

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



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 27 » февраля 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Механика материалов  
(наименование)

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

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

**Общая трудоёмкость:** 540 (15)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 28.03.03 Наноматериалы  
(код и наименование направления)

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

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины – дать студентам знания, умения и навыки в области теоретических и экспериментальных методов изучения упругих, пластических и вязкоупругих свойств материалов, в том числе наноматериалов, необходимые для последующего изучения специальных инженерных дисциплин; приобретений умений и навыков описания напряженно-деформированного состояния упругих тел, построения кинематических полей деформаций и напряжений при расчете конструкций; ознакомление с основными принципами механики деформирования структурно неоднородных и наноматериалов, изучение влияния поверхностей раздела, компонентов и технологических процессов на макроскопические свойства структурно-неоднородных и наноматериалов.

Задачи дисциплины:

- изучение основных закономерностей механического поведения упругих материалов при температурно-силовых воздействиях, изотропных и анизотропных материалов при возникновении пластических деформаций; изучение общих принципов анализа, напряженного состояния элементов конструкций; изучение основных принципов построения моделей методов проектирования физико-механических свойств структурно неоднородных и наноматериалов;
- формирование умения устанавливать конкретный вид определяющих соотношений упругости для частных случаев свойств материалов; формирование умения учитывать структуру материала при прогнозировании эффективных свойств нанокompозитов; определения эффективных упругих и прочностных свойств структурно неоднородных и наноматериалов;
- формирование навыков вычисления удлинений линейных элементов и углов между ними, а также других характеристик напряженно-деформированного состояния в точке (векторов напряжений, главных линейных деформаций, главных нормальных напряжений, инвариантов тензоров деформаций и напряжений); определения значений упругих констант материалов; формирование навыков решения краевых задач структурно-феноменологическим методом;

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- упругопластические свойства материалов;
- параметры внутреннего состояния материалов;
- математические модели упругого поведения материалов и тел;
- вязкоупругие свойства полимерных материалов;
- математические модели неупругого поведения материалов;
- физико-механические свойства структурно неоднородных и наноматериалов;
- макроскопические свойства структурно неоднородных и наноматериалов;
- анизотропные и конструкционные свойства структурно неоднородных и нано-материалов;
- краевые задачи;
- модели прочности и разрушения.

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.4	ИД-1ПК-1.4	<p>Знать физический и математический смысл величин, описывающих внутреннее макроскопическое состояние деформируемых материалов, и основные соотношения, устанавливающие взаимосвязи между этими величинами; основные уравнения упругости материалов для перемещений, деформаций и напряжений и основные типы граничных условий; теоретические и экспериментальные методы изучения пластических и вязкоупругих свойств материалов, методы и приёмы решения нелинейных краевых задач, расчета и анализа остаточных напряжений и деформаций.</p>	<p>Знает основные методы исследования свойств материалов и процессов их обработки и переработки, методы анализа, систематизации, представления и обобщения данных путем применения комплекса методов при решении конкретных задач, возможности инженерных программных комплексов в области оценки состояния технических объектов;</p>	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.4	ИД-2ПК-1.4	<p>Уметь применять теорию малых деформаций и теорию напряжений Коши для описания напряженно-деформированного состояния упругих тел; устанавливать конкретный вид определяющих соотношений упругости для частных случаев свойств материалов, делать постановки краевых задач с граничными условиями основных типов; составлять компьютерные программы расчета полей напряжений и деформаций в упругопластических и вязкоупругих телах, использовать основные приемы обработки экспериментальных данных испытаний пластических и вязкоупругих свойств материалов.</p>	<p>Умеет использовать методы моделирования и разработки технологических процессов формирования неоднородных наноструктурированных материалов, реализовывать алгоритмы пакетов прикладных вычислительных программах;</p>	Контрольная работа
ПК-1.4	ИД-3ПК-1.4	<p>Владеть навыками вычисления удлинений линейных элементов и углов между ними, а также других характеристик напряженно-деформированного состояния в точке; навыками определения значений упругих констант материалов; навыками построения кинематических допустимых полей деформаций и статически допустимых полей напряжений; навыками анализа напряженного состояния элементов конструкций,</p>	<p>Владеет навыками использования методов синтеза структуры, численного моделирования, механического поведения и прогнозирования эффективных свойств конструкционных материалов;</p>	Курсовая работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		проведения исследований пластических и вязкоупругих свойств материалов и описания полученных результатов.		
ПК-1.5	ИД-1ПК-1.5	Знать современные механизмы структурного и макроскопического разрушения композитов; классификацию, номенклатуру и свойства структурно неоднородных наноматериалов; основы диагностики и моделирования свойств структурно неоднородных наноматериалов.	Знает физико-химические характеристики наноструктурированных композиционных материалов ; основные теории прочности, закономерности процессов разрушения наноматериалов, причины и условия разрушения материала, основные подходы к описанию процессов накопления повреждений современных материалов и наноматериалов	Дифференцированный зачет
ПК-1.5	ИД-2ПК-1.5	Уметь проводить оценку упругих и прочностных характеристик структурно неоднородных наноматериалов; рассчитывать предельные поверхности прочности структурно не-однородных наноматериалов; устанавливать связи между структурными и макро-параметрами деформирования нанокомпозитных материалов; осуществлять постановку краевой задачи механики структурно неоднородных материалов с периодической и стохастической структурой.	Умеет выбирать и применять средства измерения для определения свойств наноструктурированных композиционных материалов ,	Контрольная работа
ПК-1.5	ИД-3ПК-1.5	Владеть навыками исследования структуры структурно неоднородных наноматериалов; навыками моделирования	Владеет навыками экспериментального исследования процессов разрушения структурно неоднородных и наноматериалов	Курсовая работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		свойств структурно неоднородных наноматериалов на макроуровне и на структурном уровне; навыками прогнозирования и оптимизации макроскопических свойств структурно неоднородных наноматериалов.		

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах		
		Номер семестра		
		5	6	7
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	200	62	62	76
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:				
- лекции (Л)	82	22	24	36
- лабораторные работы (ЛР)				
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	108	36	36	36
- контроль самостоятельной работы (КСР)	10	4	2	4
- контрольная работа				
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	268	82	82	104
2. Промежуточная аттестация				
Экзамен	72	36	36	
Дифференцированный зачет	9			9
Зачет				
Курсовой проект (КП)				
Курсовая работа (КР)	36		18	18
Общая трудоемкость дисциплины	540	180	180	180

### 4. Содержание дисциплины

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

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Часть 1. Теория упругости. Основные понятия и гипотезы упругости анизотропных материалов. Теория напряжений. Теория деформаций.	15	0	16	43
Введение. Основные определения и терминология, цель, задачи и основные разделы лекционного курса, другие формы занятий. История развития теории упругости. Математические основы МДТГ. Тензорный анализ: свободные индексы, скалярное произведение, операции дифференцирования, градиент. Метрика пространства и меры деформаций. Линейные элементы и углы между ними. Тензоры малых деформаций и малых вращений. Геометрические соотношения Коши. Основные уравнения теории деформаций. Уравнения совместности деформаций. Вычисление перемещений по заданному полю деформаций, формула Чезаро. Принцип напряжений. Вектор напряжений. Тензор напряжений. Вычисление векторов напряжений на произвольной площадке по заданному тензору напряжений. Уравнения равновесия. Уравнения равновесия в напряжениях. Условия равновесия в напряжениях на границе. Статически допустимые поля напряжений. Главные напряжения и главные направления. Разложение тензора напряжений на шаровую часть и девиатор.				
Теория определяющих соотношений. Обобщенный закон Гука. Краевые задачи упругости анизотропных материалов	7	0	20	39
Общие положения теории определяющих соотношений. Тензоры модулей упругости и упругих податливостей. Упругий потенциал. Физическая, технологическая и деформационная анизотропия упругих свойств. Обобщенный закон Гука. Упругие свойства конструкционных материалов и композитов. Частные случаи анизотропии упругих свойств. Технические постоянные упругости. Энергетические принципы в теории упругости. Упругое поведение материалов. Энергия деформации и упругий потенциал. Термодинамические соотношения. Плоское деформированное и плоское напряженное состояния. Полная система уравнений упругости анизотропных материалов. Уравнения равновесия в напряжениях и перемещениях. Геометрические и определяющие соотношения. Типы граничных условий. Работа внешних сил. Типы краевых задач упругости				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
анизотропных материалов. Краевые задачи упругости анизотропных материалов в перемещениях и напряжениях. Теорема Клапейрона. Теорема об единственности решения краевых задач упругости анизотропных материалов.				
ИТОГО по 5-му семестру	22	0	36	82
6-й семестр				
Часть 2. Теория пластичности и вязкоупругости. Пластичность анизотропных материалов.	12	0	20	42
Задачи теории пластичности. Диаграммы деформирования материалов. Обратимая и необратимая части деформаций, остаточные деформации и напряжения. Условные и истинные напряжения и деформации. Условный предел текучести. Эффект Баушингера. Условия начала пластического течения. Поверхности пластичности в пространстве напряжений. Условие Треска-Сен-Венана. Условия начала пластического течения. Поверхности пластичности в пространстве напряжений. Условие Хубера-Мизеса-Генки. Варианты условий пластичности для анизотропных тел. Диаграммы деформирования материалов, методы их построения и схематизация. Основные модели пластических сред. Девиаторы напряжений и деформаций. Интенсивности напряжений и деформаций. Гипотеза единой кривой. Теория малых упругопластических деформаций А.А. Ильюшина. Гипотезы. Определяющие соотношения. Функция пластичности Ильюшина. Понятия простого и сложного нагружений. Теорема о простом нагружении. Теоремы теории малых упругопластических деформаций А.А. Ильюшина. Итерационные методы решения задач теории пластичности. Метод переменных параметров упругости. Метод дополнительных напряжений. Метод дополнительных деформаций. Деформационная теория пластичности анизотропных сред Б.Е. Победри. Варианты определяющих соотношений для трансверсально изотропных и ортотропных материалов. Функции пластичности и их аргументы.				
Вязкоупругость анизотропных материалов.	12	0	16	40
Свойство ползучести материалов. Расчет деформаций при ползучести. Свойство релаксации. Расчет напряжений при релаксации. Структурные модели				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
вязкоупругого поведения материалов. Уравнение Кельвина. Влияние режимов нагружения на релаксационные процессы. Описание процессов ползучести при нагружении с различной скоростью. Влияние режимов нагружения на релаксационные процессы. Описание процессов релаксации при деформировании с различной скоростью. Деформирование вязкоупругих материалов при различных температурах. Температурно-временная аналогия. Экспериментальные исследования. Уравнения теории вязкоупругости анизотропных сред в условиях сложного напряженного состояния. Расчет зависимости напряжений от времени для различных многоэтапных режимов деформирования. Расчет зависимости деформаций от времени при экспериментальных исследованиях для различных многоэтапных режимов нагружения.				
ИТОГО по 6-му семестру	24	0	36	82
7-й семестр				
Часть 3. Механика структурно-неоднородных материалов. Общие сведения о структурно неоднородных наноматериалах и механике деформируемого твердого тела.	7	0	8	14
Основные определения. Определение и классификация компонентов композиционных материалов, наноструктурные компоненты. Классификация структурно неоднородных наноматериалов. Фазовая структура композитов и нанокомпозитов. Понятие и виды межфазного взаимодействия. Общие положения механики деформируемого твердого тела. Определяющие соотношения и постановка задачи деформирования упругого тела. Понятия вязкоупругости и упруго пластического тела.				
Модели композиционных материалов и схемы расчетов.	16	0	20	36
Понятие о модели микронеоднородной среды. Микроскопические и макроскопические величины и их связь. Эффективные определяющие соотношения. Теория эффективного модуля. Подходы Фойгта и Рейса. Вилка Хашина – Штрикмана. Некоторые методы определения эффективных характеристик. Осреднение регулярных структур. Статическая задача теории упругости в перемещениях и напряжениях. Задача для слоистых упругих				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
композитов в перемещениях и напряжениях. Теория ну-левого приближения. Волокнистые упругие композиты. Однонаправленный волокнистый композит. Решение плоской и антиплоской задачи. Примеры модельных задач. Композит с продольно-поперечной укладкой.				
Структурно феноменологическая модель и основы теории прочности и разрушения композитов и нанокompозитов.	13	0	8	54
Структурно феноменологическая модель деформирования и разрушения композиционных материалов. Постановка краевой задачи теории упругости структурно неоднородной среды. Модель структурно неоднородной среды. Постановка краевой задачи теории упругости структурно неоднородной среды. Макроскопические модули упругости ком-позиционных материалов. Метод периодических составляющих. Метод локального приближения. Краевая задача механики деформирования и разрушения структурно неоднородных сред. Не-упругое деформирование композитов и процессы структурного разрушения. Феноменологические модели механики разрушения. Определяющие соотношения деформационной теории поврежденных сред. Современные модельные представления об особенностях разрушения композиционных и нано-структурных материалов. Механизмы и критерии разрушения композитов. Материальные функции деформационной теории поврежденных сред. Модели разрушения по совокупности критериев.				
ИТОГО по 7-му семестру	36	0	36	104
ИТОГО по дисциплине	82	0	108	268

#### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Анализ диаграмм деформирования материалов. Определение на них предела текучести, модуль упрочнения и других характеристик.
2	Расчет зависимости напряжений от времени для различных многоэтапных режимов деформирования. Приемы обработки экспериментальных данных.
3	Решение задач о матрице упругих компонент для разных видов анизотропий.
4	Вычисление перемещения по заданному полю деформаций.

<b>№ п.п.</b>	<b>Наименование темы практического (семинарского) занятия</b>
5	Определение основных этапов решения задач механики композитов на примерах.
6	Расчет балки-стенки (тонкая пластина). Построение эпюр напряжений и деформаций.
7	Температурно-временная аналогия. Экспериментальные исследования и построение зависимостей.
8	Разложение тензора напряжений на шаровую часть и девиатор.
9	Изучение диаграмм деформирования материалов и понятий девиаторы, инварианты тензоров напряжений и деформаций.
10	Уравнения теории вязкоупругости анизотропных сред в условиях сложного напряженного состояния.
11	Расчет остаточных напряжений и деформаций в стержневых системах.
12	Тензорный анализ.
13	Варианты определяющих соотношений для трансверсально изотропных и ортотропных материалов. Функции пластичности и их аргументы.
14	Тензор деформаций Коши. Геометрические соотношения Коши.
15	Вектор напряжений и его составляющие. Вектор напряжений на произвольной площадке. Поверхность напряжений Коши.
16	Сравнение методов переменных параметров упругости, дополнительных напряжений и метода дополнительных деформаций при решении практических задач.
17	Круговые диаграммы Мора.
18	Постановка краевой задачи механики композитов с периодической и стохастической структурой.
19	Решение задач для неперемеодических структур методом нулевого приближения.
20	Главные напряжения и главные направления. Инварианты тензора напряжений.
21	Вычисление эффективных модулей упругости по моделям Хашина-Штрикмана. Построение вилки Хашина-Штрикмана.
22	Вычисление тензора Лагранжа-Грина по полю перемещений.
23	Расчет структурных напряжений и деформаций в квазиизотропных композитах.
24	Решение краевой задачи механики композитов традиционным методом.

### Тематика примерных курсовых проектов/работ

<b>№ п.п.</b>	<b>Наименование темы курсовых проектов/работ</b>
1	Расчёт углов, образуемых вектором напряжений с координатными осями $x_i$ и нормалью к площадке.
2	Расчёт проекции на оси $x_i$ вектора напряжений на площадке с нормалью.
3	Расчет процесса деформирования пучка волокон упругопластического материала при растяжении.
4	Расчёт напряженно-деформированного состояния стержня из упругопластического материала при кручении.
5	Расчёт напряженно-деформированного состояния при изгибе балки упругопластического материала.

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
6	Расчет эффективных модулей объемно-армированных композитов.
7	Расчёт инвариантов тензора и главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ .
8	Расчет эффективных модулей однонаправленных волокнистых композитов.
9	Моделирование процесса структурного разрушения.
10	Расчет полей напряжений в структурных элементах композиционного материала.

## 5. Организационно-педагогические условия

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

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии.

### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

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

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

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		

1	Демидов С. П. Теория упругости : учебник для вузов. Москва : Высшая школа, 1979. 432 с.	31
2	Механика материалов. Методы и средства экспериментальных исследований / Вильдеман В. Э., Бабушкин А. В., Третьяков М. П., Ильиных А. В., Третьякова Т.В., Ипатова А. В., Словигов С. В., Лобанов Д. С. Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2011. 164 с. 10,5 усл. печ. л.	36
3	Полимерные композиционные материалы. Прочность и технология / Баженов С. Л., Берлин А. А., Кульков А. А., Ошмян В. Г. Долгопрудный : Интеллект, 2010. 347 с.	25
4	Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология : учебное пособие для вузов / Кербер М. Л., Виноградов В. М., Головкин Г. С., Горбаткина Ю. А. Санкт-Петербург : Профессия, 2008. 557 с.	25
5	Саргсян А. Е. Сопротивление материалов, теории упругости и пластичности. Основы теории с примерами расчетов : учебник для вузов. Москва : Изд-во АСВ, 1998. 240 с.	20
6	Тимошенко С. П. История науки о сопротивлении материалов. С краткими сведениями из истории теории упругости и теории сооружений : пер. с англ. 2-е изд., стер. М. : УРСС, 2006. 536 с.	25
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Амензаде Ю. А. Теория упругости : учебник для вузов. 3-е изд., доп. Москва : Высшая школа, 1976. 272 с.	20
2	Вильдеман В. Э., Соколкин Ю. В., Ташкинов А. А. Механика неупругого деформирования и разрушения композиционных материалов. М. : Наука : Физматлит, 1997. 288 с.	3
3	Геллер Б. Э., Геллер А. А., Чиртулов В. Г. Практическое руководство по физико-химии волокнообразующих полимеров : учебное пособие для студентов высших учебных заведений. 2-е изд., испр. и доп. Москва : Химия, 1996. 432 с.	12
4	Зубчанинов В. Г. Основы теории упругости и пластичности : учебник для вузов. Москва : Высш. шк., 1990. 368 с.	9
5	Икрин В.А. Сопротивление материалов с элементами теории упругости и пластичности : Учеб. для вузов. М. : Изд-во АСВ, 2005. 423 с.	5
6	Ильюшин А. А., Победра Б. Е. Основы математической теории термовязкоупругости. М. : Наука, 1970. 280 с.	1
7	Кожаринова Л. В. Основы теории упругости и пластичности : учебное пособие для вузов. Москва : Изд-во АСВ, 2010. 136 с. 8,5 усл. печ. л.	9
8	Композиционные материалы : справочник / Васильев В. В., Протасов В. Д., Болотин В. В., Алфутов Н. А. Москва : Машиностроение, 1990. 510 с.	48
9	Контактные задачи теории упругости для неоднородных сред / Айзикович С.М., Александров В.М., Белоконов А.В., Кренев Л.И., Трубчик И.С. М. : Физматлит, 2006. 236 с.	3
10	Ломакин В. А. Теория упругости неоднородных тел : учебное пособие. 2-е изд. Москва : Ленанд : УРСС, 2014. 367 с. 23,5 печ. л.	7
11	Малинин Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести : учебное пособие для вузов. Москва : Машиностроение, 1968. 400 с.	16
12	Методы прикладной вязкоупругости / Адамов А. А., Матвеев В. П., Труфанов Н. А., Шардаков И. Н. Екатеринбург : УрО РАН, 2003. 411 с.	37

13	Новацкий В. Теория упругости : пер. с польск. Москва : Мир, 1975. 872 с.	4
14	Победря Б. Е. Численные методы в теории упругости и пластичности : учебное пособие для вузов. Москва : Изд-во МГУ, 1981. 343 с.	8
15	Победря Б.Е. Механика композиционных материалов : учебное пособие для вузов. Москва : Изд-во МГУ, 1984. 336 с.	9
16	Победря Б.Е., Георгиевский Д.В. Лекции по теории упругости. М. : Эдиториал УРСС, 1999. 205 с.	1
17	Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела : учебное пособие. 2-е изд., испр. Москва : Наука : Физматлит, 1988. 712 с.	46
18	Шевченко А. А. Физикохимия и механика композиционных материалов : учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург : Профессия, 2010. 223 с.	6
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Ильюшин А. А. Основы математической теории термовязкоупругости / А. А. Ильюшин, Б. Е. Победря. - М.: Наука, 1970.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks120037">http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks120037</a>	локальная сеть; свободный доступ
Дополнительная литература	Ломакин В. А. Теория упругости неоднородных тел : учебное пособие для вузов / В. А. Ломакин. - Москва: Изд-во МГУ, 1976.	<a href="http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib2993">http://elib.pstu.ru/vufind/Record/RUPNRPUelib2993</a>	локальная сеть; свободный доступ
Дополнительная литература	Победря Б.Е. Механика композиционных материалов : учебное пособие для вузов / Б.Е. Победря. - Москва: Изд-во МГУ, 1984.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2493">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2493</a>	локальная сеть; свободный доступ
Основная литература	Механика материалов. Методы и средства экспериментальных исследований / В. Э. Вильдеман [и др.]. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3324">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib3324</a>	локальная сеть; свободный доступ

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

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	MS Windows XP (подп. Azure Dev Tools for Teaching до 27.03.2022 )
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.
Системы управления проектами, исследованиями, разработкой, проектированием, моделированием и внедрением	ANSYS ( лиц. 444632 ЦВВС)

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

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	<a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
База данных Web of Science	<a href="http://www.webofscience.com/">http://www.webofscience.com/</a>
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

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

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Курсовая работа	Компьютер	12
Лекция	Ноутбук	1
Лекция	Проектор	1
Лекция	Экран	1
Практическое занятие	Компьютер	12
Практическое занятие	Сервогидравлическая двухосевая испытательная система Instron 8850 (100 кН/1000 Нм)	1
Практическое занятие	Система универсальная сервогидравлическая Instron 8801 (100 кН)	1
Практическое занятие	Электродинамическая испытательная система Instron ElectroPuls E10000	1

## **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»**

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

(фонд оценочных средств)

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
«Механика материалов»

*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Направление подготовки:</b>	28.03.03 Наноматериалы
<b>Направленность (профиль) образовательной программы:</b>	Информационные технологии механики и наноматериаловедения
<b>Квалификация выпускника:</b>	«Бакалавр»
<b>Выпускающая кафедра:</b>	Экспериментальная механика и конструкционное материаловедение
<b>Форма обучения:</b>	Очная
<b>Форма промежуточной аттестации:</b>	5 семестр – экзамен; 6 семестр – экзамен, курсовая работа; 7 семестр – дифференцированный зачет, курсовая работа.

**Оценочные материалы** (фонд оценочных средств) для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

### 1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение трех семестров (5, 6, 7-го семестра учебного плана) и разбито на 7 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля				
	Текущий	Промежуточный / рубежный		Итоговый	
	ТО	ПЗ/КР	5 семестр - Экзамен	6 семестр - Экзамен	7 семестр - Диф.зач.
<b>Усвоенные знания</b>					
<b>3.1</b> Знать физический и математический смысл величин, описывающих внутреннее макроскопическое состояние деформируемых материалов, и основные соотношения, устанавливающие взаимосвязи между этими величинами; основные уравнения упругости материалов для перемещений, деформаций и напряжений и основные типы граничных условий; теоретические и экспериментальные методы изучения пластических и вязкоупругих свойств материалов, методы и приёмы решения нелинейных краевых задач, расчета и анализа остаточных напряжений и деформаций.	ТО	КР	ТВ	ТВ	ТВ
<b>3.2</b> Знать современные механизмы структурного и макроскопического разрушения композитов; классификацию, номенклатуру и свойства структурно неоднородных наноматериалов; основы диагностики и моделирования свойств структурно неоднородных наноматериалов.	ТО	КР	ТВ	ТВ	ТВ
<b>Усвоенные умения</b>					
<b>У.1</b> Уметь применять теорию малых деформаций и теорию напряжений Коши		ПЗ	ПЗ	ПЗ	ПЗ

для описания напряженно-деформированного состояния упругих тел; устанавливать конкретный вид определяющих соотношений упругости для частных случаев свойств материалов, делать постановки краевых задач с граничными условиями основных типов; составлять компьютерные программы расчета полей напряжений и деформаций в упругопластических и вязкоупругих телах, использовать основные приемы обработки экспериментальных данных испытаний пластических и вязкоупругих свойств материалов.					
<b>У.2</b> Уметь проводить оценку упругих и прочностных характеристик структурно неоднородных наноматериалов; рассчитывать предельные поверхности прочности структурно не-однородных наноматериалов; устанавливать связи между структурными и макро-параметрами деформирования нанокompозитных материалов; осуществлять постановку краевой задачи механики структурно неоднородных материалов с периодической и стохастической структурой.		ПЗ	ПЗ	ПЗ	ПЗ
<b>Приобретенные владения</b>					
<b>В.1</b> владеть навыками использования методов синтеза структуры, численного моделирования, механического поведения и прогнозирования эффективных свойств конструкционных материалов		<i>ЗКР</i>	КЗ	КЗ	ПЗ
<b>В.2</b> Владеть навыками исследования структуры структурно неоднородных наноматериалов; навыками моделирования свойств структурно неоднородных наноматериалов на макроуровне и на структурном уровне; навыками прогнозирования и оптимизации макроскопических свойств структурно неоднородных наноматериалов.		<i>ЗКР</i>	КЗ	КЗ	ПЗ

*ТО – коллоквиум (теоретический опрос); КЗ – кейс-задача (индивидуальное задание); ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; ЗКР – защита курсовой работы; КИЗ – комплексное индивидуальное задание на самостоятельную работу; КЗ – комплексное задание экзамена.*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде экзамена, проводимая с учетом результатов текущего и промежуточного и рубежного контроля.

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

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий) и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

- контроль остаточных знаний.

### **2.1. Текущий контроль усвоения материала**

Текущий контроль усвоения материала в форме выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 5-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

### **2.2. Промежуточный и рубежный контроль**

Промежуточный и рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты практических работ и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины), выполнения курсовой работы.

#### **2.2.1. Рубежная контрольная работа**

Запланированы 4 рубежные контрольные работы (КР). Первая КР в 5 семестре по модулю 1 «Теория упругости. Основные понятия и гипотезы упругости анизотропных материалов. Теория деформаций. Теория напряжений», вторая КР в 5 семестре – по модулю 2 «Теория определяющих соотношений. Обобщенный закон Гука. Краевые задачи упругости анизотропных материалов». Третья КР в 6

семестре по части 2 «Теория пластичности и вязкоупругости». Четвертая КР запланирована в 7 семестре по части 3 «Механика структурно-неоднородных материалов.»

**Типовые задания первой КР:**

1. Принцип напряжений. Вектор напряжений. Тензор напряжений. Вычисление векторов напряжений на произвольной площадке по заданному тензору напряжений.

2. Вычисление перемещений по заданному полю деформаций, формула Чезаро.

**Типовые задания второй КР:**

1. Общие положения теории определяющих соотношений. Тензоры модулей упругости и упругих податливостей.

2. Полная система уравнений упругости анизотропных материалов. Уравнения равновесия в напряжениях и перемещениях.

**Типовые задания третьей КР:**

1. Задачи теории пластичности. Диаграммы деформирования материалов. Обратимая и необратимая части деформаций, остаточные деформации и напряжения. Условные и истинные напряжения и деформации. Условный предел текучести. Эффект Баушингера

2. Девиаторы напряжений и деформаций. Интенсивности напряжений и деформаций. Гипотеза единой кривой. Теория малых упругопластических деформаций А.А. Ильюшина. Гипотезы. Определяющие соотношения. Функция пластичности Ильюшина.

**Типовые задания четвертой КР:**

1. Фазовая структура композитов и нанокompозитов.

2. Определяющие соотношения и постановка задачи деформирования упругого тела.

3. Понятие о модели микронеоднородной среды.

4. Примеры модельных задач.

*Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.*

**2.2.2. Выполнение практических заданий**

Согласно РПД запланированы практические занятия (ПЗ). Перечень типовых практических занятий по практическим работам приведен в РПД. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС программы бакалавриата.

**2.2.3. Курсовой проект (работа)**

Согласно РПД в 6 и 7 семестре запланированы курсовые работы. Примерные темы курсовых работ приведены в РПД.

*Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты курсовой работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.*

**2.2.4. Выполнение комплексного индивидуального задания на самостоятельную работу**

Не предусмотрено.

### **2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)**

Допуск к промежуточной аттестации в 5 и 6 семестрах осуществляется по результатам текущего, промежуточного и рубежного контроля. Условиями допуска является положительная интегральная оценка по результатам текущего, промежуточного и рубежного контроля. Промежуточная аттестация в 5 и 6 семестрах, согласно РПД, проводится в виде экзамена по дисциплине устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки усвоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

Допуск к промежуточной аттестации в 7 семестре осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех практических заданий и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля. Промежуточная аттестация в 7 семестре, согласно РПД, проводится в виде дифференцированного по дисциплине устно по вопросам. На зачёте студент должен ответить на один вопрос, для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки усвоенных умений и владений для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных дисциплинарных компетенций.

#### **2.3.1. Типовые вопросы и задания для экзамена в 5 семестре по дисциплине.**

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

1. Геометрические и определяющие соотношения.
2. Типы граничных условий. Работа внешних сил.
3. Типы краевых задач упругости анизотропных материалов.
4. Краевые задачи упругости анизотропных материалов в перемещениях и напряжениях.

##### **Типовые вопросы и практические задания для контроля усвоенных умений:**

1. Решение задач пластичности с помощью деформационной теории пластичности анизотропных сред Б.Е. Победри. Представление вариантов определяющих соотношений для трансверсально изотропных и ортотропных материалов.
2. Девиаторы напряжений и деформаций. Интенсивности напряжений и деформаций. Гипотеза единой кривой.
3. Составление компьютерных программ расчета полей напряжений и деформаций в упругопластических и вязкоупругих телах.

#### **2.3.2. Типовые вопросы и задания для экзамена в 6 семестре по дисциплине.**

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

1. Задачи теории пластичности. Диаграммы деформирования материалов.

Обратимая и необратимая части деформаций, остаточные деформации и напряжения. Условия начала пластического течения. Поверхности пластичности в пространстве напряжений. Условие Треска—Сен-Венана. Условие Хубера—Мизеса—Генки. Варианты условий пластичности для анизотропных тел.

2. Диаграммы деформирования материалов, методы их построения и схематизация. Основные модели пластических сред.

3. Понятия простого и сложного нагружений. Теорема о простом нагружении.

4. Теоремы теории малых упругопластических деформаций А.А. Ильюшина.

5. Деформационная теория пластичности анизотропных сред Б.Е. Победри. Варианты определяющих соотношений для трансверсально изотропных и ортотропных материалов. Функции пластичности и их аргументы.

6. Структурные модели вязкоупругого поведения материалов. Уравнение Кельвина.

**Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:**

1. Анализ напряженного состояния элементов конструкций.

2. Исследование пластических и вязкоупругих свойств материалов и описания полученных результатов.

3. Расчет зависимости деформаций от времени при экспериментальных исследованиях для различных многоэтапных режимов нагружения.

**2.3.3. Типовые вопросы и задания для дифференцированного зачета в 7 семестре по дисциплине.**

**Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Определение и классификация компонентов композиционных материалов, наноструктурные компоненты.

2. Понятие и виды межфазного взаимодействия.

3. Некоторые методы определения эффективных характеристик.

4. Задача для слоистых упругих композитов в перемещениях.

5. Постановка краевой задачи теории упругости структурно неоднородной среды.

6. Материальные функции деформационной теории поврежденных сред.

**Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений и приобретенных владений:**

1. Приведите решение задачи о взаимно обратных операторах упругости для квазиизотропного композита.

2. Рассчитайте значения структурных напряжений в пяти точках квазиизотропного композита на основе наноструктурированной меди.

3. Вычислите эффективных модулей упругости по моделям Фойгта-Рейса и постройте соответствующую вилку значений для волокнистого перекрестно армированного композита с углами укладки волокон  $\pm 45^\circ$ .

4. Вычислите эффективных модулей упругости по моделям Хашина-Штрикмана и постройте соответствующую вилку значений для волокнистого перекрестно армированного композита с углами укладки волокон  $\pm 60^\circ$ .

5. Приведите постановку краевой задачи механики композитов с ортотропной структурой.

6. Рассчитайте эффективный модуль объемно-армированного композита наномодифицированного углепластика на основе связующего УП1727 и схемой армирования 0/90/45.

*Полный перечень теоретических вопросов и практических заданий в форме утвержденного комплекта экзаменационных билетов хранится на выпускающей кафедре.*

#### **2.3.4. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 5-ти балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

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

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

#### **3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций**

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

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

#### **3.2. Оценка уровня сформированности компетенций**

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего, промежуточного и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 5-ти балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

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

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.