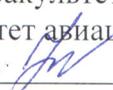


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
Факультет авиационной и морской техники
 Красильникова О.А.
«10» 06 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Теория упругости, пластичности и ползучести»

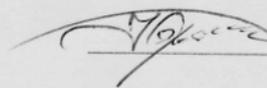
Специальность	24.05.07 Самолето- и вертолетостроение
Специализация	Самолетостроение
Квалификация выпускника	Инженер
Год начала подготовки (по учебному плану)	2021
Форма обучения	Очная форма
Технология обучения	Традиционная

Курс	Семестр	Трудоемкость, з.е.
3	5, 6	7

Вид промежуточной аттестации	Обеспечивающее подразделение
Зачёт, Экзамен	Кафедра «Авиастроение»

Разработчик рабочей программы:

Профессор, Доцент, Доктор физико-математических наук



Бормотин К.С

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой
Кафедра «Авиастроение»



Марьин С.Б.

1 Введение

Рабочая программа и фонд оценочных средств дисциплины «Теория упругости, пластичности и ползучести» составлены в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта, утвержденного приказом Минобрнауки Российской Федерации ФГОС ВО, утвержденный приказом Минобрнауки России от 04.08.2020 №877, и основной профессиональной образовательной программы подготовки «Самолетостроение» по специальности «24.05.07 Самолето- и вертолетостроение».

Практическая подготовка реализуется на основе:

Профессиональный стандарт 32.004 «СПЕЦИАЛИСТ ПО ПРОЧНОСТНЫМ РАСЧЕТАМ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ».

Обобщенная трудовая функция: D Руководство проектно-расчетными работами по прочности авиационных конструкций.

НЗ-3 Основы теории пластичности, НЗ-4 Основы теории ползучести, НУ-7 Анализировать результаты расчета, полученные методом конечного элемента.

Задачи дисциплины	изучение основных уравнений теории упругости, пластичности и ползучести как математических моделей, основанных на законах механики, и методов использования их в инженерных расчетах.
Основные разделы / темы дисциплины	<p>Раздел 1. Анализ напряженного состояния: Тема 1. Тензор напряжений, Тема 2. Уравнения равновесия, Тема 3. Свойства полей напряжений.</p> <p>Раздел 2. Теория деформированного состояния: Тема 1. Тензор деформаций, Тема 2. Геометрический смысл тензоров деформаций, Тема 3. Свойства полей деформаций.</p> <p>Раздел 3. Основные уравнения теории упругости: Тема 1. Закон Гука, Тема 2. Постановка статических и динамических задач теории упругости, Тема 3. Плоские задачи теории упругости.</p> <p>Раздел 4. Задачи о равновесии упругих тел: Тема 1. Двумерные задачи теории упругости, Тема 2. Элементарные трехмерные задачи теории упругости</p> <p>Раздел 5. Основные сведения теории пластичности: Тема 1. Введение в теорию пластичности, Тема 2. Основные свойства пластических тел, Тема 3. Функция нагружения. Нагружение и разгрузка.</p> <p>Раздел 6. Определяющие соотношения теории пластичности: Тема 1. Теория пластического течения с упрочнением, Тема 2. Деформационная теория пластичности.</p> <p>Раздел 7. Задачи и теоремы теории пластичности: Тема 1. Постановка задач теории пластичности, Тема 2. Теорема о нагружении и разгрузке тела, Тема 3. Равновесие упругопластических тел.</p> <p>Раздел 8. Основные сведения о ползучести металлов: Тема 1. Основные результаты экспериментального изучения ползучести при одноосном растяжении, Тема 2. Технические теории ползучести,</p>

Тема 3. Решения некоторых задач установившейся ползучести.

2 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами образовательной программы

Процесс изучения дисциплины «Теория упругости, пластичности и ползучести» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 1):

Таблица 1 – Компетенции и планируемые результаты обучения по практике

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине
Общепрофессиональные		
ОПК-5 Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач	ОПК-5.1 Знает физические и математические модели процессов изготовления деталей, узлов и агрегатов авиационных конструкций ОПК-5.2 Умеет использовать методы физического и математического моделирования ОПК-5.3 Умеет применять основные методы физико-математического анализа для решения конкретных инженерных задач	Знать: теорию напряжений, теорию деформаций, определяющие соотношения, основные уравнения задач механики деформируемого твердого тела. Уметь: математически формулировать задачи упругости, пластичности и ползучести. Владеть: навыками решения элементарных задач механики деформируемого твердого тела, навыками задания необходимых параметров в системе компьютерного инжиниринга (CAE-системе) для решения инженерных задач.
Профессиональные		
ПК-3 Способен проводить прочностные расчеты авиационных конструкций при проектировании и конструировании авиационной техники	ПК-3.1 Знает методы расчетов на прочность и устойчивость различных типов конструкций при статических и динамических нагрузках ПК-3.2 Умеет пользоваться программным обеспечением для моделирования напряженного состояния при статических и динамических нагрузках; использовать нормативно-техническую документацию (нормы прочности, авиационные правила, руководство для конструкторов по прочности) ПК-3.3 Владеет навыками анализа результатов расчетных и эксперименталь-	Знать: аналитические и численные методы решения задач механики деформируемого твердого тела. Уметь: Уметь выбирать адекватную схему расчета и теорию определяющих соотношений для анализа напряженно-деформированного состояния тел в CAE-системе, анализировать на прочность конструкцию. Владеть: навыками построения определяющих соотношений по экспериментальным данным, анализа результатов расчета в системе компьютерного инжиниринга (CAE-системе) для проектно-конструкторской и производственно-технологической деятельности.

	ных исследований в рамках проектно-конструкторской и производственно-технологической деятельности	
--	---	--

3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Теория упругости, пластичности и ползучести» изучается на 3 курсе, 5, 6 семестре.

Дисциплина входит в состав блока 1 «Дисциплины (модули)» и относится к обязательной части.

Для освоения дисциплины необходимы знания, умения, навыки и / или опыт практической деятельности, сформированные в процессе изучения дисциплин / практик: «Теоретическая механика», «Численные методы», «Теория механизмов и машин», «Сопротивление материалов», «Аналитическая механика и теория колебаний», «Метрология, стандартизация и сертификация».

Знания, умения и навыки, сформированные при изучении дисциплины «Теория упругости, пластичности и ползучести», будут востребованы при изучении последующих дисциплин: «Вычислительная механика», «Прочность авиационных конструкций», «Производственная практика (научно-исследовательская работа)», «Производственная практика (преддипломная практика)», «Динамика полета самолетов», «Механика разрушения», «Проектирование конструкций из композиционных материалов», «Применение пакетов прикладных программ в механике конструкций», «Управление качеством», «Прочность авиационных конструкций», «Производственная практика (конструкторская практика)», «Производственная практика (технологическая (проектно-технологическая) практика), 11 семестр», «Производственная практика (преддипломная практика)».

Дисциплина «Теория упругости, пластичности и ползучести» частично реализуется в форме практической подготовки. Практическая подготовка организуется путем проведения / выполнения практических занятий, самостоятельных работ.

Дисциплина «Теория упругости, пластичности и ползучести» в рамках воспитательной работы направлена на формирование у обучающихся умения аргументировать, самостоятельно мыслить, развивает творчество, профессиональные умения или творчески развитой личности, системы осознанных знаний, ответственности за выполнение учебно-производственных заданий и т.д.

4 Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 7 з.е., 252 акад. час.

Распределение объема дисциплины (модуля) по видам учебных занятий представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Объем дисциплины (модуля) по видам учебных занятий

Объем дисциплины	Всего академических часов
Общая трудоемкость дисциплины	252

Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий), всего	112
В том числе:	
занятия лекционного типа (лекции и иные учебные занятия, предусматривающие преимущественную передачу учебной информации педагогическими работниками), в том числе в форме практической подготовки:	32 0
занятия семинарского типа (семинары, практические занятия, практикумы, лабораторные работы, коллоквиумы и иные аналогичные занятия), в том числе в форме практической подготовки:	80 44
Самостоятельная работа обучающихся и контактная работа , включающая групповые консультации, индивидуальную работу обучающихся с преподавателями (в том числе индивидуальные консультации); взаимодействие в электронной информационно-образовательной среде вуза	105
Промежуточная аттестация обучающихся – Зачёт, Экзамен	35

5 Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебной работы

Таблица 3 – Структура и содержание дисциплины (модуля)

Наименование разделов, тем и содержание материала	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)			СРС
	Контактная работа преподавателя с обучающимися			
	Лекции	Семинарские (практические занятия)	Лабораторные занятия	
5 семестр				
Раздел 1. Анализ напряженного состояния				
Тема 1. Тензор напряжений. <i>Понятие сплошной среды. Принцип напряжения Коши. Вектор напряжения. Напряженное состояние в точке. Тензор напряжений. Связь между тензором напряжений и вектором напряжения.</i>	1	2		2
Тема 2. Уравнения равновесия. <i>Однородность. Изотропия. Массовая плотность. Массовые и поверхностные</i>	1	2		2

<i>силы. Уравнения равновесия и краевые условия. Симметрия тензора напряжений.</i>				
Тема 3. Свойства полей напряжений. <i>Законы преобразования напряжений. Поверхности напряжений Коши. Главные напряжения. Инварианты тензора напряжений. Эллипсоид напряжений. Максимальное и минимальное касательное напряжение. Круги Мора для напряжения. Плоское напряженное состояние. Девiator и шаровой тензор напряжений.</i>	3	2		2
Раздел 2. Теория деформированного состояния.				
Тема 1. Тензор деформаций. <i>Конфигурация сплошной среды. Радиус-вектор. Вектор перемещения. Лагранжево и эйлерово описания движения. Градиенты деформации. Градиенты перемещения. Тензоры деформаций. Тензоры конечных деформаций. Теория малых деформаций. Тензоры бесконечно малых деформаций.</i>	1	2		2
Тема 2. Геометрический смысл тензоров деформаций. <i>Относительное перемещение. Тензор линейного поворота. Вектор поворота. Геометрический смысл тензоров линейных деформаций. Коэффициент длины. Интерпретация конечных деформаций. Тензоры коэффициентов длины. Тензор поворота.</i>	1	2		2
Тема 3. Свойства полей деформаций. <i>Свойства преобразований тензоров деформаций. Главные деформации. Инварианты деформации. Кубическое расширение. Шаровой тензор и девiator деформаций. Плоская деформация. Круги Мора для деформации. Уравнения совместности для линейных деформаций.</i>	1	2		2
Раздел 3. Основные уравнения теории упругости.				
Тема 1. Закон Гука. <i>Обобщенный закон Гука. Функция энергии деформации. Изотропные и анизотропные среды. Симметрия упругих</i>	1	2		2

<i>свойств. Упругие постоянные для изотропной среды.</i>				
Тема 2. Постановка статических и динамических задач теории упругости. <i>Уравнения задачи теории упругости в перемещениях (уравнения Навье-Коши) и напряжениях (уравнения Бельтрами-Мичелла). Краевые условия. Теорема о суперпозиции. Единственность решений. Принцип Сен-Венана. Линейная термоупругость. Принцип виртуальной работы. Теорема Кастильяно.</i>	2	2		2
Тема 3. Плоские задачи теории упругости. <i>Плоское напряженное состояние и плоская деформация. Обобщенное плоское напряженное состояние. Функция напряжений Эри. Двумерные статические задачи теории упругости в полярных координатах.</i>	1	2		2
Раздел 4. Задачи о равновесии упругих тел.				
Тема 1. Двумерные задачи теории упругости. <i>Двумерные задачи в прямоугольных координатах. Решение в полиномах. Изгиб консоли, нагруженной на конце. Изгиб балки равномерной нагрузкой. &nbsp; Двумерные задачи в полярных координатах. Общие уравнения в полярных координатах. Полярно-симметричное распределение напряжений. Чистый изгиб кривых брусев. Компоненты деформаций в полярных координатах. Перемещения при симметричных полях напряжений. Вращающиеся диски. Изгиб кривого бруса силой, приложенной на конце. Краевые дислокации. Влияние круглого отверстия на распределение напряжений в пластинке.</i>	2	11*		16
Тема 2. Элементарные трехмерные задачи теории упругости. <i>Однородное напряженное состояние. Растяжение призматического стержня под действием собственного веса. Кручение круглых валов постоянного поперечного сечения. Чистый изгиб</i>	2	11*		17

<i>призматических стержней. Чистый изгиб пластинки.</i>				
ИТОГО по дисциплине за 5 семестр	16	40		51
6 семестр				
Раздел 5. Основные сведения теории пластичности.				
Тема 1. Введение в теорию пластичности. <i>Понятие о теориях пластичности и их прикладное значение. Основные гипотезы теории пластичности. Понятие о пределе пластичности Треска, Мизеса. Понятие об эффекте Баушингера.</i>	1	2		2
Тема 2. Основные свойства пластических тел. <i>Упругие и пластические деформации. Поверхность нагружения. Принцип градиентальности. Упрочнение и разупрочнение.</i>	1	2		2
Тема 3. Функция нагружения. Нагружение и разгрузка. <i>Параметры состояния упрочняющейся пластической среды, уравнения поверхности нагружения и упругой (жесткой) области. Разгрузка, нейтральное нагружение и нагружение для регулярных точек поверхности нагружения. Ограничение на свойства упрочняющегося упругопластического тела.</i>	2	2		2
Раздел 6. Определяющие соотношения теории пластичности.				
Тема 1. Теория пластического течения с упрочнением. <i>Определяющие соотношения с гладкой поверхностью нагружения. Неравенство диссипации. Постулат упрочнения Друкера. Уравнение Прагера. Уравнение Прандтля-Рейсса. Уравнение Сен-Венана-Мизеса.</i>	1	2		2
Тема 2. Деформационная теория пластичности. <i>Соотношение Надаи-Генки. Уравнения в приращениях. Сингулярная поверхность нагружения. Пропорциональное нагружение и допустимое непропорци-</i>	1	2		2

<i>ональное нагружение.</i>				
Раздел 7. Задачи и теоремы теории пластичности.				
Тема 1. Постановка задач теории пластичности. <i>Основная система уравнений. Теорема Ильюшина о простом нагружении. Теория малых упругопластических деформаций.</i>	1	2		2
Тема 2. Теорема о нагружении и разгрузке тела. <i>Теорема о нагружении и разгрузке тела и определение остаточных напряжений при полной разгрузке. Закон изменения объема, пластическая несжимаемость, закон изменения формы, гипотеза единой кривой.</i>	2	2		2
Тема 3. Равновесие упругопластических тел. <i>Напряжения в стержне и неустойчивость деформирования. Чистый изгиб упруго-пластической балки. Кручение упруго-пластических валов. Изгиб упруго-пластических пластин. Упруго-пластическое состояние пластины с отверстием. Напряжения в сфере из упругопластического материала.</i>	2	11*		19
Раздел 8. Основные сведения о ползучести металлов.				
Тема 1. Основные результаты экспериментального изучения ползучести при одноосном растяжении. <i>Кривые ползучести, релаксации и изохронные кривые. Длительная прочность.</i>	1	2		2
Тема 2. Технические теории ползучести. <i>Теория установившейся ползучести. Теория старения. Теория течения. Теория упрочнения. Наследственные теории ползучести. Гипотеза теории старения. Поведение при ступенчатом нагружении: эксперимент и теория.</i>	2	2		2
Тема 3. Решения некоторых задач установившейся ползучести. <i>Чистый изгиб бруса. Кручение бруса</i>	2	11*		17

<i>кольцевого поперечного сечения. Тонкостенные цилиндрические трубы. Вращающиеся диски.</i>				
ИТОГО по дисциплине за 6 семестр	16	40		54
ИТОГО по дисциплине	32	80		105

* реализуется в форме практической подготовки

6 Внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)

При планировании самостоятельной работы студенту рекомендуется руководствоваться следующим распределением часов на самостоятельную работу (таблица 4.1, 4.2):

Таблица 4.1 – Рекомендуемое распределение часов на самостоятельную работу
5 семестр

Компоненты самостоятельной работы	Количество часов
Изучение теоретических разделов дисциплины	22
Выполнение отчета и подготовка к защите РГР	29
ИТОГО в 5 семестре	51

Таблица 4.2 – Рекомендуемое распределение часов на самостоятельную работу
6 семестр

Компоненты самостоятельной работы	Количество часов
Изучение теоретических разделов дисциплины	22
Выполнение отчета и подготовка к защите РГР	32
ИТОГО в 6 семестре	54

7 Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации представлен в Приложении 1.

Полный комплект контрольных заданий или иных материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), практике хранится на кафедре-разработчике в бумажном и электронном виде.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

8.1 Основная литература

1. Горшков, А.Г. Теория упругости и пластичности : учебник для вузов / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, Д. В. Тарлаковский. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 416с
2. Кац, А.М. Теория упругости : учебник для вузов / А. М. Кац. - 2-е изд., стер. - СПб.: Лань, 2002. - 208с.
3. Александров, А.В. Основы теории упругости и пластичности : учебник для вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов. - М.: Высшая школа, 1990. - 400с
4. Седов, Л.И. Механика сплошной среды : учебник для вузов : в 2 т. Т.1 / Л. И. Седов. - 6-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2004. - 528с.
5. Седов, Л.И. Механика сплошной среды : учебник для вузов : в 2 т. Т.2 / Л. И. Седов. - СПб. : Лань, 2004. - 560с.
6. Подскребко, М.Д. Сопротивление материалов. Основы теории упругости, пластичности, ползучести и механики разрушения [Электронный ресурс] : учеб. пос. / М.Д. Подскребко. - Минск: Выш. шк., 2009. - 669 с. // ZNANIUM.COM : электронно-библиотечная система. – Режим доступа: <http://www.znanium.com/catalog.php>
7. Ишлинский А. Ю. Математическая теория пластичности - М.: Физматлит, 2001. - 704 с. // ZNANIUM.COM : электронно-библиотечная система. – Режим доступа: <http://www.znanium.com/catalog.php>, ограниченный. – Загл. с экрана.
8. Бормотин, К.С. Анализ напряжённо-деформированного состояния в системе MSC.NASTRAN & MSC.PATRAN : учеб. пособие / К. С. Бормотин, А. И. Олейников. - Комсомольск-на-Амуре : Изд-во Комсомольского-на-Амуре гос.техн.ун-та, 2009. - 135с.
9. Методические указания к выполнению РГЗ и курсовых работ по теории пластичности и ползучести в системе MSC.PATRAN & MSC.MARC / сост.: К.С. Бормотин, А.И. Олейников. – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КнАГТУ», 2009.
10. Бормотин, К. С. Расчет технологических параметров в интегрируемом комплексе программ / К. С. Бормотин, А.И. Олейников – Комсомольск-на-Амуре : Изд-во Комсомольского-на-Амуре гос. техн. ун-та, 2014. – 64 с.

8.2 Дополнительная литература

1. Зубчанинов, В.Г. Основы теории упругости и пластичности : учебник для вузов / В. Г. Зубчанинов. - М.: Высшая школа, 1990. - 368с
2. Партон, В.З. Механика упругопластического разрушения: основы механики разрушения : учебное пособие для вузов / В. З. Партон, Е. М. Морозов. - 3-е изд., испр. - М.: Либроком, 2008. - 349с
3. Минеева, Н.В. Вариационные принципы теории упругости и двусторонняя оценка решения : учебное пособие / Н. В. Минеева, А. И. Олейников. - Комсомольск-на-Амуре: Изд-во Комсомольского-на-Амуре гос.техн.ун-та, 2010. - 63с
4. Шашкевич, М.В. Метод малого параметра в задачах теории гетерогенной упругости : учебное пособие для вузов / М. В. Шашкевич, А. И. Олейников. - Комсомольск-на-Амуре: Изд-во Комсомольского-на-Амуре гос.техн.ун-та, 2010. - 107с
5. Варданян, Г. С. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности [Электронный ресурс] : учебник/Варданян Г. С., Андреев В. И., Горшков А. А., Варданян Г. С., Атаров Н. М., 2-е изд., испр. и доп. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 512 с. // ZNANIUM.COM : электронно-библиотечная система. – Режим доступа: <http://www.znanium.com/catalog.php>

8.3 Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Обучение дисциплине «Теория упругости, пластичности и ползучести» предполагает изучение курса как на аудиторных занятиях, так и в ходе самостоятельной работы.

Аудиторные занятия проводятся в форме лекций, практических работ (традиционных и компьютерных практикумов).

Для успешного выполнения практических и самостоятельной работ учащимся рекомендуется использовать следующее учебно-методическое обеспечение

1. Олейников, А.И. Анализ напряженно-деформированного состояния в системе MSC.Nastran&MSC.Patran / А.И. Олейников, К.С. Бормотин. - Комсомольск-на-Амуре: Изд-во Комсомольского-на-Амуре гос. техн.ун-та, 2009. - 135 с.
2. Бормотин, К. С. Расчет технологических параметров в интегрируемом комплексе программ / К. С. Бормотин, А.И. Олейников – Комсомольск-на-Амуре : Изд-во Комсомольского-на-Амуре гос. техн. ун-та, 2014. – 64 с.
3. Методические указания к выполнению РГЗ и курсовых работ по теории пластичности и ползучести в системе MSC.PATRAN & MSC.MARC / сост.: К.С. Бормотин, А.И. Олейников. – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КнАГТУ», 2009.

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

Освоение дисциплины «Теория упругости, пластичности и ползучести» основывается на активном использовании Microsoft Office, Patran, Natran, Marc в процессе изучения теоретических разделов дисциплины, подготовки к практическим занятиям, а также при выполнении РГР. С целью повышения качества ведения образовательной деятельности в университете создана электронная информационно-образовательная среда. Она подразумевает организацию взаимодействия между обучающимися и преподавателями через систему личных кабинетов студентов, расположенных на официальном сайте университета в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» по адресу <https://student.knastu.ru>. Созданная информационно-образовательная среда позволяет осуществлять взаимодействие между участниками образовательного процесса посредством организации дистанционного консультирования по вопросам выполнения практических заданий и РГР. Для ознакомления с расчетными методами используются САЕ-системы Patran, Natran, Marc.

8.5 Лицензионное программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Таблица 5 – Перечень используемого программного обеспечения

Наименование ПО	Реквизиты / условия использования
University MD FEA Bundle (Natran, Patran, Marc)	Лицензионное свидетельство ЕС 4681 от 01.09.2002 г.
OnlyOffice	Свободная лицензия, условия использования по ссылке: https://www.onlyoffice.com/ru/download-desktop.aspx

9 Организационно-педагогические условия

Организация образовательного процесса регламентируется учебным планом и расписанием учебных занятий. Язык обучения (преподавания) - русский. Для всех видов аудиторных занятий академический час устанавливается продолжительностью 45 минут.

При формировании своей индивидуальной образовательной траектории обучающийся имеет право на перезачет соответствующих дисциплин и профессиональных моду-

лей, освоенных в процессе предшествующего обучения, который освобождает обучающегося от необходимости их повторного освоения.

9.1 Образовательные технологии

Учебный процесс при преподавании курса основывается на использовании традиционных, инновационных и информационных образовательных технологий. Традиционные образовательные технологии представлены лекциями и семинарскими (практическими) занятиями. Инновационные образовательные технологии используются в виде широкого применения активных и интерактивных форм проведения занятий. Информационные образовательные технологии реализуются путем активизации самостоятельной работы студентов в информационной образовательной среде.

9.2 Занятия лекционного типа

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов учебного плана.

На первой лекции лектор обязан предупредить студентов, применительно к какому базовому учебнику (учебникам, учебным пособиям) будет прочитан курс.

Лекционный курс должен давать наибольший объем информации и обеспечивать более глубокое понимание учебных вопросов при значительно меньшей затрате времени, чем это требуется большинству студентов на самостоятельное изучение материала.

9.3 Занятия семинарского типа

Семинарские занятия представляют собой детализацию лекционного теоретического материала, проводятся в целях закрепления курса и охватывают все основные разделы.

Основной формой проведения семинаров является обсуждение наиболее проблемных и сложных вопросов по отдельным темам, а также разбор примеров и ситуаций в аудиторных условиях. В обязанности преподавателя входят: оказание методической помощи и консультирование студентов по соответствующим темам курса.

Активность на семинарских занятиях оценивается по следующим критериям:

- ответы на вопросы, предлагаемые преподавателем;
- участие в дискуссиях;
- выполнение проектных и иных заданий;
- ассистирование преподавателю в проведении занятий.

Ответ должен быть аргументированным, развернутым, не односложным, содержать ссылки на источники.

Доклады и оппонирование докладов проверяют степень владения теоретическим материалом, а также корректность и строгость рассуждений.

Оценивание заданий, выполненных на семинарском занятии, входит в накопленную оценку.

9.4 Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)

Самостоятельная работа студентов – это процесс активного, целенаправленного приобретения студентом новых знаний, умений без непосредственного участия преподавателя, характеризующийся предметной направленностью, эффективным контролем и оценкой результатов деятельности обучающегося.

Цели самостоятельной работы:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную и справочную документацию, специальную литературу;
- развитие познавательных способностей, активности студентов, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, творческой инициативы, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений и академических навыков.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, уровня сложности, конкретной тематики.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов университета.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

Студенты должны подходить к самостоятельной работе как к наиважнейшему средству закрепления и развития теоретических знаний, выработке единства взглядов на отдельные вопросы курса, приобретения определенных навыков и использования профессиональной литературы.

9.5 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

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

При самостоятельной проработке курса обучающиеся должны:

- просматривать основные определения и факты;
- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- изучить рекомендованную литературу, составлять тезисы, аннотации и конспекты наиболее важных моментов;
- самостоятельно выполнять задания, аналогичные предлагаемым на занятиях;
- использовать для самопроверки материалы фонда оценочных средств.

10 Описание материально-технического обеспечения, необходимого для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

10.1 Учебно-лабораторное оборудование

Таблица 6 – Перечень оборудования лаборатории

Аудитория	Наименование аудитории (ла-	Используемое оборудование
-----------	-----------------------------	---------------------------

	боратории)	
Ауд. 225 3 корпус	Мультимедийный класс	Экран, мультимедиа проектор, персональные компьютеры

При реализации дисциплины «Теория упругости, пластичности и ползучести» на базе профильной организации используется материально-техническое обеспечение, перечисленное в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Материально-техническое обеспечение дисциплины

Стандартное или специализированное оборудование, обеспечивающее выполнение заданий	Назначение оборудования
Экран, мультимедиа проектор, персональные компьютеры	Проведение компьютерных практикумов

10.2 Технические и электронные средства обучения

Процесс обучения сопровождается использованием компьютерных программ: University MD FEA Bundle, OnlyOffice.

11 Иные сведения

Методические рекомендации по обучению лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины обучающимися с ограниченными возможностями здоровья может быть организовано как совместно с другими обучающимися, так и в отдельных группах. Предполагаются специальные условия для получения образования обучающимися с ограниченными возможностями здоровья.

Профессорско-педагогический состав знакомится с психолого-физиологическими особенностями обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, индивидуальными программами реабилитации инвалидов (при наличии). При необходимости осуществляется дополнительная поддержка преподавания тьюторами, психологами, социальными работниками, прошедшими подготовку ассистентами.

В соответствии с методическими рекомендациями Минобрнауки РФ (утв. 8 апреля 2014 г. N АК-44/05вн) в курсе предполагается использовать социально-активные и рефлексивные методы обучения, технологии социокультурной реабилитации с целью оказания помощи в установлении полноценных межличностных отношений с другими студентами, создании комфортного психологического климата в студенческой группе. Подбор и разработка учебных материалов производятся с учетом предоставления материала в различных формах: аудиальной, визуальной, с использованием специальных технических средств и информационных систем.

Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения (персонального и коллективного использования). Материально-техническое обеспечение предусматривает приспособление аудиторий к нуждам лиц с ОВЗ.

Форма проведения аттестации для студентов-инвалидов устанавливается с учетом индивидуальных психофизических особенностей. Для студентов с ОВЗ предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной или электронной форме (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);
- в печатной форме или электронной форме с увеличенным шрифтом и контрастностью (для лиц с нарушениями слуха, речи, зрения);
- методом чтения ассистентом задания вслух (для лиц с нарушениями зрения).

Студентам с инвалидностью увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких студентов предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге или набором ответов на компьютере (для лиц с нарушениями слуха, речи);
- выбором ответа из возможных вариантов с использованием услуг ассистента (для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата);
- устно (для лиц с нарушениями зрения, опорно-двигательного аппарата).

При необходимости для обучающихся с инвалидностью процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине

«Теория упругости, пластичности и ползучести»

Специальность	24.05.07 Самолето- и вертолетостроение
Специализация	Самолетостроение
Квалификация выпускника	Инженер
Год начала подготовки (по учебному плану)	2021
Форма обучения	Очная форма
Технология обучения	Традиционная

Курс	Семестр	Трудоемкость, з.е.
3	5, 6	7

Вид промежуточной аттестации	Обеспечивающее подразделение
Зачёт, Экзамен	Кафедра «Авиастроение»

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами образовательной программы

Таблица 1 – Компетенции и планируемые результаты обучения по практике

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения по практике		
	Перечень знаний	Перечень умений	Перечень навыков
Общепрофессиональные			
ОПК-5 Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач	ОПК-5.1 Знает физические и математические модели процессов изготовления деталей, узлов и агрегатов авиационных конструкций	ОПК-5.2 Умеет использовать методы физического и математического моделирования	ОПК-5.3 Умеет применять основные методы физико-математического анализа для решения конкретных инженерных задач
Профессиональные			
ПК-3 Способен проводить прочностные расчеты авиационных конструкций при проектировании и конструировании авиационной техники	ПК-3.1 Знает методы расчетов на прочность и устойчивость различных типов конструкций при статических и динамических нагрузках	ПК-3.2 Умеет пользоваться программным обеспечением для моделирования напряженного состояния при статических и динамических нагрузках; использовать нормативно-техническую документацию (нормы прочности, авиационные правила, руководство для конструкторов по прочности)	ПК-3.3 Владеет навыками анализа результатов расчетных и экспериментальных исследований в рамках проектно-конструкторской и производственно-технологической деятельности

Таблица 2 – Паспорт фонда оценочных средств

Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Формируемая компетенция	Наименование оценочного средства	Показатели оценки
Раздел 1. Анализ напряженного состояния	ОПК-5.2	Практическая работа	Полнота и правильность выполнения заданий. Демонстрирует практическое использование математических методов.

Раздел 2. Теория деформированного состояния	ОПК-5.2	Практическая работа	Полнота и правильность выполнения заданий. Демонстрирует практическое использование математических методов.
Раздел 3. Основные уравнения теории упругости	ОПК-5.1, ОПК-5.2, ПК-3.1	Практическая работа	Полнота и правильность выполнения заданий. Демонстрирует практическое использование математических методов.
Раздел 4. Задачи о равновесии упругих тел	ОПК-5.3, ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3	Практическая работа, РГР	Полнота и правильность выполнения заданий. Демонстрирует практическое использование математических методов. Качество оформления (аккуратность, логичность, для чертежно-графических работ - соответствие требованиям единой системы конструкторской документации); достаточность пояснений.
Раздел 5. Основные сведения теории пластичности	ОПК-5.2	Практическая работа	Полнота и правильность выполнения заданий. Демонстрирует практическое использование математических методов.
Раздел 6. Определяющие соотношения теории пластичности	ОПК-5.2	Практическая работа	Полнота и правильность выполнения заданий. Демонстрирует практическое использование математических методов.
Раздел 7. Задачи и теоремы теории пластичности	ОПК-5.3, ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3	Практическая работа, РГР	Полнота и правильность выполнения заданий. Демонстрирует практическое использование математических методов. Качество оформления (аккуратность, логичность, для чертежно-графических работ - соответствие требованиям единой системы конструкторской документации); достаточность пояснений.
Раздел 8. Основные сведения о ползучести металлов	ОПК-5.3, ПК-3.1, ПК-3.2,	Практическая работа, РГР	Полнота и правильность выполнения заданий. Демонстрирует практическое ис-

	ПК-3.3		пользование математических методов. Качество оформления (аккуратность, логичность, для чертежно-графических работ - соответствие требованиям единой системы конструкторской документации); достаточность пояснений.
Все разделы	ОПК-5.1, ПК-3.1	экзамен	Полнота ответа на вопрос экзаменационного билета

2 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, представлены в виде технологической карты дисциплины (таблица 3).

Таблица 3 – Технологическая карта

Наименование оценочного средства	Сроки выполнения	Шкала оценивания	Критерии оценивания
5 семестр Промежуточная аттестация в форме «Зачет»			
Практическая работа	В течение семестра	10 баллов	10 баллов – студент правильно выполнил практические задания. Показал отличные умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все дополнительные вопросы. 7 баллов – студент выполнил практические задания с небольшими неточностями. Показал хорошие умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов. 3 балла – студент выполнил практические задания с существенными неточностями. Показал удовлетворительные умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей. 0 баллов – при выполнении практических заданий студент продемонстрировал недостаточный уровень умений.

			При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.
РГР	В течение семестра	10 баллов	10 баллов – студент правильно выполнил задания. Показал отличные умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все дополнительные вопросы. 7 баллов – студент выполнил задания с небольшими неточностями. Показал хорошие умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов. 3 балла – студент выполнил задания с существенными неточностями. Показал удовлетворительные умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей. 0 баллов – при выполнении заданий студент продемонстрировал недостаточный уровень умений. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.
ИТОГО:		20 баллов	
<p>Критерии оценки результатов обучения по дисциплине: Пороговый (минимальный) уровень для аттестации в форме зачета – 75 % от максимально возможной суммы баллов</p>			

Наименование оценочного средства	Сроки выполнения	Шкала оценивания	Критерии оценивания
<p>6 семестр Промежуточная аттестация в форме «Экзамен»</p>			
Практическая работа	В течение семестра	10 баллов	10 баллов – студент правильно выполнил практические задания. Показал отличные умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все дополнительные вопросы. 7 баллов – студент выполнил практические задания с небольшими неточностями. Показал хорошие умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов. 3 балла – студент выполнил практиче-

			<p>ские задания с существенными неточностями. Показал удовлетворительные умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</p> <p>0 баллов – при выполнении практических заданий студент продемонстрировал недостаточный уровень умений. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</p>
РГР	В течение семестра	10 баллов	<p>10 баллов – студент правильно выполнил задания. Показал отличные умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все дополнительные вопросы.</p> <p>7 баллов – студент выполнил задания с небольшими неточностями. Показал хорошие умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</p> <p>3 балла – студент выполнил задания с существенными неточностями. Показал удовлетворительные умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</p> <p>0 баллов – при выполнении заданий студент продемонстрировал недостаточный уровень умений. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</p>
Текущий контроль:		20 баллов	
Экзамен:		10 баллов	<p>10 баллов - студент правильно ответил на теоретический вопрос билета. Показал отличные знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все дополнительные вопросы.</p> <p>7 баллов - студент ответил на теоретический вопрос билета с небольшими неточностями. Показал хорошие знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</p> <p>3 балла - студент ответил на теоретиче-</p>

			ский вопрос билета с существенными неточностями. Показал удовлетворительные знания в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей. 0 баллов - при ответе на теоретический вопрос билета студент продемонстрировал недостаточный уровень знаний. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.
ИТОГО:		30 баллов	
<p>Критерии оценки результатов обучения по дисциплине: 0 – 64 % от максимально возможной суммы баллов – «неудовлетворительно» (недостаточный уровень для промежуточной аттестации по дисциплине); 65 – 74 % от максимально возможной суммы баллов – «удовлетворительно» (пороговый (минимальный) уровень); 75 – 84 % от максимально возможной суммы баллов – «хорошо» (средний уровень); 85 – 100 % от максимально возможной суммы баллов – «отлично» (высокий (максимальный) уровень)</p>			

3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций в ходе освоения образовательной программы

3.1 Задания для текущего контроля успеваемости

Практические работы (5 семестр)

Задание 1. Найти инварианты и главные значения тензора напряжений, девиатор

напряжений, шаровой тензор: $\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 2 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix}$.

Задание 2. По данному закону деформирования определить компоненты перемещения, лагранжев тензор бесконечно малых деформаций, лагранжев тензор конечных деформаций: $x_1 = X_1 + 3X_2$, $x_2 = X_2 - 4X_3$, $x_3 = X_3 - 3X_1 - 3X_2$.

Задание 3. По данному закону деформирования определить тензор напряжений соответствующий деформированию при заданных упругих константах: $x_1 = X_1 + 3X_2$, $x_2 = X_2 - 4X_3$, $x_3 = X_3 - 3X_1 - 3X_2$, $\nu = 0.21$, $E = 100000 \text{ Па}$.

Задание 4. Дана тонкая прямоугольная пластинка длиной l , высотой h и толщиной в единицу. Внешние силы, приложенные по кромкам и равномерно распределенные по их толщине, создают обобщенное плоское напряженное состояние пластинки. Объемные силы отсутствуют. Проверить возможность существования функции напряжения: $\varphi = ax^2$.

Найти выражения для компонент напряжений. Используя контурные условия, выяснить характер внешних нагрузок.

Практические работы (6 семестр)

Задание 1. Для заданного напряженного состояния, получить кривые текучести в плоскости $\sigma - \tau$ в соответствии с критериями Треска и Мизеса, если предел текучести при

простом растяжении равен σ_T :
$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma & \tau & 0 \\ \tau & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Задание 2. Для заданного напряженного состояния найти отношения приращений

пластических деформаций:
$$\sigma_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma & 0 & 0 \\ 0 & -\sigma & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Задание 3. Дан стержень постоянного сечения ($F = 10 \text{ мм}^2$) с закрепленными концами, подвергающийся в середине действию активной силы $P = 60 \text{ кГ}$. Найти опорные реакции стержня методом последовательных приближений. Модуль упругости $E = 2 \cdot 10^6 \text{ кГ/мм}^2$, модуль упрочнения $E' = 2 \cdot 10^4 \text{ кГ/мм}^2$.

Задание 4. Толстое кольцо (внутренний радиус a , внешний b) испытывает внутреннее равномерное радиальное давление p_a . Найти то значение p_a (предел пластического сопротивления кольца), при достижении которого вся труба вовлекается в пластическое состояние.

Задание 5. Найти кривую деформации обратной ползучести для стандартного линейного твердого тела при законе нагружения: σ_0 при $0 \leq t \leq 2t_0$ и 0 при $t > 2t_0$.

Задание 6. Решение задачи чистого изгиба стержня в условиях ползучести.

3.2. Задания для промежуточной аттестации

Расчетно-графическая работа (5 семестр)

Задание. (Реализуется в форме практической подготовки) **Аналитическое и численное решение задачи о равновесии упругих тел.**

Численное решение выполняется с помощью САЕ-систем.

Примеры заданий:

1. Одноосное сжатие стержня (3D);
2. Одноосное растяжение стержня под собственным весом (3D);
3. Одноосное сжатие стержня под собственным весом (2D);
4. Чистый изгиб стержня (3D);
5. Кручение стержня (круглое сечение) (3D);
6. Решить задачу Ламе (2D);
7. Чистый изгиб стержня (2D).

Параметры задач выдаются преподавателем по вариантам.

Расчетно-графическая работа (6 семестр)

Задание 1. (Реализуется в форме практической подготовки). Приведено решение задачи теории пластичности (случай плоской деформации, материал идеально-

пластический) и выписаны формулы для напряжений. Предлагается: а) проверить, удовлетворяют ли написанные формулы для напряжений уравнениям теории пластичности (дифференциальным уравнениям равновесия и условиям пластичности); б) выяснить граничные условия. Решить задачу в САЕ-системе.

Варианты для прямоугольной пластины:

1. $\sigma_x = C + 2\sqrt{k^2 - C^2}$, $\sigma_y = C$, $\tau_{xy} = C_1$,
2. $\sigma_x = C - 2\sqrt{k^2 - C^2}$, $\sigma_y = C$, $\tau_{xy} = C_1$
3. $\sigma_x = Cx - 2\sqrt{k^2 - C^2}y^2$, $\sigma_y = Cx$, $\tau_{xy} = Cy$

Варианты для кругового сектора:

1. $\sigma_\theta = -k \cos 2\theta + 4\sqrt{k^2 - \tau_{r\theta}^2} \ln r + C$, $\sigma_r = -3k \cos 2\theta + 4\sqrt{k^2 - \tau_{r\theta}^2} \ln r + C$,
 $\tau_{r\theta} = -k \sin 2\theta$,
2. $\sigma_\theta = -k \cos(C + 2\theta) + 4\sqrt{k^2 - \tau_{r\theta}^2} \ln r$, $\sigma_r = -3k \cos(C + 2\theta) + 4\sqrt{k^2 - \tau_{r\theta}^2} \ln r$,
 $\tau_{r\theta} = -k \sin(C + 2\theta)$,
3. $\sigma_\theta = k \cos 2\theta - 4\sqrt{k^2 - \tau_{r\theta}^2} \ln r$, $\sigma_r = 3k \cos 2\theta - 4\sqrt{k^2 - \tau_{r\theta}^2} \ln r$, $\tau_{r\theta} = k \sin 2\theta$.

Задание 2 (Реализуется в форме практической подготовки). Анализ напряженно-деформированного состояния при изгибе стержня с учетом свойств установившейся ползучести, релаксации напряжений и упругой разгрузки.

Параметры задач выдаются преподавателем по вариантам.

Контрольные вопросы к экзамену (6 семестр)

1. Понятие о пределе пластичности Треска и Мизеса.
2. Понятие об эффекте Баушингера.
3. Упругие и пластические деформации.
4. Поверхность нагружения. Упрочнение и разупрочнение.
5. Параметры состояния упрочняющейся пластической среды, уравнения поверхности нагружения и упругой (жесткой) области.
6. Разгрузка, нейтральное нагружение и нагружение для регулярных точек поверхности нагружения.
7. Неравенство диссипации. Постулат упрочнения Друкера.
8. Уравнение Прагера.
9. Уравнение Прандтля – Рейсса.
10. Уравнение Сен – Венана-Мизеса.
11. Соотношение Надаи – Генки.
12. Постановка задач теории пластичности.
13. Теорема Ильюшина о простом нагружении.
14. Теорема о разгрузке и определении остаточных напряжений.
15. Кривые ползучести, релаксации и изохронные кривые по теории старения
16. Теория установившейся ползучести. Теория старения. Гипотеза теории старения.
17. Теория течения. Теория упрочнения.
18. Наследственные теории ползучести.
19. Кинетические уравнения ползучести.
20. Поведение при ступенчатом нагружении: эксперимент и теория.

