

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное учреждение

высшего профессионального образования

"Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Институт математики и механики им. Н.И. Лобачевского



подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Численные эксперименты в механике твердого деформируемого тела М2.ДВ.5

Направление подготовки: 010800.68 - Механика и математическое моделирование

Профиль подготовки: Механика твердого деформируемого тела

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Автор(ы):

Султанов Л.У.

Рецензент(ы):

Коноплев Ю.Г.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Коноплев Ю. Г.

Протокол заседания кафедры № ____ от "____" ____ 201 ____ г

Учебно-методическая комиссия Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского :

Протокол заседания УМК № ____ от "____" ____ 201 ____ г

Регистрационный № 81728414

Казань

2014

Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. (доцент) Султанов Л.У. Кафедра теоретической механики отделение механики , Lenar.Sultanov@kpfu.ru

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины (модуля) "Численные эксперименты в механике твердого деформируемого тела" являются освоение современного изложения в безындексной тензорной форме основных положений МСС. Даются сведения о кинематике конечных деформаций и произвольных течений. Излагается построение балансовых уравнений в дифференциальной и вариационной формах. Даётся классификация тензоров на классы инвариантных и индифферентных тензоров (материальных и пространственных тензоров), вводятся обобщенные производные Яуманна, Труслелла, Грина-Нагди, Ли. На примере одномерных моделей даются основы реологии и техники построения сложных моделей. Рассматриваются способы обобщения этих моделей на трехмерное НДС и конечные деформации. Рассматривается класс гиперупругих материалов. Описываются несжимаемые материалы. Много внимания уделяется упругопластическим материалам. В рамках теории течения даются сведения о построении определяющих соотношений в скоростях напряжений и деформаций. Приводятся основы мультиплексивного разложения градиента деформаций на упругую и пластическую составляющие. Заключительная часть посвящена материалам, обладающим упругими и вязкими свойствами, свойствами ползучести и пластичности. Строятся новые модели для различных сред в условиях больших деформаций. Изучаются методы последовательного нагружения и пошагового интегрирования по времени, используемые в настоящее время в современных информационных системах для решения существенно нелинейных задач. Рассматриваются три группы методов: первый основан на уравнении виртуальных перемещений в отсчетной конфигурации (глобальная лагранжевая постановка), второй предполагает использование того же вариационного принципа, но определенного в текущей конфигурации (модернизированная лагранжевая постановка), третий основан на уравнении виртуальных мощностей в актуальной конфигурации.

2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "М2.ДВ.5 Профессиональный" основной образовательной программы 010800.68 Механика и математическое моделирование и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 1, 2 курсах, 2, 3 семестры.

Настоящий курс ориентирован на студентов, обладающих фундаментальной подготовкой по математике и механике, которую дают на механико-математических факультетах (или аналогичных) ведущих университетах страны. Дисциплина основывается на знаниях, полученных при освоении дисциплин: Математический анализ; Алгебра; Дифференциальные уравнения; Уравнения математической физики; Общая физика; Теоретическая и прикладная механика; Основы МСС.

Знания и навыки, полученные при изучении курса "Численные эксперименты в механике твердого деформируемого тела", используются студентами при выполнении курсовых и дипломных работ.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-7 (общекультурные компетенции)	способность к организации научно-исследовательских и научно-производственных работ, к управлению научным коллективом

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-9 (общекультурные компетенции)	способность к организации и планированию
ПК-1 (профессиональные компетенции)	владение методами математического моделирования при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных математических дисциплин и компьютерных наук
ПК-10 (профессиональные компетенции)	способность к собственному видению прикладного аспекта в строгих математических формулировках
ПК-11 (профессиональные компетенции)	способность к творческому применению, развитию и реализации математически сложных алгоритмов в современных специализированных программных комплексах
ПК-14 (профессиональные компетенции)	владение методами физического и математического моделирования при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных физико-математических дисциплин, теории эксперимента и компьютерных наук
ПК-2 (профессиональные компетенции)	владение методами математического и алгоритмического моделирования при анализе проблем техники и естествознания
ПК-9 (профессиональные компетенции)	умение ориентироваться в современных алгоритмах компьютерной математики, совершенствовать, углублять и развивать математическую теорию и физико-механические модели, лежащие в их основе

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

основы тензорного исчисления;
сущность различных тензорных мер деформаций и связи между ними;
знать различные постановки задач;
знать основные реологические модели простых и сложных сред;
понятие объективных производных тензоров напряжений;
физические основы построения определяющих соотношений;
теорию пластического течения;
метод последовательных нагружений при различных постановках.

2. должен уметь:

составлять балансовые уравнения в исходной, актуальной и подвижной системах координат;
получать определяющие соотношения с учетом различных свойств материалов;
ориентироваться в различных формах вариационных уравнений виртуальных перемещений и виртуальных мощностей.

3. должен владеть:

навыками тензорного исчисления;
навыками получения вариационных уравнений в различных постановках;
навыками получения определяющих соотношения.
навыками построения физических соотношений;
навыками линеаризации определяющих соотношений и разрешающих уравнений.

4. должен демонстрировать способность и готовность:
применять полученные знания на практике
4. должен демонстрировать способность и готовность:
применять полученные знания на практике
4. должен демонстрировать способность и готовность:
применять полученные знания на практике
4. должен демонстрировать способность и готовность:
применять полученные знания на практике
4. должен демонстрировать способность и готовность:
применять полученные знания на практике
4. должен демонстрировать способность и готовность:
применять полученные знания на практике
4. должен демонстрировать способность и готовность:
применять полученные знания на практике
4. должен демонстрировать способность и готовность:
применять полученные знания на практике

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет зачетных(ые) единиц(ы) 144 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины отсутствует во 2 семестре; экзамен в 3 семестре. Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введение. Классификация нелинейных проблем. Основы тензорной алгебры, прямое тензорное исчисление.	2	1-2	2	2	0	устный опрос
2.	Тема 2. Кинематика больших деформаций.	2	3-4	2	2	0	устный опрос
3.	Тема 3. Кинематика течения среды. Материальные производные.	2	5-6	2	2	0	устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
4.	Тема 4. Уравнения движения.	2	7-9	2	4	0	домашнее задание
5.	Тема 5. Вариационные уравнения.	2	10-13	4	4	0	контрольная работа
6.	Тема 6. Объективные производные.	2	14-16	2	4	0	домашнее задание
7.	Тема 7. Реологические модели.	3		2	4	0	домашнее задание
8.	Тема 8. Нелинейная упругость.	3		2	2	0	устный опрос
9.	Тема 9. Упругопластическое деформирование.	3		2	4	0	домашнее задание
10.	Тема 10. Метод последовательных нагружений в отсчетной конфигурации.	3		2	2	0	устный опрос
11.	Тема 11. Метод последовательных нагружений в текущей конфигурации.	3		2	2	0	устный опрос
12.	Тема 12. Пошаговое интегрирование уравнений движения в актуальной конфигурации.	3		2	4	0	контрольная работа
.	Тема . Итоговая форма контроля	1		0	0	0	зачет
	Итого			26	36	0	

4.2 Содержание дисциплины

Тема 1. Введение. Классификация нелинейных проблем. Основы тензорной алгебры, прямое тензорное исчисление.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Введение. Классификация нелинейных проблем. Геометрическая нелинейность: большие деформации и перемещения, малые деформации и конечные перемещения, учет предварительных напряжений. Физическая нелинейность: пластичность, ползучесть, вязкость, сложные реологические модели, предельное состояние и т.д. Контактное взаимодействие. Примеры. Основы тензорной алгебры, прямое тензорное исчисление. Базис, векторы, тензоры, скалярное произведение, свертка, векторное произведение, символы Леви-Чивита. Главные оси, главные значения симметричных тензоров, инварианты, целые и дробные степени тензора, тождество Гамильтона-Кэли. Ортогональный тензор, полярное разложение, кососимметричный тензор. Тензорные функции, производные инвариантов тензора по тензору.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Скалярное произведение, свертка, векторное произведение. Главные оси, главные значения симметричных тензоров, инварианты, целые и дробные степени тензора, тождество Гамильтона-Кэли. Ортогональный тензор, полярное разложение, кососимметричный тензор. Тензорные функции, производные инвариантов тензора по тензору.

Тема 2. Кинематика больших деформаций.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Кинематика больших деформаций Актуальная и начальная конфигурации, вектор конечных перемещений. Оператор Гамильтона для недеформированной и деформированной конфигураций. Тензоры градиента места и деформации и тензоры обратные к ним.

Физический смысл этих тензоров. Тензоры меры деформации: мера деформации Коши-Грина (правый тензор Коши-Грина), мера деформации Фингера (левый тензор Коши-Грина), мера деформации Альманси (левый тензор Пиолы), правый тензор Пиолы, их геометрический смысл. Полярное разложение градиента деформации, правый и левый тензоры искажения, ортогональный тензор жесткого вращения. Внутренние связи между введенными тензорами, их главные значения как отношения длин элементарных отрезков в исходном и актуальном состояниях. Инварианты мер деформаций. Логарифическая мера деформации. Тензор деформаций Грина.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Тензоры градиента места и деформации и тензоры обратные к ним. Полярное разложение градиента деформации, правый и левый тензоры искажения, ортогональный тензор жесткого вращения. Инварианты мер деформаций. Логарифическая мера деформации. Тензор деформаций Грина.

Тема 3. Кинематика течения среды. Материальные производные.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Кинематика течения среды. Вектор скорости, подходы Лагранжа и Эйлера описания течения. Вектор ускорения, материальная, частная и конвективная производные по времени.

Материальные производные градиента деформации, меры деформации Коши-Грина и тензора деформации Грина. Пространственный градиент скорости, его кинематический смысл. Тензор деформации скорости, его физический смысл, тензор скорости поворота. Соотношения, связывающие введенные тензоры. Пространственная мера искажения скорости, тензор скорости вращения (спин), движение без вращений. Скорость изменения объема.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Кинематика течения среды. Материальные производные градиента деформации, меры деформации Коши-Грина и тензора деформации Грина. Пространственный градиент скорости. Пространственная мера искажения скорости, тензор скорости вращения (спин), движение без вращений.

Тема 4. Уравнения движения.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Уравнения движения. Тензор истинных напряжений Коши-Эйлера, векторы напряжений на ортогональных и произвольно ориентированных площадках. Законы сохранения массы и количества движения в рамках подхода Лагранжа, уравнения движения (равновесия) в актуальном состоянии. Уравнение сохранения момента количества движения, симметричность тензора напряжений Коши-Эйлера. Уравнения сохранения массы и количества движения в рамках подхода Эйлера, уравнения неразрывности и движения. Описание движения в подвижных областях (произвольная Лагранжево-Эйлеровская постановка). Векторы скоростей движения материальной частицы и системы отсчета, материальная производная по времени. Закон сохранения массы и различные формы уравнения неразрывности. Закон сохранения количества движения и различные формы уравнения движения. Балансовые уравнения движения среды в деформируемой области.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Уравнения движения. Уравнение сохранения момента количества движения Уравнения сохранения массы и количества движения. Векторы скоростей движения материальной частицы и системы отсчета, материальная производная по времени. Закон сохранения массы и различные формы уравнения неразрывности. Закон сохранения количества движения и различные формы уравнения движения. Балансовые уравнения движения среды в деформируемой области.

Тема 5. Вариационные уравнения.

лекционное занятие (4 часа(ов)):

Вариационные уравнения. Работа внешних и внутренних сил на виртуальных перемещениях. Уравнение виртуальных работ относительно исходной конфигурации, потенциальная энергия деформации, сопряженные по энергии пары тензоров напряжений и тензоров мер деформаций. Физический смысл слагаемых в уравнении виртуальных работ. Элементарная работа внутренних сил в актуальном состоянии, уравнение виртуальных работ в текущей конфигурации. Мощность внутренних сил, кинетическая энергия, работа внешних сил за единицу времени, закон сохранения механической энергии. Четыре формы выражения мощности внутренних сил для исходной и актуальной конфигураций, сопряженные пары тензоров по мощности, тензор истинных напряжений во вращающейся системе координат. Уравнение виртуальных скоростей для исходного и текущего состояний. Уравнения Эйлера соответствующих вариационных задач, различные формы уравнений движения и силовых граничных условий. Вариационные уравнения.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Уравнение виртуальных работ относительно исходной конфигурации. Элементарная работа внутренних сил в актуальном состоянии, уравнение виртуальных работ в текущей конфигурации. Мощность внутренних сил, кинетическая энергия, работа внешних сил за единицу времени, закон сохранения механической энергии. Уравнение виртуальных скоростей для исходного и текущего состояний. Уравнения Эйлера соответствующих вариационных задач, различные формы уравнений движения и силовых граничных условий. Вариационные уравнения.

Тема 6. Объективные производные.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Объективные производные напряжений. Понятие и условие объективности вектора и тензора при жестких вращениях. Понятие и условия инвариантности и изотропности. Классификация введенных тензоров для описания деформации и течения среды. Классификация тензоров напряжений. Введение индифферентных (объективных, коротационных, конститутивных) производных тензора напряжений Коши-Эйлера в форме Яуманна, Трусделла и Грина-Нагди.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Классификация введенных тензоров для описания деформации и течения среды (градиенты деформации, меры деформации, их материальные производные, деформации скорости, скорости вращения и т.д.). Классификация тензоров напряжений. Введение индифферентных (объективных, коротационных, конститутивных) производных тензора напряжений Коши-Эйлера в форме Яуманна, Трусделла и Грина-Нагди. Вывод соотношений, связывающих различные виды производных напряжений.

Тема 7. Реологические модели.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Реологические модели. Простейшие реологические модели: упругая среда, жесткопластическое тело Мизеса, вязкая среда, температурное расширение, односторонний контакт. Сложные модели. Пути обобщения сформулированных моделей для случая больших поворотов, больших перемещений и конечных деформаций.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Простейшие реологические модели: упругая среда, жесткопластическое тело Мизеса, вязкая среда, температурное расширение, односторонний контакт. Сложные модели: упруго-вязкая среда Кельвина-Фойхта, релаксирующая среда Максвелла, упругопластическое тело Прандля, упругопластическая и жесткопластическая среды с подкреплением, вязкопластическая среда Бингама, сыпучая среда, разномодульный материал, вязко-упругопластическая сыпучая среда, модели термо-вязко-упруго-пластических материалов с различным соединением простейших элементов.

Тема 8. Нелинейная упругость.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Нелинейная упругость. Определение нелинейной упругости и гиперупругости, потенциал упругой деформации. Выражение тензоров напряжений Коши-Эйлера и Пиолы-Кирхгофа, производные потенциала по мерам деформации Коши-Грина и Фингера. Изотропные материалы, общий вид определяющих соотношений, стандартный материал первого и второго порядков, материал Джона, материал Блейцо и Ко, тело Сетха, малосжимаемые эластомеры и др. Несжимаемые материалы, условие несжимаемости, обобщенный потенциал упругой деформации, гидростатической давление, обобщенное уравнение виртуальных перемещений. Примеры несжимаемых материалов: Трилора, Муни, Клоснера-Сегала, Бидермана и др. Определяющие соотношения.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Изотропные материалы, общий вид определяющих соотношений, стандартный материал первого и второго порядков, материал Джона, материал Блейцо и Ко, тело Сетха, малосжимаемые эластомеры и др. Несжимаемые материалы, условие несжимаемости, обобщенный потенциал упругой деформации, гидростатической давление, обобщенное уравнение виртуальных перемещений. Примеры несжимаемых материалов: Трилора, Муни, Клоснера-Сегала, Бидермана и др. Определяющие соотношения.

Тема 9. Упругопластическое деформирование.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Упругопластическое деформирование. Теория пластического течения, поверхность пластичности, условие пластического деформирования, аддитивное представление скоростей деформации, ассоциированный закон пластического течения. Идеально пластическая среда, алгоритмы решения: снос напряжений на поверхность текучести, метод Ньютона, учет геометрической нелинейности, шаговое нагружение, соотношения Прандля-Рейсса.

Пластическая среда с подкреплением, параметры упрочнения, касательная жесткость, метод дополнительных напряжений, метод Ньютона и его модификации, учет больших деформаций. Мультипликативное разложение деформаций, обоснование, определяющие соотношения для скоростей деформаций и напряжений.

практическое занятие (4 часа(ов)):

Идеально пластическая среда, алгоритмы решения: снос напряжений на поверхность текучести, метод Ньютона, учет геометрической нелинейности, шаговое нагружение, соотношения Прандля-Рейсса. Пластическая среда с подкреплением, параметры упрочнения, касательная жесткость, метод дополнительных напряжений, метод Ньютона и его модификации, учет больших деформаций.

Тема 10. Метод последовательных нагрузений в отсчетной конфигурации.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Глобальная Лагранжевая постановка задачи. Линеаризованное вариационное уравнение принципа виртуальных перемещений для задач статики и динамики. Алгоритм расчета. Упругопластический материал при малых и конечных деформациях (деформационная теория и теория пластического течения).

практическое занятие (2 часа(ов)):

Построение линеаризованных физических соотношений. Гиперупругий материал. Итерационное уточнение на шаге нагружения.

Тема 11. Метод последовательных нагрузений в текущей конфигурации.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Модернизированная Лагранжевая постановка задачи. Вариационное уравнение принципа виртуальных перемещений в актуальной конфигурации. Модернизированный тензор напряжений Кирхгофа.

практическое занятие (2 часа(ов)):

Упругопластический материал при малых деформациях, при конечных поворотах, при конечных деформациях с мультиплексивным разложением. Алгоритм расчета.

Тема 12. Пошаговое интегрирование уравнений движения в актуальной конфигурации.

лекционное занятие (2 часа(ов)):

Пошаговое интегрирование уравнений движения в актуальной конфигурации.

Линеаризированное вариационное уравнение принципа виртуальных скоростей. Статические нагрузки (пошаговое нагружение).

практическое занятие (4 часа(ов)):

Метод проецирования напряжений на поверхность текучести. Алгоритм расчета.

Динамические задачи. Явная схема интегрирования по времени. Метод дробных шагов.

Упругопластический материал.

4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Введение. Классификация нелинейных проблем. 1. Основы тензорной алгебры, прямое тензорное исчисление.	2	1-2	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
2.	Тема 2. Кинематика больших деформаций.	2	3-4	подготовка к устному опросу	4	устный опрос
3.	Тема 3. Кинематика течения среды. Материальные производные.	2	5-6	подготовка к устному опросу	4	устный опрос
4.	Тема 4. Уравнения движения.	2	7-9	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
5.	Тема 5. Вариационные уравнения.	2	10-13	подготовка к контрольной работе	4	контрольная работа
6.	Тема 6. Объективные производные.	2	14-16	подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
7.	Тема 7. Реологические модели.	3		подготовка домашнего задания	4	домашнее задание
8.	Тема 8. Нелинейная упругость.	3		подготовка к устному опросу	4	устный опрос
9.	Тема 9. Упругопластическое деформирование.	3		подготовка домашнего задания	4	домашнее задание

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
10.	Тема 10. Метод последовательных нагрузений в отсчетной конфигурации.	3		подготовка к устному опросу	4	устный опрос
11.	Тема 11. Метод последовательных нагрузений в текущей конфигурации.	3		подготовка к устному опросу	4	устный опрос
12.	Тема 12. Пошаговое интегрирование уравнений движения в актуальной конфигурации.	3		подготовка к контрольной работе	4	контрольная работа
	Итого				46	

5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Курсы лекций и семинарских занятий, организованные по стандартной технологии.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Тема 1. Введение. Классификация нелинейных проблем. Основы тензорной алгебры, прямое тензорное исчисление.

устный опрос , примерные вопросы:

На семинарских занятиях контроль осуществляется при выступлении у доски.

Тема 2. Кинематика больших деформаций.

устный опрос , примерные вопросы:

На семинарских занятиях контроль осуществляется при выступлении у доски.

Тема 3. Кинематика течения среды. Материальные производные.

устный опрос , примерные вопросы:

На семинарских занятиях контроль осуществляется при выступлении у доски.

Тема 4. Уравнения движения.

домашнее задание , примерные вопросы:

Проверка решенных задач. Уравнения движения. Законы сохранения массы и количества движения в рамках подхода Лагранжа, уравнения движения (равновесия) в актуальном состоянии. Уравнение со-хранения момента количества движения, симметричность тензора напряжений Коши-Эйлера. Уравнения сохранения массы и количества движения в рамках подхода Эйлера, уравнения неразрывности и движения. Описание движения в подвижных областях (произвольная Лагранжево-Эйлеровская по-становка). Закон сохранения количества движения и различные формы уравнения движения. Балансовые уравнения движения среды в деформируемой области. Уравнения движения относительно исходного состояния.

Тема 5. Вариационные уравнения.

контрольная работа , примерные вопросы:

Проверка решенных задач. Вариационные уравнения. Работа внешних и внутренних сил на виртуальных перемещениях. Уравнение виртуальных работ относительно исходной конфигурации, потенциальная энергия деформации, сопряженные по энергии пары тензоров напряжений и тензоров мер деформаций. Элементарная работа внутренних сил в актуальном состоянии, уравнение виртуальных работ в текущей конфигурации. Четыре формы выражения мощности внутренних сил для исходной и актуальной конфигураций, сопряженные пары тензоров по мощности, тензор истинных напряжений во вращающейся системе координат. Уравнение виртуальных скоростей для исходного и текущего состояний. Уравнения Эйлера соответствующих вариационных задач, различные формы уравнений движения и силовых граничных условий.

Тема 6. Объективные производные.

домашнее задание , примерные вопросы:

Проверка решенных задач. Вывод соотношений, связывающих различные виды производных напряжений: градиенты деформации, меры деформации, их материальные производные, деформации скорости, скорости вращения и т.д.. Классификация тензоров напряжений (объективных, коротационных, конститутивных) производных тензора напряжений Коши-Эйлера в форме Яуманна, Трусделла и Грина-Нагди.

Тема 7. Реологические модели.

домашнее задание , примерные вопросы:

Проверка решенных задач. Простейшие реологические модели: упругая среда, жесткопластическое тело Мизеса, вязкая среда, температурное расширение, односторонний контакт. Сложные модели: упруго-вязкая среда Кельвина-Фойхта, релаксирующая среда Максвелла, упругопластическое тело Прандля, упругопластическая и жест-копластическая среды с подкреплением, вязкопластическая среда Бингама, сыпучая среда, разномодульный материал, вязко-упругопластическая сыпучая среда, модели термо-вязко-упруго-пластических материалов с различным соединением простейших элементов. Пути обобщения сформулированных моделей для случая больших поворотов, больших перемещений и конечных деформаций.

Тема 8. Нелинейная упругость.

устный опрос , примерные вопросы:

На семинарских занятиях контроль осуществляется при выступлении у доски.

Тема 9. Упругопластическое деформирование.

домашнее задание , примерные вопросы:

Проверка решенных задач. Идеально пластическая среда, алгоритм проецирования напряжений на поверхность текучести. Пругопластическая среда с линейным упрочнением., алгоритм проецирования на-напряжений на поверхность текучести. Пластическая среда с подкреплением, метод Ньютона решения задач. Пластическая среда с подкреплением, метод дополнительных напряжений. Упругопластическое тело Прандля, упругопластическая и жесткопластическая среды с подкреплением (реологические модели).

Тема 10. Метод последовательных нагрузений в отсчетной конфигурации.

устный опрос , примерные вопросы:

На семинарских занятиях контроль осуществляется при выступлении у доски.

Тема 11. Метод последовательных нагрузений в текущей конфигурации.

устный опрос , примерные вопросы:

На семинарских занятиях контроль осуществляется при выступлении у доски.

Тема 12. Пошаговое интегрирование уравнений движения в актуальной конфигурации.

контрольная работа , примерные вопросы:

Проверка решенных задач. Шаговые методы решения нелинейных задач. История нагружения и ?деградация? материалов. ?Инкрементальные методы? решения нелинейных задач.

Глобальная Лагранжевая постановка в приращениях. Модернизированная Лагранжевая постановка в приращениях. Итерационные методы вычисления напряженного состояния на шаге нагрузления. Комбинированная Лагранжево-Эйлеровская постановка в приращениях.

Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к экзамену:

Итоговый контроль проводится в виде зачета. Зачет ставится на основании выполнения заданий практикума.

Примерные вопросы на зачет:

1. Тензоры градиента места и деформации и тензоры обратные к ним.
2. Полярное разложение градиента деформации, правый и левый тензоры искажения, ортогональный тензор жесткого вращения. Инварианты мер деформаций. Логарифмическая мера деформации. Тензор деформаций Грина.
3. Кинематика течения среды.
4. Уравнения движения.
5. Закон сохранения массы и различные формы уравнения неразрывности.
6. Уравнение виртуальных работ относительно исходной конфигурации, потенциальная энергия деформации, сопряженные по энергии пары тензоров напряжений и тензоров мер деформаций.
7. Мощность внутренних сил, кинетическая энергия, работа внешних сил за единицу времени, закон сохранения механической энергии.
8. Объективные производные напряжений.
9. Реологические модели. Простейшие реологические модели. Сложные модели.
10. Пути обобщения сформулированных моделей для случая больших поворотов, больших перемещений и конечных деформаций.
11. Выражение тензоров напряжений Коши-Эйлера и Пиолы-Кирхгофа, производные потенциала по мерам деформации Коши-Грина и Фингера.
12. Изотропные материалы, общий вид определяющих соотношений, малосжимаемые эластомеры и др. Несжимаемые материалы. Примеры несжимаемых материалов: Трилора, Муни, Клоснера-Сегала, Бидермана и др. Определяющие соотношения
13. Упругопластическое деформирование. Теория пластического течения, поверхность пластичности, условие пластического деформирования.
14. Примеры различных упругопластических сред.
15. Метод последовательных нагружений в отсчетной конфигурации.
16. Алгоритмы расчета. Упругопластический материал при малых и конечных деформациях (деформационная теория и теория пластического течения).
17. Метод последовательных нагружений в текущей конфигурации.
18. Упругопластический материал при малых деформациях, при конечных поворотах, при конечных деформациях с мультиплекативным разложением. Алгоритм расчета.
19. Пошаговое интегрирование уравнений движения в актуальной конфигурации.
20. Динамические задачи.

7.1. Основная литература:

Механика сплошной среды, Нигматулин, Роберт Искандерович, 2014г.

Техническая термодинамика, Попкова, Оксана Сергеевна;Шулаева, Дарья Вадимовна, 2012г.

Математические модели вычислительной нелинейной механики деформируемых сред, Голованов, Александр Иванович;Султанов, Ленар Усманович, 2009г.

Абакумов М. В. Гулин А. В. Лекции по численным методам математической физики: Учебное пособие. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 158 с. // <http://znanium.com/bookread.php?book=364601>

Покровский В.В. Механика. Методы решения задач : учебное пособие Издательство: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012 - 253 с. // <http://e.lanbook.com/view/book/8713/>

Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. - Издательство: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 634 с. // <http://e.lanbook.com/view/book/4397/>

Андреев В. И., Горшков А. А. Варданян Г. С., Атаров Н. М. Сопротивление материалов с осн. теории упругости и пластич.: Учеб. - М.: ИНФРА-М, 2011. - 638 с. // <http://znanium.com/bookread.php?book=256769>

7.2. Дополнительная литература:

Общий курс физики, Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика, Сивухин, Дмитрий Васильевич, 2005г.

Теоретические основы вычислительной нелинейной механики деформируемых сред, Голованов, Александр Иванович; Султанов, Ленар Усманович, 2008г.

Коробейников С.Н. Нелинейное деформирование твердых тел. - Новосибирск, 2000. - 262 с.

Лурье А.И. Нелинейная теория упругости. - М.: Наука, 1980. - 512 с.

Поздеев А.А., Трусов П.В., Няшин Ю.И. Большие упругопластические деформации: теория, алгоритм, приложения. - М.: Наука, 1986. - 232 с.

Голованов А.И., Коноплев Ю.Г., Султанов Л.У. Численное исследование конечных деформаций гиперупругих тел. I. Кинематика и вариационные уравнения // Ученые записки Казанского государственного университета. Серия физико-математические науки. - 2008. - Т. 150, Кн. 1. - С. 29-37.

Голованов А.И., Коноплев Ю.Г., Султанов Л.У. Численное исследование конечных деформаций гиперупругих тел. II. Физические соотношения // Ученые записки Казанского государственного университета. Серия физико-математические науки. - 2008. - Т. 150, Кн. 3. - С. 122-132.

Голованов А.И., Коноплев Ю.Г., Султанов Л.У. Численное исследование конечных деформаций гиперупругих тел III. Постановки задачи и алгоритмы решения // Ученые записки Казанского государственного университета. Серия физико-математические науки. - 2009. - Т. 151, Кн. 3. - С. 108-120.

Голованов А.И., Коноплев Ю.Г., Султанов Л.У. Численное исследование конечных деформаций гиперупругих тел IV. Конечноэлементная реализация. Примеры решения задач // Ученые записки Казанского университета. Серия физико-математические науки. - 2010. - Т. 152, Кн. 4. - С. 115-126.

7.3. Интернет-ресурсы:

Интернет-портал систем автоматизации инженерных расчетов - <http://www.cadfem-cis.ru/>

Поисковая система - www.google.ru

Форум САПР-2000 - <http://fsapr2000.ru/>

Электронная библиотека - www.sciencedirect.com

Электронная библиотека - www.elibrary.ru,

Электронная библиотека - <http://mech.math.msu.su>

Электронная библиотека - www.scopus.com

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Численные эксперименты в механике твердого деформируемого тела" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Учебные аудитории для проведения лекционных и семинарских занятий.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 010800.68 "Механика и математическое моделирование" и магистерской программе Механика твердого деформируемого тела .

Автор(ы):

Султанов Л.У. _____
"___" 201 ___ г.

Рецензент(ы):

Коноплев Ю.Г. _____
"___" 201 ___ г.