

Федеральное агентство научных организаций
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
**Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения
Российской академии наук**

Принято на заседании
Объединенного ученого совета
ПФИЦ УрО РАН
Протокол № 6/18
«28» сентября 2018 г.



Утверждаю
Директор ПФИЦ УрО РАН
Чл.-корр. РАН А.А. Барях

«28» сентября 2018 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 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела

Квалификация выпускника: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения: Очная

Курс: 1 Семестр(ы): 1, 2

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 3 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану: 108 ч

Виды контроля:

Экзамен: - нет Зачёт: **2** Курсовой проект: - нет Курсовая работа: - нет

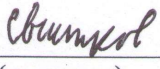
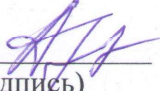
Рабочая программа дисциплины Операторная школа тензорного исчисления и ее использование в термодинамике сплошной среды разработана на основании:

- федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утверждённого приказом Министерства образования и науки Российской Федерации «30» июля 2014 г. номер приказа «866» по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации)»;
- компетентностной модели выпускника ООП по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), программы аспирантуры «Механика деформируемого твердого тела», утверждённой «28» сентября 2018 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 твердого тела», утверждённой «28» сентября 2018 г.

Рабочая программа согласована с рабочей программой дисциплины

1. Нелинейные аспекты разрушения
2. Современные экспериментальные методы

участвующей в формировании компетенций совместно с данной дисциплиной.

Разработчик	<u>д.ф.-м.н., профессор</u> (учёная степень, звание)	<u></u> (подпись)	<u>Свистков А.Л.</u> (инициалы, фамилия)
Рецензент:	<u>д.ф.-м.н., профессор</u> (учёная степень, звание)	<u></u> (подпись)	<u>Роговой А.А.</u> (инициалы, фамилия)

1. Общие положения

1.1. Цель учебной дисциплины

Дисциплина «Операторная школа тензорного исчисления и ее использование в термодинамике сплошной среды» является частью подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации. Курс предназначен для формирования знаний математического аппарата, позволяющего работать с термодинамикой нелинейных диссипативных сред 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. Математический аппарат применяется в рамках курса для вывода следствий, связанных с объективной формулировкой определяющих уравнений сложных деформируемых сред.

В результате изучения дисциплины аспирант формирует части следующих компетенций:

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

Аспирант должен

знать

- понятия и методы тензорной алгебры и анализа;
- терминологию и математическую символику для выражения количественных и качественных отношений объектов тензорной алгебры и анализа;
- принципы векторного и тензорного анализа, включая общековариантной формулировки дифференциальных уравнений;
- основы римановой геометрии и области ее физических приложений;

уметь

- представлять положения механики, используя аппарат тензорного исчисления;
- формулировать и решать задачи, используя аппарат тензорного исчисления;
- применять изученные методы при освоении базовых и профильных дисциплин профессионального цикла и в научно-исследовательской деятельности

владеть

- навыками применения тензорного анализа в расчетно-экспериментальных работах в области прикладной механики;
- языком тензорной алгебры и понятиями дифференциальной геометрии как основы для изучения современных физических теорий.

1.2. Задачей учебной дисциплины является изучение:

- векторных пространств и операций с элементами этих пространств;
- математических основ построения операторов, осуществляющих линейные преобразования векторов;
- операторной школы тензорной алгебры и тензорного анализа для проведения выкладок, получения следствий из законов термодинамики, проверки на объективность определяющих уравнений сложных сред;
- методов доказательства формул тензорной алгебры и тензорного анализа, необходимых для осуществления выкладок;
- методов построения определяющих уравнений деформируемых сред и проверки их на удовлетворение требования объективности.

1.3. Предметами освоения дисциплины являются:

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

1.4. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Операторная школа тензорного исчисления и ее использование в термодинамике сплошной среды» Б1.В.ДВ2.2 входит в Блок 1 и относится к циклу дисциплин по выбору вариативной части Модуля 2 образовательной программы по направлению подготовки: 01.06.01 – «Математика и механика», направленность 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

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 диссертацией и при её написании 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.ДВ2.2	Формулировка дисциплинарной части компетенции Способность проведения научных исследований с использованием современных моделей термодинамики нелинейных деформируемых сред

Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
В результате освоения компетенции аспирант: 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	Лекции, самостоятельная работа аспирантов, подготовка отчета, консультации научного руководителя, ведение текущей научно-	Вопросы для текущего и промежуточного контроля.

описания процессов деформирования, фазовых и структурно-кинетических переходов в материале) (3 ПК-1);	исследовательской работы	
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).	Лекции, самостоятельная работа аспирантов, подготовка отчета, консультации научного руководителя, ведение текущей научно-исследовательской работы	Выполнение индивидуального плана аспирантов в части публикаций и участия в конференциях

2.2. Дисциплинарная карта компетенции ПК-2

Код ПК-2	Формулировка компетенции Способность получать численные и аналитические решения краевых задач для прогноза поведения деформируемых твердых тел различной природы при разнообразных воздействиях
Код ПК-2. Б1.В.ДВ2.2	Формулировка дисциплинарной части компетенции Способность формулировать новые определяющие уравнения сложных сред, работающих в условиях конечных деформаций

Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
В результате освоения компетенции аспирант: Знает: - методологию, конкретные методы и приемы решения краевых задач, встречающихся при исследовании проблем механики деформируемого твёрдого тела (3 ПК-2);	Лекции, самостоятельная работа аспирантов, подготовка отчета, ведение текущей научно-исследовательской работы	Вопросы 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
1	2	3		4
		1й	2й	
1	Аудиторная работа	14	-	14
	- лекции (Л)	14	-	14
	- практические занятия (ПЗ)	2	-	2
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	-	-	-
3	Самостоятельная работа (СР)	36	52	90
	- изучение теоретического материала	36	52	90
4	Итоговая аттестация по дисциплине: Зачёт	2	2	4
5	Трудоёмкость дисциплины, всего: в часах (ч) в зачётных единицах (ЗЕ)	54 1,5	54 1,5	108 3

4. Содержание учебной дисциплины

4.1 Модульный тематический план

Тематический план по модулям учебной дисциплины

Но- мер учеб- ного мо- дуля	Номер раз- дела дисци- плины	Номер темы дисци- плины	Количество часов (очная форма обучения)							Трудоём- кость, ч / ЗЕ
			аудиторная работа					итого- вая ат- теста- ция	само- стоя- тель- ная ра- бота	
			всего	Л	ПЗ	ЛР	КСР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	Введение	1	1	-	-	-	-	-	1
		1	2	2	-	-	-	-	4	6
		2	2	2	-	-	-	-	7	9
		3	3	3	-	-	-	-	9	12
		4	2	-	2	-	-	-	11	13
		5	3	3	-	-	-	-	12	15
		6	3	3	-	-	-	-	10	13
	Итого по модулю:		16	14	2	-	-	-	88	104
Итоговая аттестация			-	-	-	-	-	4	-	4
Всего:			16	14	2			4	88	108/3

4.2 Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Введение.

Л – 1 ч.

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

Раздел 1.

Л – 14 ч., СР – 88 ч.

Тема 1.

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.

Нулевой тензор. Единичный тензор. Произведение тензоров. Скалярное произведение тензоров. След тензора. Транспонированный тензор. Симметричный тензор. Антисимметричный 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.

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.

Тема 4.

Уравнения Гамильтона. Фазовое пространство. Гипотеза о максимальной мере 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.

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.

Тема 6.

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 деформируемой среды. Модель пластического течения материала в условиях конечных деформаций. Модель деформируемой жидкости (расплав полимера). Сдвиговое течение расплава полимера. 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

ПЗ – 2 ч.

Практические занятия по дисциплине предназначены для закрепления знаний, полученных в лекционном курсе, и приобретению навыков использования этих знаний для решения практических задач. В ходе занятий предполагается развитие практических навыков использования аналитической механики для описания механического поведения системы материальных точек с наложенными стационарными связями, а также применения аналитической механики для моделирования состояния поведения молекулярных систем.

4.4 Перечень тем лабораторных работ

Лабораторные работы не предусмотрены.

4.5 Содержание самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов заключается в чтении рекомендуемой литературы и в применении усвоенного аппарата при работе над диссертацией, в подготовке отчёта творческого задания по вопросам реальных проблем механики сплошных сред.

4.6. Участие в научных мероприятиях различного уровня

№ п/п	Полное название мероприятия
1	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)
4	Всероссийская конференция молодых ученых «Неравновесные процессы в сплошных средах», г. Пермь, ПГНИУ (ежегодная)
5	Участие в международных конференциях различного уровня
6	Участие в проектах РФФИ, РФФИ (индивидуально)

5. Методические указания по изучению дисциплины

Аспирантам

Изучение учебной дисциплины должно проводиться систематически. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела. К выполнению практических заданий приступать после самостоятельной работы по изучению теоретических вопросов.

При самостоятельной научно-исследовательской работе проводить знакомство с основной и дополнительной литературой, включая справочные издания, зарубежные источники, конспект и т.д.; составлять аннотации к прочитанным литературным источникам; писать разделы глав научно-исследовательской работы; проводить самоконтроль освоения программного материала.

Необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем и учитываются при аттестации студента.

Преподавателям

Преподавателю необходимо систематически контролировать результаты самостоятельной работы и учитывать их при аттестации студента. При проведении аттестации студентов важно помнить, что систематичность, объективность, аргументированность – главные принципы, на которых основаны контроль и оценка знаний. Проверка, контроль и оценка знаний студента требуют учета его индивидуального стиля в осуществлении учебной деятельности. Знание критериев оценки знаний обязательно для преподавателя и студента.

6. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Для успешного освоения дисциплины применяются различные образовательные технологии, которые обеспечивают достижение планируемых результатов согласно основной профессиональной образовательной программы.

В ходе аудиторной работы преподаватель ведет диалог с аспирантами, задает вопросы, нацеленные 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.

Проведение практических занятий основывается на методе обучения, при котором аспиранты взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом преобладает активность аспирантов в процессе обучения, преподаватель же направляет деятельность аспирантов на достижение целей занятия.

7. Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации и текущего контроля представлен в виде приложения к рабочей программе дисциплины.

8. Управление и контроль освоения компетенций

8.1 Текущий контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Текущий и промежуточный контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится в форме:

- устного опроса;

8.2 Рубежный и промежуточный контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Рубежный и промежуточный контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится в форме:

- устного опроса.

8.3 Итоговый контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

1) Зачёт

Условия проставления зачёта по дисциплине:

- зачёт по дисциплине выставляется по итогам проведённого аттестационного испытания по билетам, тестирования и контроля самостоятельной работы.

2) Экзамен

Не предусмотрен.

8.4 Виды текущего, рубежного и итогового контроля освоения элементов и частей компетенций

Контролируемые результаты освоения дисциплины	Вид контроля			
	ТК	ПК	ЛР	Зачёт
В результате освоения компетенции аспирант: 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) ;	+			+
- методологию, конкретные методы и приемы решения краевых задач, встречающихся при исследовании проблем механики жидкости и газа, современное состояние развития программного обеспечения для моделирования течений жидкости и газа (3 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 (У 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).

9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Перечень основной и дополнительной учебной литературы

№	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. https://t-library.ru/showBook.php?id=3922	0
2	Лурье А.И. Нелинейная теория упругости. М.: Наука, 1980, 512 с.	2
3	Акивис М.А., Гольдберг В.В. Тензорное исчисление М.: Наука, 1972, 352 с.	1
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. http://mp.ipme.ru/Zhilin/Zhilin New/Vec Ten Book.htm	0
2	Гантмахер Ф.Р. Лекции по аналитической механике. М.: Физматлит, 2005. 264 с.	1
2.2 Периодические издания		
1	Журнал «Вычислительная механика сплошных сред» http://www2.icmm.ru/journal/cont.htm	
2	Журнал «Известия РАН. Механика твердого тела», http://mtt.ipmnet.ru/ru	
3	Журнал «Известия РАН. Механика жидкости и газа» http://mzg.ipmnet.ru/ru	
4	Вестник ПНИПУ. «Механика» журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет; Под ред. А. А. Ташкинова. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, с 2012 г. http://vestnik.pstu.ru/mechanics/about/inf/	
5	Вестник ПГНИУ. «Физика» журнал / Пермский государственный национальный исследовательский университет; Под ред. В. А. Дёмина. - Пермь: Изд-во ПГНИУ, с 2016 г. http://press.psu.ru/index.php/phys/index	
2.3 Нормативно-технические издания		
2.4 Официальные издания		
2.5 Электронные информационно-образовательные ресурсы		
1	Электронная библиотека диссертаций РГБ http://diss.rsl.ru	
2	Научная электронная библиотека РИНЦ (Elibrary) http://elibrary.ru	
3	Научная электронная библиотека ScienceDirect https://www.sciencedirect.com/	
4	Научная электронная библиотека SpringerLink https://link.springer.com/	

5	Научная электронная библиотека Elsevier https://www.elsevier.com	
6	Полнотекстовая мультидисциплинарная база данных диссертаций ProQuest Dissertations & Theses Global http://proquest.com/pqdtglobal/dissertations	
7	Университетская информационная система Россия https://uisrussia.msu.ru/	
8	Университетские библиотеки г. Перми http://biblioclub.ru/ http://pspu.ru/university/biblioteka/jelektronnye-resursy-biblioteki https://perm.hse.ru/library/ http://biblioteki.perm.ru/main/index.html?id=34	
9	Наукометрическая и реферативная база данных Scopus https://www.scopus.com	
10	Электронная база данных Web of Science http://apps.webofknowledge.com	
11	Национальная электронная библиотека https://нэб.рф/	

10. Материально-техническое обеспечение, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Специальные помещения и помещения для самостоятельной работы

№ п.п.	Помещения		
	Название	Принадлежность (кафедра)	Номер аудитории
1	2	3	4
1.	Лекционная мультимедийная аудитория	БОН	ауд.203
2.	Лекционная мультимедийная аудитория	«ИМСС УрО РАН», корп. Б	ауд.233

