

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

« 13 » сентября 20 22 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Микромеханика неоднородных сред
(наименование)

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

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

Общая трудоёмкость: 108 (3)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 15.04.03 Прикладная механика
(код и наименование направления)

Направленность: Динамика и прочность машин, конструкций и механизмов
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Научить выбирать микроструктурные параметры, в терминах которых могут быть выражены эффективные свойства материала, применять методы расчета и оценки эффективных свойств в одночастичном приближении или с учетом взаимодействия включений.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Микроструктурные параметры, эффективные свойства материала, аналитические и полуаналитические методы расчета и оценки эффективных свойств материала, одночастичное приближение и учет взаимодействия включений, самосогласованные схемы.

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-1.1	ИД-1ПК-1.1	Знает основные методы и подходы к построению математических моделей микронеоднородных сред с использованием научно-методического аппарата механики сплошной среды	Знает основные методы и подходы к построению математических моделей различных объектов исследования с использованием научно-методического аппарата механики сплошной среды;	Экзамен
ПК-1.1	ИД-2ПК-1.1	Умеет применять различные методы расчета и оценки эффективных свойств микронеоднородных материалов с учетом и без учета взаимодействия их элементов микроструктуры	Умеет выделять из рассматриваемой проблемы задачу механики, формулировать уравнения математической модели рассматриваемого объекта с использованием научно-методического аппарата механики сплошной среды, принимая необходимые гипотезы, выполнять качественный анализ математической модели;	Контрольная работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.1	ИД-3ПК-1.1	Владеет навыками определения эффективных свойств микронеоднородных сред согласно различным схемам и моделям, выполнения необходимых тензорных выкладок.	Владеет навыками построения математических моделей рассматриваемого объекта с использованием научно-методического аппарата механики сплошной среды с учетом необходимых гипотез, а также выполнять качественный анализ математической модели.	Контрольная работа
ПК-1.2	ИД-1ПК-1.2	Знает современные и эффективные численные методы оценки эффективных свойств микронеоднородных сред;	Знает современные и эффективные численные методы, алгоритмические языки, пакеты прикладных программ, средств представления результатов для численного решения задач механики;	Экзамен
ПК-1.2	ИД-2ПК-1.2	Умеет использовать пакеты прикладных программ для численного решения задачи определения эффективных свойств микронеоднородных материалов.	Умеет осуществлять численное решение задачи механики с использованием современных эффективных методов и средств, в том числе численных методов, алгоритмических языков, пакетов прикладных программ, средств представления результатов, выполнять качественный анализ результатов расчета;	Защита лабораторной работы
ПК-1.2	ИД-3ПК-1.2	Владеет навыками численного решения задач расчета эффективных свойств микронеоднородных материалов.	Владеет навыками численного решения задач механики с использованием современных эффективных методов и средств, а также выполнять качественный анализ результатов расчета.	Защита лабораторной работы

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		3	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	45	45	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	25	25	
- лабораторные работы (ЛР)	18	18	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)			
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	27	27	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	108	108	

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
3-й семестр				
Введение в микромеханику	2	2	0	1
1.1. Основные понятия и определения Микроскопические и макроскопические величины, понятие о модели микронеоднородной среды, микроструктурные параметры, репрезентативный объем, эргодичность, условия Хилла, однородные граничные условия 1.2. Необходимые сведения из предыдущих курсов Основные уравнения упругости и теплопроводности, анизотропия упругих и теплопроводных свойств, функция Грина и ее производные				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Оценка эффективных характеристик неоднородного материала	4	4	0	5
2.1. Модели Рейсса и Фойгта для расчета эффективных характеристик 2.2. Слабо-неоднородные среды Аппроксимации второго и третьего порядков, корреляционные функции 2.3. Границы Хашина-Штрикмана Формула Бергмана, построение границ Хашина-Штрикмана для теплопроводности, ансамбль Хашина, вилка Хашина-Штрикмана для эффективных модулей упругости				
Задача Эшелби	6	4	0	7
3.1. Включение в линейно-упругом материале Локализованные пластические или температурные деформации, тензор Грина для деформаций в среде с включением, интегральные уравнения для определения деформаций и напряжений в среде с включением 3.2. Неоднородность в линейно-упругом материале Определяющие соотношения неоднородного материала, тензор Грина для деформаций в среде с неоднородностью, интегральные уравнения для определения деформаций и напряжений в среде с неоднородностью 3.3. Тензор влияния неоднородности Общее представление, вклад эллипсоидальной неоднородности в упругие и теплопроводящие свойства, эллипсоидальная неоднородность в трансверсально-изотропной матрице, плоские и неплоские трещины, двумерные неоднородности				
Самосогласованные методы механики материалов	9	6	0	10
4.1. Аппроксимация эффективных свойств, не учитывающая взаимовлияние неоднородностей (NIA) Определение эффективных свойств неоднородной среды без учета взаимодействия между неоднородностями, предельный переход к малой концентрации				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
неоднородностей, NIA для материала с трещинами 4.2. Метод эффективной среды Постановка задачи осреднения, интегральные уравнения для упругих полей в среде с множеством изолированных неоднородностей, тензор эффективных упругих модулей композита, трехслойная модель 4.3. Метод эффективного поля Метод эффективного поля для среды с эллипсоидальными включениями, среда с множеством однородных эллипсоидальных включений, среда с множеством сферических слоистых включений, регулярные решетки неоднородностей, тонкие включения в однородной упругой среде 4.4. Метод Максвелла Подход Максвелла, распространение метода на неоднородности общего вида, линеаризация метода Максвелла				
Связь между различными физическими свойствами (Cross-property)	4	2	0	4
5.1. Существующие подходы объемных модулей, границы cross-property, cross-property для композитов, армированных пьезоэлектрическими волокнами, эмпирические предпосылки 5.2. Упругость- теплопроводность Общий подход, двухмерные эллиптические отверстия, трехмерные неоднородности, эллипсоидальные неоднородности, неоднородности произвольной формы, сравнение микроструктурных параметров задач упругости и теплопроводности 5.3. Применения Алюминиевые пены, армированный короткими волокнами термопластик, плазменно-напыленные керамические покрытия, армированные пьезоэлектрическими волокнами композиты				
ИТОГО по 3-му семестру	25	18	0	27
ИТОГО по дисциплине	25	18	0	27

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Уравнения равновесия и оператор Ляме, тензор Грина, специальные тензорные базисы, ортотропия, кубическая симметрия, трансверсальная изотропия. Свойства тензора Грина и его производных
2	Эффективная проводимость, эффективный тензор упругости и податливости. Построение границ эффективной проводимости. Нахождение эффективного коэффициента теплопроводности для слабо неоднородных сред. Построение границ Хашина-Штрикмана для случая теплопроводности
3	Нахождение полей деформаций и напряжений в среде с включением. Нахождение полей деформаций и напряжений в среде с неоднородностью. Построение тензоров влияния неоднородностей
4	Определение эффективных свойств неоднородной среды, двойственная постановка задачи гомогенизации. Нахождение тензор эффективных модулей упругости для среды с различными типами включений без учета взаимовлияния включений
5	Определение тензора эффективных модулей упругости в среде с множеством неоднородностей. Самосогласованные схемы

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.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

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

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

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Кристенсен Р. М. Введение в механику композитов : пер. с англ. Москва : Мир, 1982. 334 с.	9
2	Паньков А. А. Методы самосогласования механики композитов. Пермь : Изд-во ПГТУ, 2008. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) URL: https://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks130786 (дата обращения: 09.09.2022).	1
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Победря Б.Е. Механика композиционных материалов. М., изд-во МГУ, 1984. 336 с.	9
2.2. Периодические издания		
	Не используется	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	Не используется	

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Основная литература	Kachanov M., Sevostianov I. Micromechanics of Materials, with Applications. Springer Cham. 2018	https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-76204-3	сеть Интернет; свободный доступ

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

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	MS Windows 7 (подп. Azure Dev Tools for Teaching до 27.03.2022)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Mathematica Professional Version (лиц. L3263-7820*)

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

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/
Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки	http://www.diss.rsl.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
-------------	---	-------------------

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	Мультимедийный компьютерный класс 212Г, Парты, стол преподавателя, доска Программно-аппаратный комплекс для организации удаленного доступа к вычислительным ресурсам и ПО QForm высокопроизводительного вычислительного комплекса ПГТУ для реализации образовательных программ по ПНР НИУ. Состав: Системный блок AquariusEltE50 S67, IntelDQ57TML, IntelCorei7-860, SamsungDDRIII SDRAMPC3-10600, HDD 750 GbSATA-II 300 WesternDigital, DVD+/-RWSamsungSH-S223C, PCI-512MATIRadeonHD5670 GDDR3 VGA+DVI+HDMI, Мышь AquariusMouseOptical 2 keyScroll, Клавиатура AquariusKeyboard 104г/1, Монитор Samsung P2350(KUV) - 10 шт. Проектор BengProjector BP6210, киноэкран	1
Лекция	Мультимедийная учебная аудитория 205Г, парты, стол преподавателя, доска, мультимедиа комплекс, ноутбук	1

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе