

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИТПМ СО РАН)



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИТПМ СО РАН
чл.-корр. РАН

А.Н. Шиплюк
0.9 2018 г.

Рабочая программа дисциплины
«Механика деформируемого твердого тела»
Направление подготовки 01.06.01 «Математика и механика»
Направленность: 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела»

Квалификация выпускника
Исследователь. Преподаватель-исследователь

Формы обучения: очная

Новосибирск 2018

Содержание

Аннотация	3
1. Цели и задачи освоения дисциплины	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	3
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины	3
4. Объем дисциплины	4
5. Входные требования для освоения дисциплины	4
6. Образовательные технологии	4
7. Структура и содержание дисциплины	4
7.1. Содержание тематических разделов	7
7.2. Тематическое планирование	9
7.3. Темы самостоятельной работы	9
8. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов	9
9. Фонд оценочных средств	10
10. Ресурсное обеспечение	14
10.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы	14
10.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»	14
10.3. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса	14
10.4. Описание материально-технической базы	15

Аннотация

Программа курса (дисциплины) «Механика деформируемого твердого тела» составлена в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 01.06.01 Математика и механика.

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: математический анализ, механика сплошной среды, уравнения математической физики.

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Дисциплина (курс) «Механика деформируемого твердого тела» имеет своей целью дать аспирантам углубленные знания и методы решения задач, возникающих при изучении деформирования твердых тел, горных пород, порошковых и сыпучих материалов. Особое внимание удалено разъяснению базовых понятий теории, анализу задач, представляющих практический интерес. Включен также ряд новых результатов. Изучение курса направлено на подготовку аспирантов к сдаче кандидатского экзамена по специальной дисциплине 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела» по физико-математическим и техническим наукам.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Механика деформируемого твердого тела» относится к группе базовых дисциплин Блока 1 направления подготовки аспирантов Института - 01.06.01 - "Математика и механика" в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС) по направленности - механика деформируемого твердого тела (физико-математические, технические науки).

Данный курс является базисом, на основе которого строится единая связанная структура теории континуальной модели материи и основных уравнений механики сплошных сред. Он является основной частью обширного раздела механики сплошных сред – механики деформируемого твердого тела.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

ОПК-1 Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;

ПК-1 Способность свободно владеть фундаментальными разделами математики и механики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач механики деформируемого твердого тела;

ПК-2 Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений механики и математики в своей научно-исследовательской деятельности;

ПК-3 Способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области механики деформируемого твердого тела, а также решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта;

ПК-4 Способность и готовность применять на практике навыки написания и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей в области механики деформируемого твердого тела.

Планируемые результаты обучения по дисциплине:

31 **Знать** корректную постановку задач упруго-пластического деформирования твердых тел и горных пород, задач деформирования сыпучих и порошковых материалов. Владеть основными методами аналитического и численного решения;

У1 Уметь использовать полученные теоретические знания при решении практических задач, относящихся к области механики деформируемого твердого тела;

В1 Владеть современными методами и подходами в исследовании упруго-пластического деформирования.

4. Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет 12 зачетных единиц, всего 432 часа, из которых 176 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (лекции и семинары), 232 часа составляет самостоятельная работа аспиранта, 24 часа – консультации перед зачетами, зачеты и кандидатский экзамен.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для формирования компетенций в рамках дисциплины аспирант, приступивший к освоению программы аспирантуры, должен:

ЗНАТЬ	<i>возможные сферы и направления профессиональной самореализации;</i> - основные современные тенденции развития науки в области теории упругости и пластичности; - основные понятия теории упругости.
УМЕТЬ	- вырабатывать на основе рационального анализа экспериментальных результатов свою точку зрения в вопросах описания деформирования твердых тел и отстаивать ее во время дискуссии со специалистами и неспециалистами; - читать и рефериовать научную литературу в области теории упругости и пластичности; - оценивать свои возможности, реалистичность и адекватность намеченных способов и путей достижения планируемых целей; - осуществлять отбор материала, характеризующего достижения в программном обеспечении и теории с учетом специфики направления подготовки.
ВЛАДЕТЬ	- основными методами решения краевых задач, иметь представление об основных понятиях коммерческих программных продуктов.

6. Образовательные технологии

Предполагается сочетание в учебном процессе лекционных занятий, сопровождаемых презентациями и учебными фильмами, с внеаудиторной работой студентов с рекомендованной литературой. По всем темам используется такая интерактивная форма проведения занятий как метод «лекция-диалог». Также в ходе занятий осуществляется разбор конкретных ситуаций и решение практических задач.

Материал лекционного курса увязывается с самыми современными исследованиями в передовых отечественных и в мировых центрах. Специально указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе.

7. Структура и содержание дисциплины

7.1. Содержание тематических разделов

Тема 1. ВВЕДЕНИЕ. РОЛЬ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ГЕОМЕХАНИКЕ.

Основные понятия и гипотезы механики сплошной среды. Элементарный объем. Общие законы сохранения, определяющие уравнения.

Тема 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНО-УПРУГОГО ТЕЛА В ГЕОМЕХАНИКЕ.

Неформальные и формальные определения тензора. Определение тензора. Тензоры напряжений и деформаций. Инварианты и их механический смысл. Диаграмма Мора, максимальные значения напряжений и сдвигов. Уравнения равновесия и движения Закон Гука и Дюамеля-Неймана. Модель линейно упругого тела, её использование в механике горных пород.

Тема 3. ТЕОРИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ.

Формулируется закон сухого трения Кулона-Амонтона. Излагается гипотеза Кулона и выводится условие предельного состояния Кулона. Определяются площадки скольжения.

Формулируется замкнутая система уравнений статики, включающая в себя уравнения равновесия и условие предельного состояния Кулона. Исследуется тип системы уравнений. Показывается инвариантность системы относительно поворота системы координат. Напоминается необходимый материал из теории уравнений в частных производных.

Показывается гиперболичность системы. Определяются характеристики системы – линии скольжения.

Выводятся соотношения вдоль характеристик для модели статики сыпучей среды. Формулируются условия, при которых эти соотношения можно проинтегрировать и получить интегралы системы – инварианты Римана.

Рассматриваются частные случаи интегралов системы уравнений статики сыпучей среды. Строятся решения в случае прямолинейных характеристик и в случае центрированного поля линий скольжения. Решается задача о вдавливании штампа в сыпучую среду и среду со сцеплением. Строится непрерывная система линий скольжения под штампом. Получена формула согласования давлений под штампом и вблизи от него.

Тема 4. ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЁТА ДАВЛЕНИЙ НА ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ. ТЕОРИИ ТЕЧЕНИЯ. АССОЦИИРОВАННЫЙ ЗАКОН ТЕЧЕНИЯ. ПОСТУЛАТ ДРУКЕРА. ПОСТАНОВКИ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ.

Вводится понятие коэффициента бокового распора. Рассматривается задача о распределении напряжений в тяжелом полупространстве. Обсуждаются упрощающие гипотезы, позволяющие получить аналитическое решение. Выбирается Рэнкиновское распределение напряжений для случая, когда свободная поверхность горизонтальна. Приводится сравнение полученного решения с распределением Динника в тяжелом упругом полупространстве. Выбирается обобщение решения для случая наклонной свободной поверхности.

Рассматривается задача о давлении грунта на подпорную стенку. Вводится упрощающая гипотеза, позволяющая получить инженерную оценку. Получены оценки давления при вдвигании и отодвигании подпорной стенки (пассивное и активное давление). Показано, что полученное решение совпадает с точным континуальным решением Рэнкина. Дается оценка опрокидывающего момента сил, действующего на подпорную стенку.

Рассматривается задача о давлении сыпучей среды на дно и стенки бункера – задача Янсена. Вводятся упрощающие гипотезы, строится дифференциальное уравнение. Получено экспоненциальное решение. Проводится обсуждение решения на предмет сравнения с законом Паскаля в жидкости. Строится обобщение решения на случай пространственной осесимметричной емкости.

Тема 5. ЗАДАЧА О ВЫПУСКЕ СЫПУЧИХ И ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ЕМКОСТЕЙ.

Обзор существующих моделей и решение задачи о выпуске сыпучих материалов. Стохастические и приближенные методы решения. Экспериментальные данные, демонстрация видеофильма. Современные исследования, использующие метод дискретных элементов.

Тема 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В КОНСТРУКЦИЯХ И МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД.

Методы разгрузки керна с центральной скважины, метод щелевой разгрузки, частичной разгрузки, метод гидроразрыва, метод с использованием оптических датчиков. Теоретическое обоснование методов.

Тема 7. ДИЛАТАНСИЯ. ПРОБЛЕМА ПОСТРОЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ. АССОЦИИРОВАННЫЙ И НЕАССОЦИИРОВАННЫЙ ЗАКОН ТЕЧЕНИЯ.

Демонстрация явления дилатансии в лабораторном опыте. Демонстрация видеофильма – экспериментов.

Обсуждаются проблемы построения кинематических соотношений. Рассматривается коаксиальная модель несжимаемой сыпучей среды Ишлинского. Проводится анализ типа системы уравнений, выводятся соотношения Гейрингера вдоль характеристик. Показана разосность характеристических направлений для напряжений и скоростей деформаций.

Рассматривается коаксиальная модель дилатирующей среды. Вводится угол дилатансии. Проводится анализ типа системы уравнений и показано, что в случае, если угол дилатансии равен углу внутреннего трения, характеристические направления для напряжений и скоростей деформаций совпадают. Рассматривается модель Друккера-Прагера, основанная на ассоциированном законе течения. Выводятся уравнения модели, исходя из закона предельного состояния Кулона. Показано, что модель Друккера-Прагера совпадает с моделью коаксиальной дилатирующей среды в случае совпадения углов дилатансии и внутреннего трения. Обсуждаются парадоксы модели.

Рассматривается модель Гениева, основанная на совмещении только одного из двух характеристических направлений для напряжений и скоростей деформаций. Строятся определяющие соотношения модели, обсуждается область применения модели Гениева.

Рассматривается модель Николаевского, использующая неассоциированный закон течения.

Тема 8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ТЕОРИЙ ПЛАСТИЧНОСТИ В МЕХАНИКЕ ГОРНЫХ ПОРОД.

Рассматриваются основные деформационные модели, показывается их ограниченность и связь с моделями типа течения для определённых траекторий нагружения.

Тема 9. ПОЛЗУЧЕСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ.

Обзор основных экспериментальных данных. Основные реологические уравнения. Данные о ядрах ползучести».

Тема 10. СОВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГЕОСРЕДЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ГИПОТЕЗАХ О МИКРОДЕФОРМИРОВАНИИ.

Рассматриваются подходы к моделированию поведения сыпучих сред и горных пород на основе гипотез о микродеформировании среды. Рассматриваются возможности учета свойств элементов внутренней структуры среды (зерен, межзеренных контактов). Обсуждаются проблемы осреднения и построения замкнутых континуальных систем уравнений.

Рассматривается роль нелокальных моделей.

Тема 11. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ.

Понятия мягкого и жёсткого нагружения, особая роль ниспадающих ветвей на диаграммах напряжения. Простое и сложное нагружение. Современные системы регистрации и обработки экспериментальных данных.

Тема 12. РОЛЬ ПРИЛИВОВ И ДРУГИХ ДЛИТЕЛЬНЫХ СЛАБЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД.

Усталость горных пород. Роль приливов в формировании напряженно-деформированного состояния литосферы. Исторический обзор, результаты ИГД СО РАН по лабораторному моделированию приливов. Демонстрация видеофильма. Экспериментальные данные ИГД по роли длительных слабых воздействий на сыпучую среду и образцы со сцеплением.

Тема 13. НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ.

Проблема создания питателей и точных дозаторов порошковых материалов.

Тема 14. ЗАДАЧА СМЕШЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ.

Построение модели идеального процесса смешения порошковых материалов. Пример ее технической реализации. Метод клеточных автоматов расчета процессов. Численные результаты.

Тема 15. ТЕОРИЯ КОНЕЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ.

Логарифмические деформации. Различные тензоры конечных деформаций. нелокальные меры конечных деформаций.

Тема 16. НОВЫЕ ИНВАРИАНТЫ ТЕНЗОРА НАПРЯЖЕНИЙ.

Интерпретация В.В. Новожилова. Построение инвариантов как средних напряжений, полученных интегрированием в плоскости диаграммы Мора.

Тема 17. ПОСТРОЕНИЕ ПЛАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НОВЫХ ИНВАРИАНТОВ ТЕНЗОРА НАПРЯЖЕНИЙ.

Вывод уравнений на основе ассоциированного закона течения. Учет упругих деформаций. Исследование типа уравнений.

Тема 18. ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ ПРОЧНОСТИ.

Феноменологические теории прочности. Критерии разрушения: деформационный, энергетический. Критерии длительной и усталостной прочности. Расчет прочности по допускаемым напряжениям. Коэффициент запаса.

Тема 19. КОЭФФИЦИЕНТ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ.

Определение. Методы вычисления. Примеры.

Тема 20. ЗАДАЧА ГРИФФИТСА.

Энергетический подход в механике разрушения.

Тема 21. СИЛОВОЙ ПОДХОД В МЕХАНИКЕ РАЗРУШЕНИЯ.

Модель Ирвина-Баренблатта, Дагдейла. Сравнение с энергетическим подходом.

Тема 22. КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ПРОЧНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ.

Кинетическая концепция прочности твердых тел Журкова.

Тема 23. УСТАЛОСТНОЕ РАЗРУШЕНИЕ.

Малоцикловая и многоцикловая усталость. Экспериментальные результаты СО РАН.

Закономерности роста усталостных трещин.

Тема 24. ПАРАМЕТР ПОВРЕЖДЕННОСТИ.

Параметр поврежденности Качанова-Работнова. Математическая модель. Области использования.

Тема 25. СОВРЕМЕННЫЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ.

Методы конечных элементов, метод дискретных элементов. Стохастические имитационные методы. Метод клеточных автоматов.

7.2. Тематическое планирование

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часов)	В том числе					
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы из них	
Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Консультации	Контрольные занятия, коллоквиумы и т.п.	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Тема 1. Введение. Роль математических моделей в геомеханике.	14	4	2			8	
Тема 2. Использование модели линейно-упругого тела в геомеханике.	20	6	4	2		10	
Тема 3. Теория предельного	16	4	2			10	

равновесия.							
Тема 4. Инженерные методы расчёта давлений на ограждающие конструкции. Теории течения. Ассоциированный закон течения. Постулат Друкера. Постановки краевых задач.	22	6	4		2		10
Тема 5. Задача о выпуске сыпучих и порошковых материалов из емкостей.	16	4	2				10
Тема 6. Экспериментально-теоретические методы определения напряжений в конструкциях и массиве горных пород.	18	4	2		2		10
Тема 7. Дилатансия. Проблема построения кинематических соотношений. Ассоциированный и неассоциированный закон течения.	14	4	2				8
Тема 8. Использование деформационных теорий пластичности в механике горных пород.	20	6	4		2		10
Тема 9. Ползучесть горных пород. Реологические уравнения.	16	4	2				10
Тема 10. Современные модели деформирования геосреды, основанные на гипотезах о микродеформировании.	22	6	4		2		10
Тема 11. Экспериментальные методы исследования деформирования и разрушения твердых тел.	16	4	2				10
Тема 12. Роль приливов и других длительных слабых воздействий на напряженное состояние массива горных пород.	18	4	2		2		10
Тема 13. Некоторые задачи, возникающие в порошковой металлургии.	14	4	2				8
Тема 14. Задача смешения порошковых материалов.	20	6	4		2		10
Тема 15. Теория конечных деформаций.	16	4	2				10
Тема 16. Новые инварианты тензора напряжений.	22	6	4		2		10
Тема 17. Построение пластических моделей	16	4	2				10

деформирования на основе новых инвариантов тензора напряжений.							
Тема 18. Феноменологические теории прочности.	18	4	2		2	10	
Тема 19. Коэффициент интенсивности напряжений.	14	4	2			8	
Тема 20. Задача гриффитса.	14	4	2			8	
Тема 21. Силовой подход в механике разрушения.	14	4	2		2	8	
Тема 22. Кинетическая теория прочности твердых тел.	14	4	2			8	
Тема 23. Усталостное разрушение.	14	4	2		2	8	
Тема 24. Параметр поврежденности.	14	4	2			8	
Тема 25. Современные численные методы краевых задач.	20	4	4		2	10	
Кандидатский экзамен							
Итого		432	112	64	24	232	

7.3 Темы самостоятельной работы

1. Использование модели линейно-упругого тела в геомеханике.
2. Теория предельного равновесия.
3. Инженерные методы расчёта давлений на ограждающие конструкции
4. Задача о выпуске сыпучих материалов из емкостей.
5. Экспериментально-теоретические методы определения напряжений в конструкции.
6. Дилатансия. Проблема построения кинематических соотношений. Ассоциированный и Неассоциированный закон течения.
7. Использование деформационных теорий пластичности.
8. Ползучесть конструкционных материалов. Реологические уравнения.
9. Современные модели деформирования геосреды, основанные на гипотезах о микродеформировании.
10. Экспериментальные методы исследования деформирования и разрушения твердых тел.
11. Роль приливов и других длительных слабых воздействий на напряженное состояние массива горных пород.
12. Современные численные методы решения краевых задач.

8. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

1. Ревуженко А.Ф. Механика сплошной среды: упругое тело. Учебное пособие, Новосибирский государственный институт. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2017. – 214 с.

Самостоятельная работа аспиранта проводится в виде подготовки ответов на вопросы, анализа проблемных ситуаций, выполнения практических самостоятельных работ по анализу и разработке программ обучения, которые преподаватель выкладывает на общедоступный интернет-ресурс.

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, института и ГПНТБ в учебных кабинетах, на рабочих местах с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе семинарских занятий. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

9. Фонд оценочных средств

Оценка качества освоения аспирантами дисциплины включает:

- текущий контроль успеваемости;
- промежуточную аттестацию (зачет);
- итоговую аттестацию (кандидатский экзамен).

Текущий контроль усвоения учебного материала предусмотрен на практических занятиях в виде обсуждений пройденных лекционных тем.

Промежуточная аттестация аспирантов по дисциплине проводится в форме зачета, проводимого в конце каждого семестра. Аспирант допускается к зачету в случае выполнения всех учебных заданий и мероприятий. При наличии учебной задолженности (пропущенных занятий и/или невыполненных заданий) аспирант отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

- оценка «зачтено» ставится, если аспирант показал на зачете знание основного материала дисциплины, знаком с основной литературой, предусмотренной программой, демонстрирующий основные знания, умения и владения;
- оценка «не засчитано» – аспирант не усвоил основной программный материал дисциплины, допустил принципиальные ошибки при ответе.

Основные вопросы для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

1. Формулы тензорного проектирования, главные оси тензора напряжений, инварианты.
2. Условие предельного состояния Кулона, площадки скольжения (формулировка, физический смысл, определение констант).
3. Замкнутая система уравнений статики сыпучей среды, тип системы, свойства характеристик.
4. Коэффициент бокового распора.
5. Основные допущения при построении решения в задаче о штампе.
6. Основные допущения при построении решения Рэнкина в задаче о тяжелом полупротранстве.
7. Основные гипотезы, используемые в задаче о подпорной стенке.
8. Основные гипотезы, используемые в задаче Янсена.
9. Модель коаксиальной несжимаемой среды (основные гипотезы, уравнения, тип системы, свойства характеристик).
10. Модель коаксиальной дилатирующей среды (основные гипотезы, уравнения, тип системы, парадоксы модели).
11. Модель Друккера-Прагера (основные гипотезы, уравнения, тип системы).
12. Модель Гениева.
13. Гипотезы о микродеформировании и основные подходы к моделированию геосреды с учетом внутренней структуры.
14. Локализация деформаций в металлах.
15. Экспериментальные установки, использующиеся для исследования сложного нагружения сыпучих сред, горных пород, конструкционных материалов.
16. Чем пластическое течение отличается от вязкого?
17. Что такое время релаксации? В каких пределах оно меняется для различных сред?
18. В каких случаях необходимо привлечение релаксационных моделей деформирования?
19. В чем существенное отличие жесткого и мягкого нагружения твердых тел? Области использования каждого из данных типов нагружения.
20. Эффекты псевдовязкости сыпучих и порошковых материалов. Их использование в различного типа питателей порошковых материалов.
21. Приведите примеры использования стохастических методов решения задач выпуска и смешения порошковых материалов.
22. Что такое логарифмические деформации?
23. Какие тензоры конечных деформаций Вы знаете?

24. В чем состоит основная идея построения нелокальных мер конечных деформаций?
25. В чем состоит интерпретация В. В. Новожилова второго инварианта тензора напряжений?
26. Новые инварианты, которые можно получить осреднением в плоскости диаграммы Мора.
27. Какие основные феноменологические критерии разрушения Вы знаете?
28. Использование коэффициента интенсивности в критериях разрушения.
29. Постановка задачи Гриффитса.
30. В чем состоит идея силового подхода в механике разрушения?
31. Кинетическая теория прочности твердых тел.
32. В каких ситуациях необходимо учитывать возможность усталостного разрушения?
33. Численный метод конечных элементов.
34. История возникновения метода дискретных элементов.
35. Метод клеточных автоматов.
36. Чем следует руководствоваться при выборе конкретного численного метода.
37. Какие коммерческие программные продукты вы знаете?

Оценочным средством контроля знаний, умений и владений, является **итоговый (кандидатский) экзамен**, который проходит в устной форме по билетам (2 вопроса из Банка контролирующих материалов и один из перечня вопросов, утвержденных директором Института, связанных с тематикой научно–исследовательской работы аспиранта).

Банк контролирующих материалов:

1. 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 Эйлерова описания к Лагранжеву и обратно.
2. 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.
3. Классификация сил в механике сплошных сред: внешние и внутренние силы, массовые и поверхностные силы. Тензоры напряжений Коши, Пиолы и Кирхгофа.
4. Законы сохранения механики сплошных сред: уравнения баланса массы, импульса, момента импульса, кинетической, потенциальной и полной энергии.
5. Термодинамические процессы и циклы. Термодинамические параметры состояния. Понятия о работе, теплоте, внутренней энергии, температуре и энтропии. Первый и второй законы термодинамики. Термодинамические потенциалы состояния. Общие формы определяющих соотношений механики сплошных сред.
6. Физическая размерность. Анализ размерностей и П-теорема. Автомодельные решения. Примеры.
7. 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.
8. Полная система уравнений теории упругости. Уравнения Ламе в перемещениях. Уравнения Бельтрами—Митчелла в напряжениях. Границные условия. Постановка краевых задач математической теории упругости. Основные краевые задачи. Принцип Сен-Венана.
9. 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.

10. Действие сосредоточенной силы в неограниченной упругой среде. Тензор Грина. Границные интегральные представления напряжений и перемещений. Формула Сомильяны. 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).
11. Плоское напряженное и плоское деформированное состояние. Плоская задача теории упругости. Метод комплексных потенциалов Колесова—Мусхелишвили. Комплексное представление напряжений и перемещений. Уравнения плоской задачи теории упругости в полярных координатах. Смешанная задача для полуплоскости. Задача Гриффитса.
12. 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.
13. Задача о действии штампа с плоским основанием на полуплоскость. Контактная задача Герца.
14. 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.
15. 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.
16. Температурные задачи теории упругости. Уравнения термоупругости. Пластическое деформирование твердых тел. Предел текучести. Упрочнение. Остаточные деформации. Идеальная пластичность. Физические механизмы пластического течения. Понятие о дислокациях. Локализация пластических деформаций. Линии Людерса—Чернова.
17. 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.
18. Упрочняющееся упругопластическое тело. Упрочняющееся жесткопластическое тело. Функция нагрузления, поверхность нагрузления. 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.
19. Теория предельного равновесия. Статическая и кинематическая теоремы теории предельного равновесия. Верхние и нижние оценки. Примеры.
20. Кручение призматического тела за пределом упругости. Предельное равновесие при кручении. Характеристики. Поверхность напряжений как поверхность постоянного ската. Песчаная аналогия. Разрывы напряжений. Песчано-мембранный аналогия Прандтля—Надаи для кручения идеально упругопластических тел.
21. Пластическое плоское деформированное состояние. Уравнения для напряжений и скоростей. Статически определимые и неопределенные 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.
22. Плоские упругопластические задачи теории идеальной пластичности. Двухосное растяжение толстой и тонкой пластин с круговым отверстием. Деформационные теории пла-

стичности. Теория Генки. Теория малых упругопластических деформаций А.А. Ильюшина. Теорема о разгрузке. Метод упругих решений. Задача о толстостенной трубе из упрочняющегося материала.

23. Упругопластические волны в стержне. Ударное нагружение. Волна разгрузки. Остаточные деформации. Критическая скорость удара. Понятие о ползучести и релаксации. Критевые ползучести и релаксации. Простейшие модели линейно вязкоупругих сред: модель Максвелла, модель Фохта, модель Томсона. Время релаксации. Время запаздывания.

24. Определяющие соотношения теории вязкоупругости. Ядра ползучести и релаксации. Непрерывные ядра и ядра со слабой особенностью. Термо-динамические 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.

25. Плоская задача о вдавливании жесткого штампа в вязкоупругую полуплоскость. Контакт вязкоупругих тел: аналог задачи Герца. Определяющие соотношения нелинейной теории вязкоупругости. Разложение Вольтерры—Фреше. Упрощенные одномерные модели.

26. 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.

27. 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. Критерий разрушения: деформационный, энергетический, энтропийный. Критерий длительной и усталостной прочности. Расчет прочности по допускаемым напряжениям. Коэффициент запаса прочности.

28. 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.

29. J-интеграл Эшелби—Черепанова—Райса и его инвариантность. Вычисление потока энергии в вершину трещины. JR -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.

30. 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.

31. 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.

32. 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.

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

34. 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.

10. Ресурсное обеспечение

10.1 Перечень основной и дополнительной учебной литературы

а) Основная литература:

1. Ю.Н. Работнов. Механика деформируемого твёрдого тела – М.: Наука, Физматгиз, 1979 – 744 с.
2. Б.Д. Аннин, В.М. Жигалкин. Поведение материалов в условиях сложного нагружения. Новосибирск, изд. СО РАН, 1999, 342 с.
3. Ф. Макклинток, А. Аргон. Деформация и разрушение материалов, М., Мир, 1970, 443 с.
4. Ревуженко А.Ф. Механика сыпучей среды. – Новосибирск: ЗАО ИПП «ОФСЕТ», 2003. – 373 с.
5. Ершов Л.В., Либерман Л.К., Нейман И.Б. Механика горных пород. – М.: Недра, 1987. – 192 с.

б) дополнительная литература

2. Определяющие законы механики грунтов / Под. ред. В.Н. Николаевского. – М.: Мир, 1975. – 231 с.
3. Надай А. Пластичность и разрушение твердых тел. Т. 2. – М., 1969. – 863 с.
4. Мохначев М.П. Усталость горных пород. – М.: Наука, 1979. – 151 с.
5. Мохначев М.П., Присташ В.В. Динамическая прочность горных пород. – М.: Наука, 1987.
6. Садовская О.В., Садовский В.М. Математическое моделирование в задачах механики сыпучих сред. – М.: Физматмет, 2008. – 368 с.
7. Ревуженко А.Ф. Приливные волны и направленный перенос масс Земли. – Новосибирск: Наука, 2013. – 204 с.
8. Кочарян Г.Г. Геомеханика разломов. – М.: Геос, 2016. – 424 с.

10.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- Российский образовательный федеральный портал - www.edu.ru
- Единое окно доступа к образовательным ресурсам - www.window.edu.ru
- http://www.gumer.info/bibliotek_Buks/Pedagog/index.php - Библиотека Гумер - Механика

10.3. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса

При проведении лекционных занятий используется мультимедийное оборудование. На экран выводятся определения, основные понятия, схемы, также графические иллюстрации, помогающие наглядно подать материал. Также демонстрируются видео фильмы, показывающие на моделях динамику деформирования Земли под действием приливных сил, динамику выпуска сыпучих материалов (в первом приближении может быть использована упругая постановка задачи), формирование систем трещин в упругом слое и др.

Организационная работа по взаимодействию аспирантов и преподавателя осуществляется через образовательную закрытую группу электронной рассылки. Учебно-методические материалы по изучаемому курсу размещены на виртуальном диске с доступом, открытым для аспирантов образовательной группы. Информация об обновлении материалов рассыпается по группе электронной рассылки.

10.4. Описание материально-технической базы.

Аудитории в ИТПМ СО РАН, оборудованные всем необходимым для чтения лекций: доска, экран, компьютер, мультимедийный проектор.

Программа составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

1. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ;

2. Приказ Министерства образования и науки РФ от 19.11.2013 года № 1259 «Об утверждении порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)»;

3. Федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования по направлениям подготовки кадров высшей квалификации: 01.06.01 - Математика и механика - приказ Минобрнауки России от 30.07.2014 г. № 866.

Составитель программы:

Ревуженко Александр Филиппович, д.ф.-м.н., проф.



ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ В РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ за 20____/20____ учебный год

В рабочую программу _____
для специальности _____
вносятся следующие дополнения и/или изменения:

Дополнения и изменения внес _____
(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ТПМ Института
«_» 20 г. протокол №_____

Заведующий кафедрой ТПМ _____
(подпись) _____
(Ф.И.О.) _____