

Федеральное агентство научных организаций
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт механики сплошных сред
Уральского отделения
Российской академии наук

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по научной работе

Д. ф.-м. н.,

О. А. Плехов

« 02 » 10 2015 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ
«Операторная школа тензорного исчисления и ее использование в
термодинамике сплошной среды»
(наименование дисциплины по учебному плану)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Направление 01.06.01 «Математика и механика»
(код и наименование)

Профиль программы аспирантуры Механика деформируемого твердого тела

Квалификация выпускника: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения: Очная

Курс: 1, 2 Семестр(ы): 2-4

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 4 3Е

Часов по рабочему учебному плану: 144 ч

Виды контроля:

Экзамен: - нет

Диф.зачёт: - 1

Курсовой проект: - нет Курсовая работа: - нет

Пермь 2015

Учебно-методический комплекс дисциплины Операторная школа тензорного исчисления
и ее использование в термодинамике сплошной среды
(полное наименование дисциплины)

разработан на основании;

- федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утверждённого приказом Министерства образования и науки Российской Федерации «25» августа 2014 г. номер приказа «866» по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации)»;
- компетентностной модели выпускника ОПОП по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации)», программы аспирантуры «Механика деформируемого твёрдого тела», утверждённой «10» 09 2015 г.;
- базового учебного плана очной формы обучения по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации)», программы аспирантуры «Механика деформируемого твёрдого тела», утверждённой «10» 09 2015 г.

Рабочая программа согласована с рабочими программами дисциплин

1. Теория упругости. Теория пластичности. Теория ползучести

участвующих в формировании компетенций совместно с данной дисциплиной.

Разработчик

Д.ф.-м. н

(учёная степень, звание)


(подпись)

Свистков А.Л.
(инициалы, фамилия)

Рецензент

Д.ф.-м. н

(учёная степень, звание)


(подпись)

Денисюк Е.Я.
(инициалы, фамилия)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учёным советом ИМСС УрО РАН
 «10» 09 2015 г., протокол № 6-15.

1. Общие положения

1.1. Цель учебной дисциплины - формирование знаний в области термодинамики сложных диссипативных сред, работающих в условиях конечных деформаций, освоение операторной школы тензорного исчисления и приобретения навыков ее использования в практических приложениях, получение знаний, позволяющих ориентироваться в современных школах тензорного исчисления, развитие способности самостоятельного построения определяющих уравнений сред со сложным реологическим поведением.

В процессе изучения данной дисциплины студент расширяет и углубляет следующие компетенции:

- способность проводить научные исследования в области механики деформируемого твёрдого тела (ПК-1);
- способность получать численные и аналитические решения краевых задач для прогноза поведения деформируемых твердых тел различной природы при разнообразных воздействиях (ПК-2).

1.2. Задачи учебной дисциплины:

- **сформировать у аспирантов:**
 - представления о векторных пространствах и операциях с элементами этих пространств, о математических основах построения операторов, осуществляющих линейные преобразования векторов;
 - представления об операторной школе тензорной алгебры и тензорного анализа;
 - представления об использовании операторной школы тензорного исчисления для проведения выкладок, получения следствий из законов термодинамики, проверки на объективность определяющих уравнений сложных сред;
- **обеспечить:**
 - овладение методами доказательства формул тензорной алгебры и тензорного анализа, необходимых для осуществления выкладок;
 - овладение методами построения определяющих уравнений деформируемых сред и проверки их на удовлетворение требования объективности.

1.3. Предметом освоения дисциплины являются следующие объекты:

- инвариантные характеристики геометрических объектов и физических величин;
- модели термодинамики деформируемого тела.

1.4. Место учебной дисциплины в структуре профессиональной подготовки выпускников.

Дисциплина «Операторная школа тензорного исчисления и ее использование в термодинамике сплошной среды» относится к *вариативной* части блока 1 и является *дисциплиной по выбору аспирантов* при освоении ООП ВО по направлению подготовки 01.06.01 – «Математика и механика», направленность «01.02.04 – механика деформируемого твердого тела».

В результате изучения дисциплины обучающийся должен освоить следующие компетенции и демонстрировать следующие результаты:

• **знать:**

- методологию, конкретные методы и приемы научно-исследовательской работы в области механики деформируемого твёрдого тела (основные современные теории процессов деформирования и разрушения, взаимодействия структуры материала и внешних полей различной природы и интенсивности, методы описания процессов деформирования, фазовых и структурно-кинетических переходов в материале);
- методологию, конкретные методы и приемы решения краевых задач, встречающихся при исследовании проблем механики деформируемого твёрдого тела.

• **уметь:**

- ставить задачу и применять современные методы (численные, аналитические, экспериментальные) для решения задач в области механики деформируемого твёрдого тела с учётом эволюции структуры материала и внешних воздействий различной природы и интенсивности.

Связь с предшествующими дисциплинами

Курс предполагает наличие у аспирантов знаний алгебры, анализа, аналитической геометрии, теоретической механики, теории упругости в объёме программы высшего профессионального образования.

Связь с последующими дисциплинами

Знания и навыки, полученные аспирантом при изучении данного курса, необходимы при работе над и при написании диссертации по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

2. Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Учебная дисциплина обеспечивает формирование части компетенций ПК-1, ПК-2.

2.1. Дисциплинарная карта компетенции ПК-1

Код ПК-1	Формулировка компетенции Способность проводить научные исследования в области механики деформируемого твёрдого тела
Код ПК-1.Б1.В.04.02	Формулировка дисциплинарной части компетенции Способность использования знаний об операторной школе тензорной алгебры и тензорного анализа для построения определяющих уравнений деформируемых сред и проверки их на удовлетворение требования объективности.

Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
В результате освоения компетенции студент: Знает: – методологию, конкретные методы и приемы научно-исследовательской работы в области механики деформируемого твёрдого тела (основные современные теории процессов деформирования и разрушения, взаимодействия структуры материала и внешних полей различной природы и интенсивности, методы описания процессов деформирования, фазовых и структурно-кинетических переходов в материале) (3 ПК-1);	Лекции. Самостоятельная работа студентов по изучению теоретического материала.	Устный опрос для текущего и промежуточного контроля.
Умеет: – ставить задачу и применять современные методы (численные, аналитические, экспериментальные) для решения задач в области механики деформируемого твёрдого тела с учётом эволюции структуры материала и внешних воздействий различной природы и интенсивности (У ПК-1);.	Самостоятельная работа студентов (подготовка к лекциям), ведение текущей научно-исследовательской работы	Выполнение индивидуального плана аспирантов, в части публикаций и участия в конференциях. Дифференцированный зачёт для итогового контроля.

2.2. Дисциплинарная карта компетенции ПК-2

Код ПК-2	Формулировка компетенции
	Способность анализировать и формулировать связи между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения
Код ПК-3.Б1.В.04.02	Формулировка дисциплинарной части компетенции
	Способность использовать операторную школу тензорного исчисления для проведения выкладок, получения следствий из законов термодинамики, проверки на объективность определяющих уравнений сложных сред.

Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
В результате освоения компетенции студент: Знает: – методологию, конкретные методы и приемы решения краевых задач, встречающихся при исследовании проблем механики деформируемого твёрдого тела (3 ПК-2).	Лекции. Самостоятельная работа студентов по изучению теоретического материала.	Устный опрос для текущего и промежуточного контроля.

3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Объём и виды учебной работы

№ п.п.	Виды учебной работы	Трудоёмкость, ч			
		по семестрам			всего
		3			
1	2	2й	3й	4й	4
1	Аудиторная работа	36	-	-	36
	- лекции (Л)	36	-	-	36
	- лабораторные работы (ЛР)	-	-	-	-
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	3	-	-	3
3	Самостоятельная работа студентов (СРС)	33	36	34	103
	- изучение теоретического материала	33	36	34	103
	- подготовка к лабораторным работам	-	-	-	-
	- подготовка отчетов по лабораторным работам	-	-	-	-
4	Итоговая аттестация по дисциплине: <i>дифференцированный зачёт</i>	-	-	2	2
5	Трудоёмкость дисциплины, всего:	72	36	36	144
	в часах (ч)	2	1	1	4
	в зачётных единицах (ЗЕ)				

4. Содержание учебной дисциплины

4.1. Модульный тематический план

Тематический план по модулям учебной дисциплины

Номер учебного модуля	Номер раздела дисциплины	Номер темы дисциплины	Количество часов (очная форма обучения)							Трудоёмкость, ч / ЗЕ
			аудиторная работа					итоговая аттестация	самостоятельная работа	
			всего	Л	ПЗ	ЛР	КСР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		Введение	1	1	-	-	-	-	-	1
	1	1	5	5					18	21
		2	6	6					17	22
		3	7	6			1		17	23
	2	4	6	6				17	22	
		5	7	6		1		17	23	
	3	6	7	6		1		17	24	
	Итого по модулю:		39	36	-	-	3	-	103	142/3.94
Итоговая аттестация							2		2	
Всего:			39	36	-	-	3	2	103	144/4

4.2. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Введение.

Л – 1ч.

Организация учебного процесса. Основные понятия, термины и определения. Предмет и задачи дисциплины.

Модуль 1.

Раздел 1. Операторная школа тензорного исчисления.

Л – 17ч., КСР – 1ч., СРС – 52ч.

Тема 1. Множества, операции, векторные пространства, тензоры второго ранга.

Множество. Операция. Группа. Кольцо. Модуль. Прямое произведение. Отображение. Тензорное произведение. Скаляр. Вектор. Тензор второго ранга. Сложение тензоров. Умножение тензора на скаляр. Внешнее умножение. Векторное пространство тензоров второго ранга.

Тема 2. Тензорная алгебра.

Нулевой тензор. Единичный тензор. Произведение тензоров. Скалярное произведение тензоров. След тензора. Транспонированный тензор. Симметричный тензор. Анти-симметричный тензор. Обратный тензор. Вырожденный тензор. Ортогональный тензор. Положительно определенный тензор. Собственные векторы и собственные числа тензора. Ортопроектор. Нильпотентный тензор. Поворот. Тензорные функции. Равенства, использующие след тензора. Транспонирование произведения двух тензоров. Равенства, связывающие возможные варианты скалярного умножения тензора и произведения двух других тензоров. Векторные и тензорные равенства со скалярным умножением, в которых одновременно используются тензоры и векторы. Обратный тензор от транспонированного тензора. Обратный тензор от произведения двух тензоров. Представление симметричного тензора и ортогонального тензора в виде суммы трех слагаемых. Ось поворота. Угол поворота. Полярное разложение обратимого тензора.

Тема 3. Тензорный анализ. Дифференцирование скалярной, векторной и тензорной функций по скалярным, векторным и тензорным аргументам. Производная по скаляру от произведения скалярных, векторных, тензорных функций. Производная по скаляру от обратной функции, от сложной функции. Спин. Производная по вектору от произведения скалярных, векторных, тензорных функций, от сложной функции. Отсчетная и актуальная конфигурации в термодинамике сплошной среды. Градиенты скалярных и векторных функций в отсчетной и в актуальной конфигурациях. Дивергенции векторных и тензорных функций в отсчетной и в актуальной конфигурациях. Левый и правый тензоры Коши-Грина. Левый и правый тензоры растяжения. Физический смысл собственных чисел и собственных векторов правого и левого тензоров растяжения. Связь между градиентами скалярных и векторных функций в отсчетной и актуальной конфигурациях. Связь между нормальными к границам тела и между элементами поверхностей в отсчетной и в актуальной конфигурациях. Градиенты от произведения функций в отсчетной и в актуальной конфигурациях. Дивергенции произведения функций в отсчетной и в актуальной конфигурациях. Связь между дивергенциями функций в отсчетной и актуальной конфигурациях. Тензор скоростей растяжения. Физический смысл тензора скоростей растяжения. Индифферентные тензоры. Индифферентность тензора скоростей растяжения материала, левого тензора Коши-Грина, левого тензора растяжения. Вычисление производных от левого и правого тензоров Коши-Грина по времени с помощью тензора скоростей растяжения. Вычисление производных от кратностей удлинения по времени с помощью тензора скоростей растяжения. Материальная производная скалярной функции по времени в отсчетной и в актуальной конфигурациях.

Раздел 2. Законы термодинамики, требования объективности и их следствия.

Л – 12ч., КСР – 1ч., СРС – 34ч.

Тема 4. Температура, энтропия и поток энтропии с точки зрения статистиче-ской механики.

Использование аналитической механики для описания механического поведения системы материальных точек с наложенными стационарными связями. Уравнения Гамильтона. Фазовое пространство. Применение аналитической механики для моделирования состояния поведения молекулярных систем. Гипотеза о максимальной меры хаоса в стационарном состоянии. Распределение Гиббса. Понятие энтропии, температуры и потока энтропии с точки зрения статистической механики. Растяжение свободно-сочлененной цепи. Энтропийный характер упругих свойств эластомерных материалов.

Тема 5. Законы термодинамики и следствия из них.

Первый закон термодинамики. Инвариантность записи закона сохранения энергии к преобразованиям Галилея. Следствия из первого закона термодинамики. Законы сохранения массы, движения, и новая формулировка закона сохранения энергии. Второй закон термодинамики. Неравенство диссипации. Невозможность создания вечных двигателей первого и второго рода. Несжимаемые среды. Запись условия несжимаемости с помощью тензора скоростей растяжения. Неравенство диссипации и определяющие уравнения газа, идеальной жидкости, ньютоновской жидкости, упругого тела. Учет несжимаемости в определяющих уравнениях среды. Вывод уравнения теплопроводности для газа, идеальной жидкости, ньютоновской жидкости, упругого тела, упругого тела с дополнительными параметрами состояния.

Раздел 3. Примеры математических моделей термодинамики деформируемых сред.

Л – 6ч., КСР – 1ч., СРС – 17ч.

Тема 6. Примеры математических моделей термодинамики деформируемых сред.

Потенциалы свободной энергии гиперупругих несжимаемых материалов. Одноосное сжатие и эквивалентное двуосное растяжение. Потенциал Трелоара. Потенциал Муни-Ривлина. Координаты Муни-Ривлина. Потенциал Джента. Задача о раздувании несжимаемой бесконечной среды, содержащей сферическую пору внутренним давлением. Разложение Ли градиента деформации пластически деформируе-мой среды. Модель пластического течения материала в условиях конечных деформаций. Модель деформируемой жидкости (расплав полимера). Сдвиговое течение расплава по-лимера. Дифференциальные модели вязкоупругих сред. Интегральные модели вязкоупругих сред. Законы термодинамики смеси континуумов. Первое и второе следствие из закона сохранения энергии для смеси континуумов. Вариационная постановка задачи нахождения полей напряжений для упругого сжимаемого материала. Вариационная постановка задачи для упругого несжимаемого материала.

4.3. Перечень тем практических занятий

Практические занятия не предусмотрены.

4.4. Перечень тем лабораторных работ

Лабораторные работы не предусмотрены.

4.5. Виды самостоятельной работы студентов

Виды самостоятельной работы студентов (СРС)

Номер темы дисциплины	Вид самостоятельной работы студентов	Трудоёмкость, часов
1	2	3
1	изучение теоретического материала	18
2	изучение теоретического материала	17
3	изучение теоретического материала	17
4	изучение теоретического материала	17
5	изучение теоретического материала	17
6	изучение теоретического материала	17
	Итого: в ч / в 3Е	103/2,9

5. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Участие в научных мероприятиях различного уровня.

№ п/п	Полное название мероприятия
1	Научный семинар лаборатории, научный семинар ИМСС УрО РАН
2	Зимняя школа по механике сплошных сред, г. Пермь, ИМСС УрО РАН (каждые два года)
3	Всероссийская конференция молодых ученых «Математическое моделирование в естественных науках», г. Пермь, ПНИПУ (ежегодная)

6. Управление и контроль освоения компетенций

6.1. Текущий контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Текущий контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится в форме:

- устного опроса.

6.2. Рубежный и промежуточный контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Промежуточный контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится по окончании разделов дисциплины в следующих формах:

- устного опроса.

6.3. Итоговый контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

1) Дифференцированный зачёт

Условия проставления зачёта по дисциплине:

- зачёт по дисциплине выставляется по итогам проведённого промежуточного контроля и самостоятельной работы.

2) Экзамен

Не предусмотрен.

6.4. Виды текущего, рубежного и итогового контроля освоения элементов и частей компетенций

Контролируемые результаты освоения дисциплины (ЗУВы)	Вид контроля			
	ТК	ПК	ЛР	Диф. зачёт
В результате освоения компетенции студент:				
Знает:				
- методологию, конкретные методы и приемы научно-исследовательской работы в области механики деформируемого твёрдого тела (основные современные теории процессов деформирования и разрушения, взаимодействия структуры материала и внешних полей различной природы и интенсивности, методы описания процессов деформирования, фазовых и структурно-кинетических переходов в материале) (ПК-1);	+	+		
- методологию, конкретные методы и приемы решения краевых задач, встречающихся при исследовании проблем механики деформируемого твёрдого тела (ПК-2).	+	+		
Умеет:				
- ставить задачу и применять современные методы (численные, аналитические, экспериментальные) для решения задач в области механики деформируемого твёрдого тела с учётом эволюции структуры материала и внешних воздействий различной природы и интенсивности (ПК-1).				+

ТК – текущий контроль в форме устного опроса по темам (контроль знаний по теме);
 ПК – промежуточный контроль в форме устного опроса по модулю (контроль знаний по теме);
 ЛР – выполнение лабораторных работ с подготовкой отчёта (оценка умений и навыков).

2-й семестр		Распределение часов по учебным неделям																		Итого, ч
Вид работы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
Раздел:	В	Р1								Р2							Р3			
Лекции	1	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36	
Лабораторные работы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
КСР									1						1			1	3	
Изучение теоретического материала		3	3	3		3		3		2	2	2	2	2	2	3	3		33	
Модуль:	М1																			
Устный опрос									+						+			+		
Дисциплинарный Контроль																			диф. зачёт	
Итого за семестр:																		72		

Вид работы	Распределение часов по учебным неделям																		Итого, ч
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Раздел:	Р1									Р2						Р3			
Лекции	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Лабораторные работы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
КСР	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Изучение теоретического материала	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	1	2	2	2	2	36
Модуль:	М1																		
Устный опрос																			
Дисциплинарный Контроль																			диф. зачёт
Итого за семестр:																			36

4-й семестр		Распределение часов по учебным неделям																		Итого, ч
Вид работы		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Раздел:		Р1									Р2						Р3			
Лекции	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Лабораторные работы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
КСР	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Изучение теоретического материала	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	3	2		34
Модуль:	М1																			
Устный опрос																				
Дисциплинарный Контроль																				+
Итого за семестр:																			(2)	диф. зачёт
Итого за семестр:																				36

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

СПИСОК ИЗДАНИЙ

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1	2	3
1 Основная литература		
1	Трусделл К. Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред. М.: Мир, 1975, 592 с.	1
2	Лурье А.И. Нелинейная теория упругости. М.: Наука, 1980, 512 с.	2
3	Дэй У.А. Термодинамика простых сред с памятью. М.: Мир, 1974. 192 с.	0
2 Дополнительная литература		
2.1 Учебные и научные издания		
1	Жилин П.А. Векторы и тензоры второго ранга в трехмерном пространстве. СПб.: Нестор. 2001. 276 с.	1
2	Гантмахер Ф.Р. Лекции по аналитической механике. М.: Физматлит, 2005. 264 с.	1
2.2 Периодические издания		
1	Журнал «Вычислительная механика сплошных сред»	
2.3 Нормативно-технические издания		
2.4 Официальные издания		
2.5 Электронные информационно-образовательные ресурсы		
1	Научометрическая и реферативная база данных Scopus	
2	Электронная база данных Web of Science	

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

9.1. Специализированные лаборатории и классы

№ п.п.	Помещения			Площадь, м ²	Количество посадочных мест
	Название	Принадлежность (кафедра)	Номер аудитории		
1	2	3	4	5	6
1.	Лекционная мультимедийная аудитория	ИМСС, корп. А,	ауд.321	72	30
2.	Лекционная мультимедийная аудитория	ИМСС, корп. Б,	ауд.233	72	30

9.2. Основное учебное оборудование

№ п.п.	Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката)	Кол-во, ед.	Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.)	Номер аудитории
1	2	3	4	5
1	Компьютеры	10	оперативное управление	220