабы по осям машинной диаграммы.

5. Обработать машинную диаграмму в соответствии со схемой, представленной ниже.

Нанести на диаграмме шесть точек (A, B, B, G, D, E):

- точка A соответствует условному пределу пропорциональности;
- точка B соответствует пределу текучести (физическому или условному);
- точка B соответствует концу площадки текучести;
- точка G – промежуточная между точками B и D ;
- точка D соответствует максимальной силе F_{max} ;
- точка E соответствует разрыву образца.

6. Результаты обработки занести в лабораторный журнал. Для представления результатов эксперимента рекомендуется использовать таблицы 1.1–1.3. В качестве предела текучести и предела прочности принять напряжения, соответствующие точкам B и D диаграммы (рисунок 1.5).

7. По результатам обработки и расчетов построить диаграмму растяжения материалов.

Таблица 1.1 – Геометрические размеры образцов до и после испытания на растяжение

Материал	Ниткоутдер- дистал сталь	Конструкционная сталь	Серый чугун
Диаметр образца до испытания d_0 , мм			
Длина расчетной части образца до испытания l_0 , мм			
Площадь поперечного сечения образца до испытания, A_0 , мм ²			
Диаметр образца после испытания d_1 , мм			
Длина расчетной части образца после испытания l_1 , мм			
Площадь поперечного сечения образца после испытания, A_1 , мм ²			

Рисунок 2.8 – Лабораторная работа № 1

Таблица 1.2 – Результаты испытания образцов материалов на растяжение

Точка диаграммы	Низкоуглеродистая сталь				Конструкционная сталь				Серый чугун			
	F , кН	Δl , мм	σ , МПа	ε	F , кН	Δl , мм	σ , МПа	ε	F , кН	Δl , мм	σ , МПа	ε
А												
Б												
В												
Г												
Д												
Е												

Таблица 1.3 – Механические характеристики испытываемых материалов

Материал	$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_s , МПа	σ_y , МПа	σ_b , МПа	S_k , МПа	δ , %	ψ , %
Низкоуглеродистая сталь							
Конструкционная сталь							
Серый чугун							

Контрольные вопросы

1. Какой вид имеют диаграммы растяжения образцов низкоуглеродистой стали, конструкционной стали и чугуна?
2. Как по диаграмме растяжения образца определить величины упругого и остаточного удлинений, соответствующих данной нагрузке?
3. Что называется физическим и условным пределом пропорциональности?
4. Какие механические характеристики определяют способность материала пластически деформироваться?
5. Как на диаграмме растяжения образца изображаются линии промежуточной разгрузки и повторного нагружения?

Рисунок 2.9 – Лабораторная работа № 1

5. Указания по проведению контрольных работ для обучающихся очной и заочной формы обучения

5.1. Требования к структуре

Задание на контрольную работу включает исходные данные и определение неизвестных величин.

5.2. Требования к содержанию (основной части)

1. Должны быть приведены используемые формулы с наименованиями входящих параметров.
2. Решение задач должно сопровождаться краткими пояснениями.
3. Рисунки и графики должны быть чёткими и ясными.

5.3. Требования к оформлению

Контрольная работа должна быть выполнена на формате А4 машинописным (рукописным) текстом. Рисунки и графики выполняются при помощи чертёжных инструментов или в графическом редакторе.

6. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература:

1. Сопротивление материалов: учебник / П.А. Павлов, Л.К. Паршин, Б.Е. Мельников, В.А. Шерстнев; под ред. Б.Е. Мельникова. - СПб: Лань, 2019. – 556 с. – ISBN 978-5-8114-4208-9. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система «Лань»
- URL: <https://e.lanbook.com/book/116013>
2. Сопротивление материалов: в 2 ч. Ч. 2: учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Чеканин, В.В. Волков. – М.: КУРС; ИНФРА-М, 2018. – 192 с.
- URL: <http://znanium.com/catalog/product/933947>
3. Сопротивление материалов [Электронный ресурс]: учебник / П.А. Павлов [и др.]. – Электрон. дан. – СПб: Лань, 2017. – 556 с.
- URL: <https://e.lanbook.com/book/90853>

Дополнительная литература:

1. Атаров Н.М. Сопротивление материалов в примерах и задачах: учебное пособие / Н.М. Атаров. – М.: ИНФРА-М, 2020. – 407 с. (Высшее образование: Бакалавриат). – ISBN 978-5-16-003871-1. – Текст: электронный.
- URL: <https://znanium.com/catalog/product/1073557>
2. Евтушенко С.И. Сопротивление материалов: сборник задач с решениями: учебное пособие / С.И. Евтушенко, Т.А. Дукмасова, Н.А. Вильбицкая. – 2-е изд. – М.: РИОР; ИНФРА-М, 2020. – 344 с. (Высшее образование: Бакалавриат). – ISBN 978-5-369-01659-6. – Текст: электронный.
- URL: <https://znanium.com/catalog/product/1060847>

3. Кудрявцев Г.С. Сопротивление материалов. Интернет-тестирование базовых знаний. [Электронный ресурс]. – М.: Лань, 2013. – 98 с.
- URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=5247
4. Кузьмин, Л.Ю. Сопротивление материалов / Кузьмин Л.Ю., Сергиенко В.Н., Ломунов В.К. – М.: Лань, 2016. – ISBN 978-5-8114-2056-8.
- URL: <https://e.lanbook.com/book/90004>
5. Логвинов В.Б. Сопротивление материалов. Лабораторные работы: учебное пособие / В.Б. Логвинов, В.А. Волосухин, С.И. Евтушенко. – 4-е изд. – М.: РИОР; ИНФРА-М, 2019. – 212 с. (ВО: Бакалавриат). – ISBN 978-5-369-01528-5. - Текст: электронный.
- URL: <https://znanium.com/catalog/product/1023251>
6. Межецкий, Г.Д. Сопротивление материалов / Г.Д. Межецкий, Г.Г. Загребин, Н.Н. Решетник. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2016. – 432 с. – ISBN 978-5-394-02628-7.
- URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=453911>
7. Сидорин С.Г. Сопротивление материалов: теория, тестовые задания, примеры решения: учебное пособие / С.Г. Сидорин, Ф.С. Хайруллин. – М.: РИОР; ИНФРА-М, 2020. – 184 с. (Высшее образование). – ISBN 978-5-369-01694-7. – Текст: электронный.
- URL: <https://znanium.com/catalog/product/1047104>

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Интернет-ресурсы:

- | | |
|--|---|
| 1. Научная электронная библиотека eLIBRARY | http://www.elibrary.ru |
| 2. Университетская библиотека | http://www.biblioclub.ru |
| 3. Электронно-библиотечная система Znanium | http://znanium.ru |
| 4. Электронно-библиотечная система Лань | http://e.lanbook.com/ |
| 5. Национальный цифровой ресурс Руконт – межотраслевая электронная библиотек | http://www.rucont.ru/ |
| 6. <u>Электронный каталог библиотеки МГОТУ «Технологический университет»</u> | http://unitech-mo.ru/library/resources/electronic-catalogue-fta |

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень программного обеспечения: *MSOffice, Excel, ANSYS, SolidWorks.*

Информационные справочные системы: не предусмотрены курсом дисциплины

Ресурсы информационно-образовательной среды Университета.

Рабочая программа и методическое обеспечение по дисциплине «Сопротивление материалов».