

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



Программа дисциплины

Дополнительные главы механики твердого деформируемого тела М1.Б.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 No ___ от "___" _____ 201__ г

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

Протокол заседания УМК No ___ от "___" _____ 201__ г

Регистрационный No 8172813

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) "Дополнительные главы МДТТ" являются освоение современного изложения в безындексной тензорной форме основных положений МСС. В первой части даются сведения о кинематике конечных деформаций и произвольных течений. При этом используются следующие группы тензоров: градиенты деформации и места, меры деформаций, тензоры искажения, логарифмические деформации, тензоры деформации, тензор деформации скорости и вращения, пространственная мера скорости искажения и др. Выводятся соотношения связывающие эти тензоры между собой. Вторая часть посвящена построению балансовых уравнений в дифференциальной и вариационной формах. При этом используются различные способы описания движения: лагранжевая, эйлеровая и произвольная лагранжево-эйлеровая постановка. Выводятся вариационные уравнения принципа виртуальных перемещений и принципа виртуальных мощностей. Особое внимание уделяется построению сопряженных пар тензоров, описывающих кинематику деформирования и напряженное состояние. Дается классификация тензоров на классы инвариантных и индифферентных тензоров (материальных и пространственных тензоров), вводятся обобщенные производные Яуманна, Трусделла, 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.

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

Данная учебная дисциплина включена в раздел " М1.Б.5 Общенаучный" основной образовательной программы 010800.68 Механика и математическое моделирование и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 1 курсе, 1 семестр.

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 "Дополнительные главы МДТТ", 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-6 (общекультурные компетенции)	способность работать самостоятельно, заботой о качестве, стремлением к успеху
ОК-7 (общекультурные компетенции)	способность к организации научно-исследовательских и научно-производственных работ, к управлению научным коллективом
ПК-1 (профессиональные компетенции)	владение методами математического моделирования при анализе глобальных проблем на основе глубоких знаний фундаментальных математических дисциплин и компьютерных наук

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-13 (профессиональные компетенции)	способность к самостоятельному построению целостной картины дисциплины
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-19 (профессиональные компетенции)	умение извлекать актуальную научно-техническую информацию из электронных библиотек, реферативных журналов
ПК-3 (профессиональные компетенции)	способность к интенсивной научно-исследовательской и научно-изыскательской деятельности

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;

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.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

применять полученные знания на практике.
понимать сущность различных тензорных мер деформаций и связи между ними;
объяснить физический смысл различных тензоров напряжений;
уметь составлять балансовые уравнения в исходной, актуальной и подвижной системах координат;
ориентироваться в различных формах вариационных уравнений виртуальных перемещений и виртуальных мощностей.
понимать понятие объективных производных тензоров напряжений;
объяснить основные реологические модели простых и сложных сред.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

применять полученные знания на практике.
понимать сущность различных тензорных мер деформаций и связи между ними;
объяснить физический смысл различных тензоров напряжений;

уметь составлять балансовые уравнения в исходной, актуальной и подвижной системах координат;

ориентироваться в различных формах вариационных уравнений виртуальных перемещений и виртуальных мощностей.

понимать понятие объективных производных тензоров напряжений;

объяснить основные реологические модели простых и сложных сред.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

применять полученные знания на практике.

понимать сущность различных тензорных мер деформаций и связи между ними;

объяснить физический смысл различных тензоров напряжений;

уметь составлять балансовые уравнения в исходной, актуальной и подвижной системах координат;

ориентироваться в различных формах вариационных уравнений виртуальных перемещений и виртуальных мощностей.

понимать понятие объективных производных тензоров напряжений;

объяснить основные реологические модели простых и сложных сред.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

применять полученные знания на практике.

понимать сущность различных тензорных мер деформаций и связи между ними;

объяснить физический смысл различных тензоров напряжений;

уметь составлять балансовые уравнения в исходной, актуальной и подвижной системах координат;

ориентироваться в различных формах вариационных уравнений виртуальных перемещений и виртуальных мощностей.

понимать понятие объективных производных тензоров напряжений;

объяснить основные реологические модели простых и сложных сред.

4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет зачетных(ые) единиц(ы) 72 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 1 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.	1	1-2	2	2	0	устный опрос
2.	Тема 2. Кинематика больших деформаций.	1	3-4	2	2	0	устный опрос
3.	Тема 3. Кинематика течения среды. Материальные производные.	1	5-6	2	2	0	устный опрос
4.	Тема 4. Уравнения движения.	1	7-8	2	2	0	домашнее задание
5.	Тема 5. Вариационные уравнения.	1	9-10	2	2	0	контрольная работа
6.	Тема 6. Объективные производные.	1	11-13	1	4	0	устный опрос
7.	Тема 7. Реологические модели.	1	14-15	1	4	0	устный опрос
	Тема . Итоговая форма контроля	1		0	0	0	зачет
	Итого			12	18	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. Логарифмическая 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. Логарифмическая 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 объем.

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-Эйлерова 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 (2 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 (2 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 (2 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 (1 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 (1 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.

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. Основы тензорной алгебры, прямое тензорное исчисление.	1	1-2	подготовка к устному опросу	6	устный опрос
2.	Тема 2. Кинематика больших деформаций.	1	3-4	подготовка к устному опросу	6	устный опрос
3.	Тема 3. Кинематика течения среды. Материальные производные.	1	5-6	подготовка к устному опросу	6	устный опрос
4.	Тема 4. Уравнения движения.	1	7-8	подготовка домашнего задания	6	домашнее задание
5.	Тема 5. Вариационные уравнения.	1	9-10	подготовка к контрольной работе	6	контрольная работа
6.	Тема 6. Объективные производные.	1	11-13	подготовка к устному опросу	6	устный опрос
7.	Тема 7. Реологические модели.	1	14-15	подготовка к устному опросу	6	устный опрос
	Итого				42	

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.

Тема 5. Вариационные уравнения.

контрольная работа , примерные вопросы:

Проверка решенных задач.

Тема 6. Объективные производные.

устный опрос , примерные вопросы:

На семинарских занятиях контроль осуществляется при выступлении у доски.

Тема 7. Реологические модели.

устный опрос , примерные вопросы:

На семинарских занятиях контроль осуществляется при выступлении у доски.

Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к зачету:

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

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.

7.1. Основная литература:

1. Голованов А.И., Султанов Л.У. Теоретические основы вычислительной нелинейной механики. Курс лекций. - Казань, КГУ. 2008.
2. Димитриенко Ю.И. Нелинейная механика сплошной среды: Учебное пособие. - Изд-во: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - . 624 с. (Книгафонд)

7.2. Дополнительная литература:

1. Поздеев А.А., Трусков П.В., Няшин Ю.И. Большие упругопластические деформации: теория, алгоритм, приложения. - М.: Наука, 1986. - 232 с.
2. Лурье А.И. Нелинейная теория упругости. - М.: Наука, 1980. - 512 с.
3. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. - М.:Мир, 1987.
4. Коробейников С.Н. Нелинейное деформирование твердых тел. - Новосибирск, 2000. - 262 с.
5. Голованов А.И., Султанов Л.У. Математические модели вычислительной нелинейной механики. - Казань, КГУ. 2009.
6. 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.

7. 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.
8. 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.
9. Голованов А.И., Коноплев Ю.Г., Султанов Л.У. Численное исследование конечных деформаций гиперупругих тел IV. Конечноеэлементная 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.elibrary.ru
Электронная библиотека - www.sciencedirect.com
Электронная библиотека - www.scopus.com
Электронная библиотека - <http://mech.math.msu.su>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Дополнительные главы механики твердого деформируемого тела" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "КнигаФонд", доступ к которой предоставлен студентам. Электронно-библиотечная система "КнигаФонд" реализует легальное хранение, распространение и защиту цифрового контента учебно-методической литературы для вузов с условием обязательного соблюдения авторских и смежных прав. КнигаФонд обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям новых ФГОС ВПО.

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.