

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения
Российской академии наук

ПРИНЯТО НА ЗАСЕДАНИИ
Объединенного ученого совета
ПФИЦ УрО РАН
Протокол № 6
«02» сентября 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ



Директор ПФИЦ УрО РАН
О.А. Плехов

«02» сентября 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА»
(наименование дисциплины по учебному плану)

Специальность 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела
(код и наименование)

Форма обучения:

Очная

Курс: 3

Семестр(ы): 5

Трудоёмкость:

Часов по рабочему учебному плану: 108

Виды контроля:

Экзамен: 1

Зачёт: **нет**

Курсовой проект: **нет**

Курсовая работа: **нет**

Пермь 2022

1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1.8. Механика деформируемого твердого тела (наименование дисциплины по учебному плану)

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина относится к образовательному компоненту структуры программы аспирантуры и входит в число обязательных дисциплин, направленных на сдачу кандидатского экзамена образовательной программы по специальности: 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела.

Разработана на основании:

- Приказа Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021г. №951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)»;
- Рабочего учебного плана очной формы обучения по специальности: «Механика деформируемого твердого тела», основной образовательной программы аспирантуры (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденной протоколом №3 заседания Объединенного ученого совета ПФИЦ УрО РАН от «18» марта 2022 г.
- Положения о порядке разработки и утверждения программ аспирантуры Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН) принятого на заседании Объединенного ученого совета ПФИЦ УрО РАН, протокол № 3 от 18.03.2022.
- Примерной программы кандидатского экзамена, утвержденной Министерством образования и науки Российской Федерации.

Рабочая программа дисциплины «Механика деформируемого твердого тела» является дополненной программой минимума, более глубоко раскрывает отдельные разделы МДТТ, получившие развитие в последние годы, в том числе отражающие научные направления «ИМСС УрО РАН», разработана ведущими специалистами «ИМСС УрО РАН» и согласована со следующими рабочими программами:

- Иностранный язык,
- История и философия науки,
- Научно-исследовательской практики и научно-исследовательской деятельности аспирантов.

Разработчик
д.ф.-м.н., профессор, чл.-корр. РАН



Плехов О.А.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

В результате освоения дисциплины **Механика деформируемого твердого тела** аспиранты должны обладать фундаментальными знаниями в области механики деформируемого твердого тела и смежных с ней наук

Знать:

- методологию, конкретные методы и приемы научно-исследовательской работы в области механики деформируемого твёрдого тела (основные современные теории процессов деформирования и разрушения, взаимодействия структуры материала и внешних полей различной природы и интенсивности, методы описания процессов деформирования, фазовых и структурно-кинетических переходов в материале);
- методологию, конкретные методы и приемы решения краевых задач, встречающихся при исследовании проблем механики деформируемого твёрдого тела;
- современные методы моделирования технологических проблем деформирования и разрушения, а также предупреждения недопустимых деформаций и трещин в конструкциях различного назначения;
- современные методы, приемы планирования эксперимента, обработки и интерпретации экспериментальных данных по изучению деформирования, повреждения и разрушения материалов.

Уметь:

- ставить задачу и применять современные методы (численные, аналитические, экспериментальные) для решения задач в области механики деформируемого твёрдого тела с учётом эволюции структуры материала и внешних воздействий различной природы и интенсивности;
- ставить задачу и проводить численные и аналитические исследования краевых задач для прогноза поведения деформируемых твердых тел различной природы при разнообразных воздействиях;
- применять теоретические знания по методам сбора, хранения, обработки и передачи информации;
- ставить и решать задачу о связи между изменением структуры материала и особенностями процесса деформирования и разрушения;
- ставить задачу и проводить анализ технологических проблем деформирования и разрушения, прогнозировать особенности возникновения и распространения трещин в конструкционных материалах;
- планировать проведение экспериментов, анализировать и интерпретировать экспериментальные данные по изучению деформирования, повреждения и разрушения материалов.

Владеть:

- методами решения задач и анализа проблем механики деформируемого твёрдого тела;

- методами самостоятельного анализа краевых задач для различных классов уравнений, практическими навыками и знаниями использования современных исследовательских и проектных технологий;
- методами самостоятельного анализа имеющейся информации (данных оптической, атомно-силовой и электронной микроскопии, результатов механических и физических экспериментов); практическими навыками и знаниями использования результатов современных исследований в области связи между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения;
- методами самостоятельного анализа имеющейся информации (лабораторных и натурных испытаний), практическими навыками и знаниями использования результатов современных исследований в области моделирования технологических проблем деформирования и разрушения;
- методами самостоятельного анализа имеющейся информации, практическими навыками и знаниями анализа и использования результатов экспериментальных данных по изучению деформирования, повреждения и разрушения материалов.

Результатом освоения учебной дисциплины является сдача кандидатского экзамена по специальности: Механика деформируемого твердого тела

4. АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина нацелена на формирование и развитие у аспирантов компетенций в области решения задач механики сплошных сред, и смежных областей; получение обучающимися теоретических знаний для быстрой и квалифицированной переработки фундаментальных теоретических исследований и получении новых результатов в процессе практической работы над проблемами механики деформированного твердого тела; овладение математическими моделями и методами решения задач, позволяющими выпускнику успешно работать в различных областях профессиональной деятельности: научно-исследовательской, проектной и производственно-технологической с применением современных компьютерных технологий.

Курс «Механика деформируемого твердого тела» нацелен на подготовку аспирантов к защите научно-квалификационной работы в виде диссертации на соискание степени кандидата наук, а также к подготовке и успешной сдаче кандидатского и государственного экзамена по специальности.

Курс «Механика деформируемого твердого тела» является междисциплинарным. Аттестация по усвоению содержания дисциплины проводится в форме контрольного мероприятия в первом семестре третьего курса и кандидатского экзамена, проводимого по окончании курса. Программой дисциплины предусмотрены консультации (18 ч.) и самостоятельная работа аспирантов (86 ч).

5. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса заключается в формировании у аспиранта комплекса знаний, умений и навыков в области механики деформируемого твердого тела.

Задачами учебной дисциплины являются установление законов деформирования, повреждения и разрушения материалов; разработка методов постановки и методов решения краевых задач для прогноза поведения деформируемых твердых тел различной природы при разнообразных воздействиях; выявление новых связей между структурой материалов,

характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения; решение технологических проблем деформирования и разрушения, а также предупреждения недопустимых деформаций и трещин в конструкциях различного назначения; планирование, проведение и интерпретация экспериментальных данных по изучению деформирования, повреждения и разрушения материалов, а также формирование

- знаний законов деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе природных, искусственных и вновь создаваемых;
- знаний теории моделей деформируемых тел с простой и сложной структурой;
- знаний мезомеханики многоуровневых сред со структурой;
- знаний механики композиционных и интеллектуальных материалов и конструкций;
- знаний теории упругости, пластичности и ползучести;
- знаний теории накопления повреждений, механика разрушения твердых тел и критерии прочности при сложных режимах нагружения;
- умений ставить и решать краевые задачи для тел различной конфигурации и структуры при механических, электромагнитных, радиационных, тепловых и прочих воздействиях, в том числе применительно к объектам новой техники;
- умений применять математические модели и численные методы анализа к задачам, не допускающим прямого аналитического исследования;
- навыков владения экспериментальными методами исследования процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе объектов, испытывающих фазовые структурные превращения при внешних воздействиях.

6. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ, ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО И ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ, ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Вид учебной работы	Количество часов (форма обучения очная)
№ семестров	3,4
Аудиторные занятия	0
Самостоятельная работа	86
Индивидуальные консультации	18
Всего часов на дисциплину	108
Формы итогового контроля	Кандидатский экзамен
Формы промежуточного контроля	Контрольное мероприятие
Формы текущего контроля	Устный опрос, творческие задания

Тематический план

Наименование тем и разделов	Всего часов	Аудиторные занятия			самостоятельная работа
		лекции	Индивидуальные консультации	практики	
Механика и термодинамика сплошных сред	8	0	1	0	7
Теория упругости	8	0	1	0	7
Теория пластичности	8	0	1	0	7
Теория вязкоупругости и ползучести	8	0	1	0	7
Механика разрушения	9	0	1	0	8
Численные методы решения задач механики деформируемого твердого тела	9	0	1	0	8
Тензорное исчисление в механике сплошной среды	9	0	2	0	7
Принципы термодинамики	9	0	2	0	7
Теория устойчивости	9	0	2	0	7
Механика композиционных материалов. Основы мезомеханики	9	0	2	0	7
Динамика неупругих сред	9	0	2	0	7
Экспериментальные методы механики деформируемого твердого тела	9	0	2	0	7
Контрольное мероприятие	2				
Экзамен	2				
всего	108				

7. АННОТИРОВАННОЕ ОПИСАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Механика и термодинамика сплошных сред

Понятие сплошного тела. Гипотеза сплошности. Физически и геометрически малый элемент. Деформация элемента сплошной среды. Два способа описания деформации сплошного тела. Координаты Эйлера и координаты Лагранжа. Переход от Эйлера к Лагранжу и обратно. Тензор деформации Коши-Грина. Геометрический смысл компонент тензора деформации Грина. Тензор деформации Альманси. Геометрический смысл компонент тензора деформации Альманси. Условия совместности деформаций. Формулировка условий совместности деформаций в цилиндрической и сферической системе координат. Вычисление тензора малых деформаций по заданному полю перемещений. Формулы Чезаро. Классификация сил в механике сплошных сред: внешние и внутренние силы, массовые и поверхностные силы. Тензоры напряжений Коши, Пиолы и Кирхгофа. Законы сохранения механики сплошных сред: уравнения баланса массы, импульса, момента импульса, кинетической, потенциальной и полной энергии. Термодинамические процессы и циклы. Термодинамические параметры состояния. Понятие о работе, теплоте, внутренней энергии, температуре и энтропии. Первый и второй законы термодинамики. Термодинамические потенциалы состояния. Общие формы определяющих соотношений механики сплошных сред. Физическая размерность. Анализ размерностей и П-теорема. Автомодельные решения. Примеры.

Теория упругости

Упругое деформирование твердых тел. Упругий потенциал и энергия деформации. Линейно упругое тело Гука. Понятие об анизотропии упругого тела. Тензор упругих модулей. Частные случаи анизотропии: трансверсально изотропное и ортотропное упругое тело. Упругие модули изотропного тела. Полная система уравнений теории упругости. Уравнения Ламе в перемещениях. Уравнения Бельтрами-Митчелла в напряжениях. Граничные условия. Постановка краевых задач математической теории упругости. Основные краевые задачи. Принцип Сен-Венана. Общие теоремы теории упругости: теорема Клапейрона, тождество взаимности, теорема единственности. Основные энергетические функционалы линейной теории упругости. Вариационные принципы теории упругости: принцип минимума полной потенциальной энергии, принцип минимума дополнительной энергии, принцип Рейснера. Теоремы Кастильяно. Теорема Бетти. Примеры. Действие сосредоточенной силы в неограниченной упругой среде. Тензор Грина. Граничные интегральные представления напряжений и перемещений. Формула Соммильяны. Общие представления решений уравнений теории упругости: представление Кельвина, представление Галеркина и представление Папковича-Нейбера. Нормальная нагрузка на границе полупространства (задача Буссинеска). Касательная нагрузка на границе полупространства (задача Черрути). Плоское напряженное и плоское деформированное состояние. Плоская задача теории упругости. Метод комплексных потенциалов Колосова-Мусхелишвили. Комплексное представление напряжений и перемещений. Уравнения плоской задачи теории упругости в полярных координатах. Смешанная задача для полуплоскости. Задача Гриффитса. Антиплоская деформация. Трещина антиплоского сдвига в упругом теле. Кручение и изгиб призматического тела (задача Сен-Венана). Теоремы о циркуляции касательного напряжения при кручении и изгибе. Центр изгиба. Задача о действии штампа с плоским основанием на полуплоскость. Контактная задача Герца. Теория тонких упругих пластин и оболочек. Основные гипотезы. Полная система уравнений теории пластин и оболочек. Граничные условия. Постановка задач теории пластин и оболочек. Безмоментная теория. Краевые эффекты. Задача о круглой симметрично загруженной пластине. Динамические задачи теории упругости.

Уравнения движения в форме Ламе. Динамические, геометрические и кинематические условия совместности на волновом фронте. Свободные волны в неограниченной изотропной упругой среде. Общее решение в форме Ламе. Фундаментальное решение динамических уравнений теории упругости для пространства. Плоские гармонические волны. Коэффициенты отражения, прохождения и трансформации. Полное отражение. Поверхностные волны Релея. Волны Лява. Установившиеся колебания упругих тел. Частоты и формы собственных колебаний. Вариационный принцип Релея. Температурные задачи теории упругости. Уравнения термоупругости.

Теория пластичности

Пластическое деформирование твердых тел. Предел текучести. Упрочнение. Остаточные деформации. Идеальная пластичность. Физические механизмы пластического течения. Понятие о дислокациях. Локализация пластических деформаций. Линии Людерса-Чернова. Идеальное упругопластическое тело. Идеальное жесткопластическое тело. Пространство напряжений. Критерий текучести и поверхность текучести. Критерии Треска и Мизеса. Пространство главных напряжений. Геометрическая интерпретация условий текучести. Условие полной пластичности. Влияние среднего напряжения. Упрочняющееся упругопластическое тело. Упрочняющееся жесткопластическое тело. Функция нагружения, поверхность нагружения. Параметры упрочнения. Законы связи между напряженным и деформированным состояниями в теории течения. Принцип Мизеса. Постулат Друккера. Ассоциированный закон пластического течения. Теория скольжения. Краевые задачи теории течения. Теоремы единственности. Вариационные принципы теории течения. Теория предельного равновесия. Статическая и кинематическая теоремы теории предельного равновесия. Верхние и нижние оценки. Примеры. Кручение призматического тела за пределом упругости. Предельное равновесие при кручении. Характеристики. Поверхность напряжений, как поверхность постоянного ската. Песчаная аналогия. Разрывы напряжений. Песчано-мембранная аналогия Прандтля - Надаи для кручения идеально упругопластических тел. Пластическое плоское деформированное состояние. Уравнения для напряжений и скоростей. Статически определяемые и неопределяемые задачи. Характеристики. Свойства линий скольжения. Методы решения основных краевых задач теории плоской пластической деформации. Задача Прандтля о вдавливании штампа. Пластическое плоское напряженное состояние. Уравнения для напряжений и скоростей при условии пластичности Мизеса. Характеристики. Плоские упругопластические задачи теории идеальной пластичности. Двухосное растяжение толстой и тонкой пластин с круговым отверстием. Деформационные теории пластичности. Теория Генки. Теория малых упруго пластических деформаций А.А. Ильюшина. Теорема о разгрузке. Метод упругих решений. Задача о толстостенной трубе из упрочняющегося материала. Упругопластические волны в стержне. Ударное нагружение. Волна разгрузки. Остаточные деформации. Критическая скорость удара.

Теория вязкоупругости и ползучести

Понятие о ползучести и релаксации. Кривые ползучести и релаксации. Простейшие модели линейно вязкоупругих сред: модель Максвелла, модель Фохта, модель Томсона. Время релаксации. Время запаздывания. Определяющие соотношения теории вязкоупругости. Ядра ползучести и релаксации. Непрерывные ядра и ядра со слабой особенностью. Термодинамические ограничения на выбор ядер ползучести и релаксации. Формулировка краевых задач теории вязкоупругости. Методы решения краевых задач теории вязкоупругости: принцип соответствия Вольтерры, применение интегрального преобразования Лапласа, численные методы. Теорема единственности. Вариационные принципы в линейной вязкоупругости. Применение вариационного метода к задачам изгиба. Плоская задача о вдавливании жесткого штампа в вязкоупругую полуплоскость.

Контакт вязкоупругих тел: аналог задачи Герца. Определяющие соотношения нелинейной теории вязкоупругости. Разложение Вольтерры-Фреде. Упрощенные одномерные модели. Теории старения, течения, упрочнения и наследственности. Ползучесть при сложном напряженном состоянии. Определяющие соотношения. Установившаяся ползучесть. Уравнения состояния деформируемых тел, находящихся в условиях установившейся ползучести. Постановка краевых задач. Вариационные принципы теории установившейся ползучести: принцип минимума полной мощности, принцип минимума дополнительного рассеяния. Установившаяся ползучесть и длительная прочность стержня. Неустановившаяся ползучесть. Определяющие уравнения теории неустановившейся ползучести. Вариационные принципы теории течения и теории упрочнения. Неустановившаяся ползучесть стержневой решетки. Устойчивость стержней и пластин из реономных материалов.

Механика разрушения

Понятие о разрушении и прочности тел. Общие закономерности и основные типы разрушения. Концентраторы напряжений. Коэффициент концентрации напряжений: растяжение упругой полуплоскости с круговым и эллиптическим отверстиями. Феноменологические теории прочности. Критерии разрушения: деформационный, энергетический, энтропийный. Критерии длительной и усталостной прочности. Расчет прочности по допускаемым напряжениям. Коэффициент запаса прочности. Двумерные задачи о трещинах в упругом теле. Метод разложения по собственным функциям в задаче о построении асимптотик полей напряжений и перемещений у вершины трещины в упругом теле. Коэффициент интенсивности напряжений, методы его вычисления и оценки. Скорость высвобождения энергии при продвижении трещины в упругом теле. Энергетический подход Гриффитса в механике разрушения. Силовой подход в механике разрушения: модели Баренблатта и Ирвина. Эквивалентность подходов в случае хрупкого разрушения. Формула Ирвина. J -интеграл Эшелби-Черепанова-Райса и его инвариантность. Вычисление потока энергии в вершину трещины. J_R — кривая. Динамическое распространение трещин. Динамический коэффициент интенсивности напряжений. Предельная скорость трещины хрупкого разрушения (теоретическая оценка и экспериментальные данные). Локализованное пластическое течение у вершины трещины. Оценка линейного размера пластической зоны у вершины трещины по Ирвину. Поле скольжения у вершины трещины нормального отрыва в идеально пластическом теле. Модель трещины Леонова-Панасюка-Дагдейла с узкой зоной локализации пластических деформаций. Кинетическая концепция прочности твердых тел. Формула Журкова. Кинетическая теория трещин. Рост трещин в условиях ползучести. Понятие об усталостном разрушении. Малоцикловая и многоцикловая усталость. Основные законы роста усталостных трещин. Понятие о поврежденности. Типы поврежденности. Математическое представление поврежденности. Параметр поврежденности Качанова-Работнова. Кинетические уравнения накопления поврежденности. Принцип линейного суммирования повреждений. Накопление повреждений в условиях ползучести.

Численные методы решения задач механики деформируемого твердого тела

Метод конечных разностей. Типичные разностные схемы для параболических, эллиптических и гиперболических уравнений. Метод конечных разностей для дифференциальных уравнений теории упругости. Вариационный принцип минимума полной потенциальной энергии упругого тела. Методы Релея-Ритца, Бубнова-Галеркина и градиентного спуска в задачах минимизации функционала полной потенциальной энергии.

Метод конечных элементов в теории упругости. Пределы применимости метода конечных элементов. Формула Соммильяны и метод граничных интегральных уравнений (метод

граничных элементов). Метод характеристик в двумерных задачах теории пластичности. Область определенности и область зависимости решения гиперболической краевой задачи. Метод лучевых разложений для решения гиперболических задач теории пластичности и волновой динамики. Понятие о вычислительном эксперименте. Использование вычислительного эксперимента для решения задач механики деформируемого твердого тела.

Тензорное исчисление в механике сплошной среды

Безиндексная запись тензорных выражений. Понятие тензора как линейного отображения векторного пространства на себя. Операции сложения, умножения, скалярного умножения, транспонирования тензоров. Тензорное произведение векторов. Внешнее произведение векторов. Дифференцирование векторной функции по векторному аргументу. Понятие единичного, обратного, симметричного, антисимметричного (кососимметричного), ортогонального, собственно ортогонального (поворота), положительно определенного и индифферентного тензоров. След тензора. Собственные векторы и собственные числа тензора. Инварианты тензора. Отсчетная и актуальная конфигурации. Градиенты вектора в отсчетной и актуальной конфигурациях. Дивергенция вектора и тензора в отсчетной и актуальной конфигурациях. Деформационный градиент. Полярное разложение деформационного градиента. Правый и левый тензоры растяжения. Правый и левый тензоры Коши-Грина. Кратности удлинения. Тензорные функции. Мера Генки. Тензор скоростей растяжения. Спин. Объективные производные тензоров. Контравариантные, ковариантные и смешанные компоненты тензоров. Физические компоненты. Символы Кристоффеля. Компонентная запись уравнений механики сплошной среды в криволинейной системе координат.

Принципы термодинамики

Определяющие соотношения механики деформируемого твердого тела. Принцип детерминизма. Принцип локального действия. Принцип материальной независимости от системы отсчета. Дополнительные неравенства в теории упругости. Термодинамические процессы. Первый принцип термодинамики. Принцип физического равноправия всех инерциальных систем отсчета. Второй принцип термодинамики. Неравенство Клаузиуса-Дюгема. Приведенное неравенство диссипации. Невозможность создания вечных двигателей первого и второго рода. Внутренняя энергия, свободная энергия и энтропия деформируемой сплошной среды. Дифференциальные модели деформируемого твердого тела. Интегральные модели. Материалы с наложенными связями. Несжимаемые среды. Формулировка первого и второго принципов термодинамики для полярной среды. Формулировка первого и второго принципов термодинамики смеси континуумов. Баланс массы, уравнение движения и уравнение теплопроводности смеси континуумов.

Теория устойчивости

Концепция устойчивости упругих и вязкопластических систем. Устойчивость упругих и упругопластических сжатых стержней. Решений Эйлера, Энгессера, Кармана. Концепция устойчивости Шенли. Постановка задач об устойчивости стержней за пределом упругости в догружающихся и разгружающихся конструкциях Ильюшина, Зубчанинова. Методы временных поддерживающих систем и упругопластической тренировки для повышения устойчивости конструкций. Выпучивание стержней за пределом упругости при продольном изгибе. Теория устойчивости оболочек и пластины в пределах и за пределом упругости. Теория устойчивости Ильюшина. Ее обобщение на случай использования частных теорий пластичности при сложном нагружении. Теории устойчивости оболочек и пластины за пределом упругости Зубчанинова при сложном нагружении. Бифуркации оболочек и пластин в условиях ползучести. Выпучивание и устойчивость сжатых элементов конструкций в условиях ползучести.

Механика композиционных материалов. Основы мезомеханики

Механика армированного слоя. Микромеханика монослоя. Микромеханика упругих свойств монослоя. Микромеханика ползучести монослоя. Микромеханика кратковременной и длительной прочности. Диссипативные свойства монослоя. Термоупругие свойства слоистых композитов. Диссипативные свойства слоистых композитов. Свойства конструкционных композиционных материалов. Мезомеханика структурно-неоднородных сред. Мезомеханика разрушения. Физическая мезомеханика материалов. Мезомеханика функциональных материалов с эффектом памяти формы. Структурно-аналитическая теория прочности Лихачева-Малинина. Структурно-аналитическая теория мезомеханики материалов.

Динамика неупругих сред

Механические свойства материалов при динамических нагрузках. Влияние скорости деформирования на основные механические характеристики (предел текучести, предел прочности, остаточная деформация, диаграмма деформирования). Законы сохранения массы и импульса на фронте ударной волны. Ударная адиабата. Упрочнение металлов в ударных волнах и фазовые переходы. Структура ударных волн. Модели упруго – вязкопластических сред. Распространение возмущений. Модель Рахматуллина – Кармана. Модель Соколовского – Малверна. Модель Пэжины. Модель Работнова – Суворовой. Модель Григоряна для грунтов. Распространение упругопластических волн в стержне. Прохождение волн через границу раздела двух сред. Модели разрушения при ударно – волновом нагружении. Характерные особенности разрушения в ударных волнах. Тыльный откол. Множественный откол. Разрушение при взаимодействии ударника с преградой (прокол, сдвиг пробки, образование лепестков). Приближенные способы описания механизмов разрушения преграды. Сопротивление преграды динамическому внедрению ударника при проколе.

Экспериментальные методы механики деформируемого твердого тела

Современная аппаратура для проведения исследований механических свойств деформируемых материалов. Измерительная аппаратура для получения данных по перемещениям. Датчики силы. Обработка экспериментальных данных. Природа экспериментальных ошибок. Систематические и случайные ошибки. Способы выявления и устранения систематических ошибок. Характеристики случайных ошибок. Аппаратура и образцы для исследования поведения материала при кручении, сдвиге, растяжении по двум осям. Измерение объемных изменений. Методы измерения комплексных динамических модулей. Усталостные испытания. Исследование ползучести. Использование температурно-временной аналогии при изучении релаксационных свойств полимерных материалов. Температурные испытания.

Аппаратура для получения информации о структуре материалов и ее изменении при деформировании. Оптические, электронные, атомно-силовые и туннельные микроскопы. Ядерный магнитный резонанс. Акустические методы. Датчики для осуществления измерений в точках конструкции. Тензометрирование моделей и конструкций. Методы лаковых и оптически чувствительных покрытий. Метод муаровых полос. Поляризационно-оптический метод исследования напряжений.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Обязательная:

1. Бреббия К., Уокер С. Применение метода граничных элементов в технике. М.: Мир, 1982.

2. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975.
3. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. М.: Наука, 1969.
4. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1975.
5. Новацкий В. Теория упругости. М.: Мир, 1975.
6. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Наука, 1966.
7. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1988.
8. Седов Л.И. Механика сплошной среды: В 2-х томах. М.: Наука, 1983.

Дополнительная:

1. Ивлев Д.Д. Теория идеальной пластичности. М.: Наука, 1966.
2. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. М.: Изд-во МГУ, 1978.
3. Качанов Л.М. Основы механики разрушения. М.: Наука, 1974.
4. Ключников В.Д. Математическая теория пластичности. М.: Изд-во МГУ, 1979.
5. Кристенсен Р. Введение в механику композитов. М.: Мир, 1982.
6. Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука, 1970.
7. Лурье А.И. Нелинейная теория упругости. М.: Наука, 1980.
8. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упругопластического разрушения. М.: Наука, 1985.
9. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1981.
10. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1954.
11. Черепанов Г.П. Механика разрушения композиционных материалов. М.: Наука, 1983.
12. Гольденблат И.И. Некоторые вопросы механики деформируемых сред М.: Гостехиздат 1955
13. Новацкий В. Теория упругости. М.: Мир, 1975.
14. Жермен П. Курс механики сплошных сред. Общая теория. М.: Высшая школа, 1983.
15. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. М.: Мир, 1987.
16. Демидов С.П. Теория упругости. М.: Высш. шк., 1979.
17. Зубчанинов В.Г. Устойчивость в механике дформируемого твердого тела. Калинин 1986.
18. Ильюшин А.А. Прочность, пластичность и вязкоупругость материалов и конструкций. Свердловск 1986.
19. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. М.: МГУ 1978.
20. Новацкий В. Теория упругости. М.: Мир, 1975.
21. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упругопластического разрушения. М.: Наука, 1974.
22. Адлер Ю.П. и др. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976.
23. Деденко Л.Г., Керженцев В.В. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента. Изд-во МГУ, 1977.
24. Пригоровский Н.И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений. М.: Машиностроение, 1983.

25. Белл Дж. Экспериментальные основы механики деформируемого твердого тела. М.: Мир, 1984.
26. Александров А.Я., Ахметзянов М.Х. Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела. М.: Наука, 1973.

Периодические издания

1. Журнал «Вычислительная механика сплошных сред»
<http://www2.icmm.ru/journal/cont.htm>
2. Журнал «Известия РАН. Механика твердого тела», <http://mtt.ipmnet.ru/ru>
3. Журнал «Известия РАН. Механика жидкости и газа» <http://mzg.ipmnet.ru/ru>
4. Вестник ПНИПУ. «Механика» журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет; Под ред. А. А. Ташкинова. - Пермь: Изд-во ПНИПУ.
<http://vestnik.pstu.ru/mechanics/about/inf/>
5. Вестник ПГНИУ. «Физика» журнал / Пермский государственный национальный исследовательский университет; Под ред. В. А. Дёмина. - Пермь: Изд-во ПГНИУ.
<http://press.psu.ru/index.php/phys/index>

Электронные информационно-образовательные ресурсы

1. Электронная библиотека диссертаций РГБ <http://diss.rsl.ru>
2. Научная электронная библиотека РИНЦ (Elibrary) <http://elibrary.ru>
3. Научная электронная библиотека ScienceDirect <https://www.sciencedirect.com/>
4. Научная электронная библиотека SpringerLink <https://link.springer.com/>
5. Научная электронная библиотека Elsevier <https://www.elsevier.com>
6. Полнотекстовая мультидисциплинарная база данных диссертаций ProQuest
Dissertations & Theses Global <http://proquest.com/pqdtglobal/dissertations>
7. Университетская информационная система Россия <https://uisrussia.msu.ru/>
8. Университетские библиотеки г. Перми:
<http://biblioclub.ru/>
<http://pspu.ru/university/biblioteka/jelektronnye-resursy-biblioteki>
<https://perm.hse.ru/library/>
<http://biblioteki.perm.ru/main/index.html?id=34>
9. Наукометрическая и реферативная база данных Scopus <https://www.scopus.com>
10. Электронная база данных Web of Science <http://apps.webofknowledge.com>
11. Национальная электронная библиотека <https://нэб.рф/>

9. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРАКТИКИ

Образовательный процесс предполагает использование лицензионного программного обеспечения и информационных справочных систем:

Перечень лицензионного программного обеспечения

№ п.п.	Вид учебного занятия	Наименование программного продукта	Номер договора на покупку лицензии	Назначение программного продукта
1	Практическое	RadExPro Plus	180530-1 от 18.06.2018	Моделирование геофизических процессов
2	Практическое	ZondRes	337.04/2019/74 от 15.11.2019	Моделирование геофизических процессов
3	Практическое	ЭС «Охрана труда»	3 431 от 24.01.02019	Анализ решений для специалистов по охране труда
4	Практическое	Kaspersky total security	A0019369661 от 14.08.2019	Безопасность данных
5	Практическое	COMSOL Multiphysics	сетевая лицензия (FNL) №9600871, Договор 43/17 от 11.08.2017	Моделирование механических процессов
6	Практическое	ANSYS	Договор 08-ПО/2016 КАДФЕМ Си-Ай-Эс от 08.09.2016	Моделирование механических процессов
7	Практическое, Лекционное	Office Standard 2013 Russian OLP NL Academic Edition	93/14 от 16.12.2014	Работа с текстовыми документами, презентациями и таблицами

10. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИКИ.

Для проведения педагогической практики необходимо следующее материально-техническое обеспечение: аудитории для лекционных и семинарских занятий; компьютерные классы, лаборатории, ноутбуки, проекционная аппаратура, аудиторная доска, принтеры, сканеры.

Лекционная ауд. – 203 БОН	Проектор, экран, маркерная доска, ноутбук Лицензионное ПО Договор № 93/14 ЗАО "СофтЛайн Трейд от 16.12.2014 г. и № 56182/ЕКТ2780 от 29.09.2016 ПО: Microsoft Договор 18-08-01186/18 от 31.01.2018
---------------------------	--

Библиотека «ИМСС УрО РАН»	компьютеры Pentium 4 CPU @2GHz, 512 ОЗУ, 80 Gb, 15" с выходом в Интернет, Лицензионное ПО Договор № 93/14 ЗАО "СофтЛайн Трейд от 16.12.2014 г. и № 56182/ЕКТ2780 от 29.09.2016 ПО: Microsoft Договор 18-08-01186/18 от 31.01.2018
---------------------------	---

Оснащенность специальных помещений (лабораторий) «ИМСС УрО РАН»	
– Машина для испытания материалов Zwick Z 100/SN 5A	
– Комплекс аппаратно-программных средств для трехмерного анализа деформаций Strain Master portable 5M в комплекте	
– Инфракрасная камера CEDIR Silver 450-M с набором объективов	
– Осциллограф DPO7254+DPO7254 5RL	
– Система акустической эмиссии AMSY	
– Доплеровский измеритель скорости FDVI Mark	
– Установка для бесконтактного измерения формы, деформаций и напряжений Stain Master	
– 100-kH серво-гидравлическая машина Bi-00-100	
– Лабораторная установка для измерения и проведения высокочастотных динамических исследований USF-2000	
– Универсальная напольная испытательная машина AG-X Plus-.05 300kN	
– Универсальная электромеханическая испытательная машина FS-100CT	
– Лабораторная установка для измерения перемещений образца на базе бесконтактного видеоэкстензиометра VE-500-1	
– Суперкомпьютер MBC-1000/16П	
– Система для изучения свойств межфазных поверхностей	
– Тензиометр автоматический Sigma 701 в комплекте	
– Универсальный комплекс видеооборудования	
– Микроскоп стереоскопический для лабораторных исследований Stereo Discovery V12	
– Комплекс оптических измерений в гидродинамике	
– Комплект оборудования для интерферометра	

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Аспирантам

Освоение курса требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в программе.

Основными видами учебной работы является самостоятельная работа. Их цель - расширить базовые знания аспирантов по изучаемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для более глубокого освоения программного материала. Аспиранту важно помнить, что индивидуальные консультации эффективно помогут аспиранту овладеть программным материалом благодаря прямому визуальному и эмоциональному контакту аспиранта с преподавателем, обеспечивая более полную реализацию воспитательной компоненты обучения.

При самостоятельной работе следует использовать:

- учебно-методическую литературу из рекомендованного списка;
- ресурсы информационной поддержки учебного процесса.

Аспиранту необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем и учитываются при аттестации аспиранта.

Преподавателям

Преподавателю следует иметь в виду, что освоение курса требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в программе.

Важно помнить, что индивидуальные консультации помогают аспиранту овладеть программным материалом благодаря правильной расстановке преподавателем необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудиовизуального механизма восприятия информации. Кроме того, во время консультации имеет место прямой визуальный и эмоциональный контакт аспиранта с преподавателем, обеспечивающий более полную реализацию воспитательной компоненты обучения, в том числе на личном примере педагога (культура речи, манера одеваться, общаться с аспирантами и аудиторией в целом, и т.д.).

Преподавателю следует иметь в виду, что содержание консультации должно удовлетворять следующим дидактическим требованиям, обеспечивающим активную работу аспиранта и эффективное освоение им программного материала:

- логичности, четкости и ясности в изложении материала;
- последовательности изложения материала: от простого к сложному, от известного к неизвестному;
- проблемности (с широким привлечением диалога, дискуссии);
- наглядности;
- связи с практикой и будущей профессиональной деятельностью аспиранта.

Преподавателю необходимо систематически контролировать результаты самостоятельной работы и учитывать их при аттестации аспиранта.

При проведении аттестации аспирантов важно помнить, что систематичность, объективность, аргументированность - главные принципы, на которых основаны контроль и оценка знаний. Проверка, контроль и оценка знаний аспиранта требуют учета его индивидуального стиля в осуществлении учебной деятельности. Знание критериев оценки знаний обязательно и для преподавателя, и для аспиранта.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

[illegible]