

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
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
«02» сентября 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор ПФИЦ УрО РАН
Ильин, Р.А. О.А. Илехов



«02» сентября 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ»
(наименование дисциплины по учебному плану)

Специальность 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы
(код и наименование)

Форма обучения: Очная

Курс: 3 Семестр(ы): 5

Трудоёмкость:
Часов по рабочему учебному плану: 108

Виды контроля:

Экзамен: 1

Зачёт: нет

Курсовой проект: нет

Курсовая работа: нет

Пермь 2022

1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы (наименование дисциплины по учебному плану)

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина относится к образовательному компоненту структуры программы аспирантуры и входит в число обязательных дисциплин, направленных на сдачу кандидатского экзамена образовательной программы по специальности: 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Разработана на основании:

- Приказа Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021г. №951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)»;
- Рабочего учебного плана очной формы обучения по специальности: «Механика деформируемого твердого тела», основной образовательной программы аспирантуры (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденной протоколом №3 заседания Объединенного ученого совета ПФИЦ УрО РАН от «18» марта 2022 г.
- Положения о порядке разработки и утверждения программ аспирантуры Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН) принятого на заседании Объединенного ученого совета ПФИЦ УрО РАН, протокол № 3 от 18.03.2022.
- Примерной программы кандидатского экзамена, утвержденной Министерством образования и науки Российской Федерации.

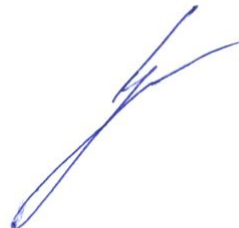
Рабочая программа дисциплины «Механика жидкости, газа и плазмы» является дополненной программой минимума, более глубоко раскрывает отдельные разделы МЖГ, получившие развитие в последние годы, в том числе отражающие научные направления «ИМСС УрО РАН», разработана ведущими специалистами «ИМСС УрО РАН» и согласована со следующими рабочими программами:

- Иностранный язык,
- История и философия науки,
- Научно-исследовательской практики и научно-исследовательской деятельности аспирантов.

Разработчик

д.ф.-м.н., доцент

Зав. лабораторией «ИМСС УрО РАН»



Мизёв А.И.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

В результате освоения дисциплины **Механика жидкости, газа и плазмы** аспиранты должны обладать фундаментальными знаниями в области механики жидкости, газа и плазмы и смежных с ней наук

Знать:

- современные достижения, методологию, конкретные методы и приемы научно-исследовательской работы в области механики жидкости и газа (основные уравнения движения жидкости и газа и методы их решения);
- 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;
- современные методы, приемы планирования эксперимента, обработки и интерпретации экспериментальных данных по изучению поведения жидких и газообразных сред, современное состояние экспериментальных возможностей в области исследования задач механики жидкости и газа.

–

Уметь:

- ставить задачу в области механики жидкости и газа и применять современные методы её анализа;
- ставить задачу и проводить численные и аналитические исследования краевых задач для прогноза поведения жидкости, газа и плазмы при разнообразных воздействиях, в том числе с возможностью распараллеливания на современных вычислительных системах;
- применять теоретические знания по методам сбора, хранения, обработки и передачи информации;
- применять современные аналитические и численные методы моделирования ламинарных и турбулентных течений непроводящих, проводящих и магнитных жидкостей;
- планировать проведение экспериментов, анализировать и интерпретировать экспериментальные данные по изучению поведения жидких и газообразных сред.

Владеть:

- методами планирования, проведения и анализа результатов экспериментальных исследований ламинарных и турбулентных течений непроводящих, проводящих и магнитных жидкостей;
 - методами формализации задач и анализа проблем механики жидкости и газа;
-

- методами самостоятельного анализа краевых задач для различных классов уравнений, практическими навыками и знаниями использования современных исследовательских и проектных технологий;
- методами самостоятельного анализа имеющейся информации (результатов механических и физических экспериментов), практическими навыками и знаниями использования результатов современных исследований в области механики жидкости и газа.

Результатом освоения учебной дисциплины является сдача кандидатского экзамена по специальности: **Механика жидкости, газа и плазмы.**

4. АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина нацелена на формирование и развитие у аспирантов компетенций в области решения задач механики сплошных сред, и смежных областей; овладение математическими моделями и методами решения нелинейных задач механики жидкости, газа и плазмы, позволяющими выпускнику успешно работать в различных областях профессиональной деятельности: научно-исследовательской, проектной и производственно-технологической с применением современных компьютерных технологий; изучение методов, применяемых для описания процессов и явлений, сопровождающих течения однородных и многофазных сред при механических, тепловых, электромагнитных и прочих воздействиях, а также происходящих при взаимодействии текучих сред с движущимися или неподвижными телами.

Курс «Механика жидкости газа и плазмы» нацелен на подготовку аспирантов к защите научно-квалификационной работы в виде диссертации на соискание степени кандидата наук, а также к подготовке и успешной сдаче кандидатского и государственного экзамена по специальности.

Курс «Механика жидкости газа и плазмы» является междисциплинарным. Аттестация по усвоению содержания дисциплины проводится в форме контрольного мероприятия в первом семестре третьего курса и кандидатского экзамена, проводимого по окончании курса. Программой дисциплины предусмотрены консультации (18 ч.) и самостоятельная работа аспирантов (86 ч).

5. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса заключается в формировании у аспиранта комплекса знаний, умений и навыков в области механики жидкости газа и плазмы.

Задачей учебной дисциплины является изучение законов механики сплошных сред; основных методов постановки и проведения экспериментальных исследований течений и их взаимодействия с телами, интерпретации экспериментальных данных с целью прогнозирования и контроля природных явлений и технологических процессов, включающих движения текучих сред, а также формирование:

- знаний основных понятий, уравнений и методов решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач механики жидкости, газа и плазмы;
- умений ориентироваться в физико-математическом аппарате профессиональной области, работать с базами данных, справочниками, подобрать, интерпретировать и оценивать необходимую информацию;
- умений анализировать, интерпретировать, представлять и применять

результаты, полученные при решении задач механики жидкости, газа и плазмы;

– умений самостоятельно выбирать, осваивать и применять современные методы и модели, используемые при решении задач механики жидкости, газа и плазмы, а также в междисциплинарных задачах прикладной механики;

– навыков владения физико-математическими моделями и методами для решения практических задач механики жидкости, газа и плазмы.

– навыков в области построения и исследования математических моделей для описания параметров потоков движущихся сред в широком диапазоне условий.

6. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ, ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО И ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ, ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Вид учебной работы	Количество часов (форма обучения очная)
№ семестров	5
Аудиторные занятия	0
Самостоятельная работа	86
Индивидуальные консультации	18
Всего часов на дисциплину	108
Формы итогового контроля	Кандидатский экзамен
Формы промежуточного контроля	Контрольное мероприятие
Формы текущего контроля	Устный опрос, творческие задания

Тематический план

Наименование тем и разделов	Всего часов	Аудиторные занятия			самостоя- тельная работа
		лекции	Индивидуальные консультации	практики	
Вводные положения	6	0	1	0	5
Кинематика сплошных сред	6	0	1	0	5
Основные понятия и уравнения динамики и термодинамики	6	0	1	0	5

Модели жидких и газообразных сред	6	0	1	0	5
Поверхности разрыва в течениях жидкости, газа и плазмы	7	0	1	0	6
Гидростатика	7	0	1	0	6
Движение идеальной несжимаемой жидкости	7	0	1	0	6
Движение вязкой жидкости. Теория пограничного слоя. Турбулентность	8	0	2	0	6
Движение сжимаемой жидкости. Газовая динамика	7	0	1	0	6
Электромагнитные явления в жидкостях	7	0	1	0	6
Физическое подобие, моделирование	8	0	2	0	6
Гидродинамическая устойчивость и турбулентность	7	0	1	0	6
Магнитная гидродинамика	7	0	1	0	6
Неньютоновские жидкости	7	0	1	0	6
Жидкости с внутренними степенями свободы	8	0	2	0	6
Контрольное мероприятие	2				
Экзамен	2				

7. АННОТИРОВАННОЕ ОПИСАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Вводные положения

Понятие сплошной среды. Микроскопические, статистические и макроскопические феноменологические методы описания свойств, взаимодействий и движений материальных сред. Области приложения механики жидкости, газа и плазмы. Механические модели, теоретическая схематизация и постановка задач, экспериментальные методы исследований. Основные исторические этапы в развитии механики жидкости и газа.

Кинематика сплошных сред

Системы отсчета и системы координат. Лагранжевы и Эйлеровы координаты.

Инерциальные и неинерциальные системы отсчета в ньютоновской механике Точки зрения Эйлера и Лагранжа при изучении движения сплошных сред. Определения и свойства кинематических характеристик движения: перемещения, траектории, скорость, линии тока, критические точки, ускорение, тензор скоростей деформации и его инварианты, вектор вихря, потенциал скорости, циркуляция скорости, установившееся и неустановившееся движение среды. Кинематические свойства вихрей.

Основные понятия и уравнения динамики и термодинамики

Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости. Многокомпонентные смеси. Потоки диффузии. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей. Массовые и поверхностные, внутренние и внешние силы. Законы сохранения количества движения и моментов количества движения для конечных масс сплошной среды. Дифференциальные уравнения движения и момента количества движения сплошной среды. Работа внутренних поверхностных сил. Кинетическая энергия и уравнение живых сил для сплошной среды в интегральной и дифференциальной формах. Понятие о параметрах состояния, пространстве состояний, процессах и циклах. Закон сохранения энергии, внутренняя энергия. Уравнение притока тепла. Вектор потока тепла. Дифференциальные уравнения энергии и притока тепла. Законы теплопроводности Фурье. Различные частные процессы: адиабатический, изотермический и др. Обратимые и необратимые процессы. Совершенный газ. Цикл Карно. Второй закон термодинамики. Энтропия и абсолютная температура. Некомпенсированное тепло и производство энтропии. Неравенство диссипации, тождество Гиббса. Диссипативная функция. Основные макроскопические механизмы диссипации. Понятие о принципе Онзагера. Уравнения состояния. Термодинамические потенциалы двухпараметрических сред.

Модели жидких и газообразных сред

Модель идеальной жидкости. Уравнения Эйлера. Полные системы уравнений для идеальной, несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия. Интегралы Бернулли и Коши-Лагранжа. Явление кавитации. Теорема Томсона и динамические теоремы о вихрях. Возникновение вихрей. Теорема Бьеркнеса. Модель вязкой жидкости. Линейно-вязкая (ньютоновская) жидкость. Уравнения Навье-Стокса. Полные системы уравнений для вязкой несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия. Диссипация энергии в вязкой теплопроводной жидкости. Применение интегральных соотношений к конечным объемам среды при установившемся движении. Теория реактивной тяги и теория идеального пропеллера. Равновесие жидкости и газа в поле потенциальных массовых сил. Закон Архимеда. Равновесие и устойчивость плавающих тел и атмосферы.

Поверхности разрыва в течениях жидкости, газа и плазмы

Поверхности слабых и сильных разрывов. Разрывы сплошности. Условия на поверхностях сильного разрыва в материальных средах и в электромагнитном поле. Тангенциальные разрывы и ударные волны.

Гидростатика

Равновесие жидкости и газа в поле потенциальных массовых сил. Закон Архимеда. Равновесие и устойчивость плавающих тел и атмосферы.

Движение идеальной несжимаемой жидкости

Общая теория непрерывных потенциальных движений несжимаемой жидкости. Свойства гармонических функций. Многозначность потенциала в многосвязных областях. Кинематическая задача о произвольном движении твердого тела в неограниченном объеме идеальной несжимаемой жидкости. Энергия, количество движения и момент количества движения жидкости при движении в ней твердого тела. Движение сферы в идеальной жидкости. Силы воздействия идеальной жидкости на тело, движущееся в безграничной массе жидкости. Основы теории присоединенных масс. Парадокс Даламбера. Плоские движения идеальной жидкости. Функция тока. Применение методов теории аналитических функций комплексного переменного для решения плоских задач гидродинамики и аэродинамики. Стационарное обтекание жидкостью цилиндра и профиля. Формулы Чаплыгина и теорема Жуковского. Правило Жуковского и Чаплыгина определения циркуляции вокруг крыльев с острой задней кромкой. Нестационарное обтекание профилей. Плоские задачи о струйных течениях жидкости. Обтекание тел с отрывом струй. Схемы Кирхгофа, Эфроса и др. Определение поля скоростей по заданным вихрям и источникам. Формулы Био-Савара. Прямолинейный и кольцевой вихри. Законы распределения давлений, силы, обуславливающие вынужденное движение прямолинейных вихрей в плоском потоке. Постановка задачи и основные результаты теории крыла конечного размаха. Несущая линия и несущая поверхность. Постановка задачи Коши-Пуассона о волнах на поверхности тяжелой несжимаемой жидкости. Гармонические волны. Фазовая и групповая скорость. Дисперсия волн. Перенос энергии прогрессивными волнами. Теория мелкой воды. Уравнения Буссинеска и Кортевега-де-Вриза. Нелинейные волны.

Движение вязкой жидкости. Теория пограничного слоя. Турбулентность

Ламинарное движение несжимаемой вязкой жидкости. Течения Куэтта и Пуазейля. Течение вязкой жидкости в диффузоре. Диффузия вихря. Приближения Стокса и Озеена. Задача о движении сферы в вязкой жидкости в постановке Стокса. Ламинарный пограничный слой. Задача Блазиуса. Интегральные соотношения и основанные на их использовании приближенные методы в теории ламинарного пограничного слоя. Явление отрыва пограничного слоя. Устойчивость пограничного слоя. Теплообмен с потоком на основе теории пограничного слоя. Турбулентность. Опыт Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса. Турбулентный перенос тепла и вещества. Полуэмпирические теории турбулентности. Профиль скорости в пограничном слое. Логарифмический закон. Прямое численное решение уравнений гидромеханики при наличии турбулентности. Свободная и вынужденная конвекция. Приближение Буссинеска. Линейная неустойчивость подогреваемого плоского слоя и порог возникновения конвекции. Понятие о странном аттракторе. Движение жидкости и газа в пористой среде. Закон Дарси. Система дифференциальных уравнений подземной гидрогазодинамики. Неустановившаяся фильтрация газа. Примеры точных автомодельных решений.

Движение сжимаемой жидкости. Газовая динамика

Распространение малых возмущений в сжимаемой жидкости. Волновое уравнение. Скорость звука. Запаздывающие потенциалы. Эффект Доплера. Конус Маха. Уравнения газовой динамики. Характеристики. Влияние сжимаемости на форму трубок тока при установившемся движении. Элементарная теория сопла Лаваля. Одномерные неустановившиеся движения газов с плоскими, цилиндрическими и сферическими волнами. Автомодельные движения и классы соответствующих задач. Задачи о поршне и

о сильном взрыве в газе. Волны Римана. Эффект опрокидывания волн. Адиабата Гюгонио. Теорема Цемплена. Эволюционные и неэволюционные разрывы. Теория волн детонации и горения. Правило Жуге и его обоснование. Задача о структуре сильного разрыва. Качественное описание решения задачи о распаде произвольного разрыва. Плоские стационарные сверхзвуковые течения газа. Метод характеристик. Течение Прандтля-Майера. Косой скачок уплотнения. Обтекание сверхзвуковым потоком газа клина и конуса. Понятие об обтекании тел газом с отошедшей ударной волной. Линейная теория обтекания тонких профилей и тел вращения. Течения с гиперзвуковыми скоростями. Закон сопротивления Ньютона.

Электромагнитные явления в жидкостях

Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла в пустоте. Взаимодействие электромагнитного поля с проводниками. Сила Лоренца. Закон сохранения полного заряда. Закон Ома. Среды с идеальной проводимостью. Вектор и уравнение Умова-Пойнтинга. Джоулево тепло. Уравнения импульса и притока тепла для проводящей среды. Уравнения магнитной гидродинамики. Условия вмороженности магнитного поля в среду. Понятие о поляризации и намагничивании жидкостей.

Физическое подобие, моделирование

Система определяющих параметров для выделенного класса явлений. Основные и производные единицы измерения. Формула размерностей. П-теорема. Примеры приложений. Определение физического подобия. Моделирование. Критерии подобия. Числа Эйлера, Маха, Фруда. Рейнольдса, Струхала, Прандтля.

Гидродинамическая устойчивость и турбулентность

Приближение Буссинеска. Уравнения свободной тепловой конвекции. Критерии подобия. Условия равновесия неравномерно нагретой жидкости. Проблема устойчивости. Малые возмущения. Спектральная амплитудная задача. Принцип монотонности возмущений. Критические возмущения. Вариационный метод. Задача Рэлея для плоского слоя. Равновесие и устойчивость в каналах и замкнутых полостях. Метод Галеркина. Воздействие различных факторов на устойчивость равновесия (вращение, диффузия, модуляция параметра). Надкритические движения. Метод разложения по амплитуде вторичных течений. Устойчивость вторичных течений в горизонтальном слое. Конвекция в пограничном слое; задача Польгаузена. Конвекция в замкнутых объемах. Метод сеток в применении к задачам конвекции. Проблема устойчивости стационарных течений. Метод возмущений; постановка задачи линейной теории гидродинамической устойчивости. Нормальные возмущения в плоскопараллельных потоках. Уравнение Орра-Зоммерфельда. Свойства спектра возмущений и декрементов в параллельных потоках. Приближенные методы решения спектральной амплитудной задачи: метод Галеркина, метод Рунге – Кутты с ортогонализацией, метод дифференциальной прогонки. Устойчивость течения Пуазейля; нейтральная кривая. Устойчивость цилиндрического течения Куэтта; вихри Тейлора. Устойчивость стационарного плоскопараллельного конвективного течения. Спектр возмущений и механизмы неустойчивости. Проблема ламинарно-турбулентного перехода. Странные аттракторы в простых динамических системах. Пути возникновения странных аттракторов (последовательные удвоения периода, перемежаемость, переход через квазипериодический режим). Модель Лоренца. Возникновение турбулентной конвекции в горизонтальном слое и замкнутых полостях. Возникновение турбулентности в цилиндрическом течении Куэтта. Осредненные уравнения турбулентного течения.

Цепочка уравнений Фридмана-Келлера. Проблема замыкания и методы ее решения. Однородная и изотропная турбулентность. Проблема корреляции скоростей. Спектр турбулентных пульсаций. Теория Колмогорова.

Магнитная гидродинамика

Магнитогидродинамические взаимодействия. Система уравнений магнитной гидродинамики и условия их применимости. Безразмерная форма уравнений; критерии подобия. Идеально проводящая жидкость. «Вмороженность» силовых линий. Нестационарные возмущения; волны Альфвена и магнитозвуковые волны. Теория генерации поля (проблема МГД-динамо). Аналогия Батчелора. Турбулентность. Альфа-эффект. Течение в каналах. Задача Гартмана. Течение Куэтта в магнитном поле. Особенности МГД-обтекания. Пограничный слой в магнитном поле. Кондукционные и индукционные МГД-машины. Увлечение проводящей среды бегущим и вращающимся магнитным полем. Воздействие магнитного поля на конвективную устойчивость проводящей среды; монотонная и колебательная неустойчивость. Понятие о плазме. Ленгмюровская частота и дебаевский радиус. Условия применимости магнитогидродинамического приближения к описанию плазмы. Равновесие плазмы в магнитном поле. Линейный и азимутальный пинчи. Динамическая модель пинч-эффекта. Гидромагнитная устойчивость плазмы.

Неньютоновские жидкости

Нелинейновязкие жидкости. Идеальное пластическое тело. Псевдопластики и дилатантные жидкости. Тиксотропия. Течение в круглом капилляре и ротационном вискозиметре. Ползучесть материалов. Релаксация напряжений в условиях ползучести. Линейная теория наследственной ползучести Больцмана – Вольтера. Ползучесть нелинейно-наследственного тела. Дифференциальные и интегральные формы уравнений состояния. Вязкоупругое поведение растворов и расплавов полимеров. Феноменологические модели. Функции релаксации и ползучести. Интегралы наследственности. Эффект нормальных напряжений (разбухание струи) и обратимые сдвиговые деформации при экструзии. Вариационные методы расчета течений вязкоупругих жидкостей.

Жидкости с внутренними степенями свободы

Жидкости с внутренним вращением. Законы сохранения. Феноменологический вывод уравнений движения. Релаксация и диффузия внутреннего момента импульса. Дисперсия вязкости. Безынерционное приближение для суспензии наночастиц. Магнитные жидкости (феррожидкости). Общее представление о коллоидных растворах и суспензиях, условия их устойчивости. Полидисперсность реальных ферроколлоидов, ее учет по теории Ланжевена. Магнитогранулометрический анализ. Энергия диполь-дипольного взаимодействия. Модели среднего поля для намагниченности с учетом межчастичных взаимодействий. Магнитная жидкость в переменном поле. Простейшее уравнение релаксации. Динамическая восприимчивость магнитной жидкости, формулы Дебая. Теорема Бернулли для магнитных жидкостей. Максвелловский тензор напряжений и скачок давлений на границе магнитной жидкости. Силы, действующие на погруженное в магнитную жидкость немагнитное тело. Неустойчивость плоской границы МЖ в вертикальном поле. Гидродинамика магнитной жидкости в переменном поле. Поверхностные и объемные силы. Условие потенциальности магнитных сил. Вязкость магнитных жидкостей. Магнитореологический эффект. Сложные магнитные жидкости:

вязкоупругие суспензии, феррогели, ферронематики. Общая характеристика и основные особенности. Уравнение вращательного движения однодоменной частицы в жидкости Максвелла; времена магнитной и ориентационной релаксации, условия применимости безынерционного приближения. Жидкие кристаллы. Классификация. Дальний ориентационный порядок в нематиках. Фазовый переход нематик – изотропная жидкость. Влияние внешних полей. Энергия Франка. Переходы Фредерикса. Динамические свойства нематиков: взаимодействие ориентации и течения. Тензор напряжений Лесли-Эриксона, анизотропия вязкости.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Обязательная:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М., Наука, 1982.
https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_007493719
2. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М., Непомнящий А.А. Устойчивость конвективных течений. М., Наука, 1989.
https://rusneb.ru/catalog/010003_000061_59c95a104e5c02ae20683a41c87dbb6c
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М., Наука, 1987.
4. Седов Л.И. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1976.
https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_002455932
5. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1977
https://rusneb.ru/catalog/000219_000011_RU_ГПНТБ_России_IBIS_0000650743
6. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная неустойчивость несжимаемой жидкости. М., Наука, 1972

Дополнительная:

1. Абрамович Ш.И. Аэродинамика воздушных потоков в помещении. М.: Стройиздат, 1978.
2. Фрик П.Г. Турбулентность: подходы и модели. Москва-Ижевск, Институт компьютерных исследований, 2003.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М., Наука, 1982.
https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_002790251
4. Астарита Д., Маруччи Д. Основы гидромеханики неньютоновской жидкости. М., Мир, 1978
5. Шлиомис М.И. Неравновесные процессы в магнитных суспензиях. Свердловск, 1986.
6. Розенцвейг Р. Феррогидродинамика. М.: Мир, 1989.
7. Сонин А.С. Введение в физику жидких кристаллов. М.: Наука, 1983.
8. У. Уилкинсон. Неньютоновские жидкости. М., Мир, 1964.
http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=228692
9. О.И. Скульский, С.Н. Аристов. Механика аномально вязких жидкостей. Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003.
10. Чанг Дей Хан. Реология в процессах переработки полимеров. М.: «Химия», 1979.
[http://himfaq.ru/images/stories/doc/4%20Tex%20и%20Расчет/Хан.Реология%20в%20процессах%20переработки%20полимеров.1979_\(www.MPlast.by\).pdf](http://himfaq.ru/images/stories/doc/4%20Tex%20и%20Расчет/Хан.Реология%20в%20процессах%20переработки%20полимеров.1979_(www.MPlast.by).pdf)

11. Г.В. Виноградов, А.Я. Малкин. Реология полимеров. «Химия», 1977.
[https://himfaq.ru/images/stories/doc/3%20Материалы%20и%20их%20вторичная%20переработка/Виноградов.Реология%20полимеров.1977_\(www.MPlast.by\).pdf](https://himfaq.ru/images/stories/doc/3%20Материалы%20и%20их%20вторичная%20переработка/Виноградов.Реология%20полимеров.1977_(www.MPlast.by).pdf)
 12. Г. Шрамм. Основы практической реологии и реометрии. М.: «Колосс» 2003.
 13. Д. Поттер. Вычислительные методы в физике. М.; «Мир», 1975.
 14. Берковский Б.М. и др. Магнитные жидкости. М. «Химия», 1989.
 15. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Физматлит, 2003.
<https://goskatalog.ru/portal/#/collections?id=12270566>
 16. Топтыгин И.Н. Современная электродинамика. Теория электромагнитных явлений в веществе. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2005.
https://rusneb.ru/catalog/010003_000061_f541fb8bf22ae335d38af913a18e688f
 17. Можен Ж. Механика электромагнитных сплошных сред М.:Мир, 1991.
 18. Воеводин В.В., Воеводин Вл. В. Параллельные вычисления. СПб, «БХВ-Петербург», 2002.
 19. Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж. Построение и анализ вычислительных алгоритмов. М.: Мир, 1979.
http://snilit.tspu.ru/uploads/files/default/computer_algorithms.pdf
 20. Кондауров В.И., Фортов В.Е. Основы термомеханики конденсированной среды. М.: Изд-во МФТИ, 2002.
https://rusneb.ru/catalog/000219_000026_RU_%D0%93%D0%9F%D0%9D%D0%A2%D0%91+%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8_IBIS_0000320458
 21. Подстригач Я.С., Повстенко Ю.З. Введение в механику поверхностных явлений в деформируемых твердых телах. Киев: Наукова думка, 1985.
https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_rc_733230
 22. Steinmann P., Maugin G.A. (Editors). Mechanics of material forces. Springer: 2005.
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fb137232.pdf>
 23. Гардинер К.В. Стохастические методы в естественных науках. М.: Мир, 1986.
 24. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Часть 1.М.: Физматлит, 2005.
https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_001727784
 25. Климонтович Ю.Л. Статистическая теория открытых систем. М.: ТОО «Янус», 1995.
 26. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Физматлит, 2003.
 27. Топтыгин И.Н. Современная электродинамика. Теория электромагнитных явлений в веществе. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2005.
https://rusneb.ru/catalog/010003_000061_f541fb8bf22ae335d38af913a18e688f
 28. Можен Ж. Механика электромагнитных сплошных сред. М.: Мир, 1991.
 29. Алексеев А.Г., Корнев А.Е. Магнитные эластомеры. М.: Химия, 1987.
https://rusneb.ru/catalog/003333_000029_RU_%D0%93%D0%9F%D0%9D%D0%A2%D0%91+%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8_EK_35.719_%D0%90+471-128714
 30. Шустер Г. Детерминированный хаос (Введение). М., Мир, 1988.
 31. Пикин С.А. Структурные переходы в жидких кристаллах. М., Наука, 1981.
-

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.
<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.
<http://press.psu.ru/index.php/phys/index>

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/>

9. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРАКТИКИ

Образовательный процесс предполагает использование лицензионного программного обеспечения и информационных справочных систем:

Перечень лицензионного программного обеспечения

№ п.п.	Вид учебного занятия	Наименование программного продукта	Номер договора на покупку лицензии	Назначение программного продукта
--------	----------------------	------------------------------------	------------------------------------	----------------------------------

1	Практическое	RadExPro Plus	180530-1 от 18.06.2018	Моделирование геофизических процессов
2	Практическое	ZondRes	337.04/2019/74 от 15.11.2019	Моделирование геофизических процессов
3	Практическое	ЭС «Охрана труда»	3 431 от 24.01.02019	Анализ решений для специалистов по охране труда
4	Практическое	Kaspersky total security	A0019369661 от 14.08.2019	Безопасность данных
5	Практическое	COMSOL Multiphysics	сетевая лицензия (FNL) №9600871, Договор 43/17 от 11.08.2017	Моделирование механических процессов
6	Практическое	ANSYS	Договор 08-ПО/2016 КАДФЕМ Си-Ай-Эс от 08.09.2016	Моделирование механических процессов
7	Практическое, Лекционное	Office Standard 2013 Russian OLP NL Academic Edition	93/14 от 16.12.2014	Работа с текстовыми документами, презентациями и таблицами

10. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИКИ.

Для проведения педагогической практики необходимо следующее материально-техническое обеспечение: аудитории для лекционных и семинарских занятий; компьютерные классы, лаборатории, ноутбуки, проекционная аппаратура, аудиторная доска, принтеры, сканеры.

Лекционная ауд. – 203 БОН	Проектор, экран, маркерная доска, ноутбук Лицензионное ПО Договор № 93/14 ЗАО "СофтЛайн Трейд от 16.12.2014 г. и № 56182/ЕКТ2780 от 29.09.2016 ПО: Microsoft Договор 18-08-01186/18 от 31.01.2018
Библиотека «ИМСС УрО РАН»	компьютеры Pentium 4 CPU @2GHz, 512 ОЗУ, 80 Gb, 15" с выходом в Интернет, Лицензионное ПО Договор № 93/14 ЗАО "СофтЛайн Трейд от 16.12.2014 г. и № 56182/ЕКТ2780 от 29.09.2016 ПО: Microsoft Договор 18-08-01186/18 от

	31.01.2018
--	------------

Оснащенность специальных помещений (лабораторий) «ИМСС УрО РАН»
--

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">– Машина для испытания материалов Zwick Z 100/SN 5A– Комплекс аппаратно-программных средств для трехмерного анализа деформаций Strain Master portable 5M в комплекте |
| <ul style="list-style-type: none">– Инфракрасная камера CEDIR Silver 450-M с набором объективов– Осциллограф DPO7254+DPO7254 5RL– Система акустической эмиссии AMSY– Доплеровский измеритель скорости FDVI Mark– Установка для бесконтактного измерения формы, деформаций и напряжений Stain Master– 100-kN серво-гидравлическая машина Bi-00-100– Лабораторная установка для измерения и проведения высокочастотных динамических исследований USF-2000– Универсальная напольная испытательная машина AG-X Plus-.05 300kN |
| <ul style="list-style-type: none">– Универсальная электромеханическая испытательная машина FS-100CT– Лабораторная установка для измерения перемещений образца на базе бесконтактного видеоэкстензиометра VE-500-1 |
| <ul style="list-style-type: none">– Суперкомпьютер MBC-1000/16П |
| <ul style="list-style-type: none">– Система для изучения свойств межфазных поверхностей– Тензиометр автоматический Sigma 701 в комплекте– Универсальный комплекс видеоборудования– Микроскоп стереоскопический для лабораторных исследований Stereo Discovery V12– Комплекс оптических измерений в гидродинамике– Комплект оборудования для интерферометра |

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Аспирантам

Освоение курса требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в программе.

Основными видами учебной работы является самостоятельная работа. Их цель - расширить базовые знания аспирантов по изучаемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для более глубокого освоения программного материала. Аспиранту важно помнить, что индивидуальные консультации эффективно помогут аспиранту овладеть программным материалом благодаря прямому визуальному и эмоциональному контакту аспиранта с преподавателем, обеспечивая более полную реализацию воспитательной компоненты обучения.

При самостоятельной работе следует использовать:

- учебно-методическую литературу из рекомендованного списка;
- ресурсы информационной поддержки учебного процесса.

Аспиранту необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем и учитываются при аттестации аспиранта.

Преподавателям

Преподавателю следует иметь в виду, что освоение курса требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в программе.

Важно помнить, что индивидуальные консультации помогают аспиранту овладеть программным материалом благодаря правильной расстановке преподавателем необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудиовизуального механизма восприятия информации. Кроме того, во время консультации имеет место прямой визуальный и эмоциональный контакт аспиранта с преподавателем, обеспечивающий более полную реализацию воспитательной компоненты обучения, в том числе на личном примере педагога (культура речи, манера одеваться, общаться с аспирантами и аудиторией в целом, и т.д.).

Преподавателю следует иметь в виду, что содержание консультации должно удовлетворять следующим дидактическим требованиям, обеспечивающим активную работу аспиранта и эффективное освоение им программного материала:

- логичности, четкости и ясности в изложении материала;
- последовательности изложения материала: от простого к сложному, от известного к неизвестному;
- проблемности (с широким привлечением диалога, дискуссии);
- наглядности;
- связи с практикой и будущей профессиональной деятельностью аспиранта.

Преподавателю необходимо систематически контролировать результаты самостоятельной работы и учитывать их при аттестации аспиранта.

При проведении аттестации аспирантов важно помнить, что систематичность, объективность, аргументированность – главные принципы, на которых основаны контроль и оценка знаний. Проверка, контроль и оценка знаний аспиранта требуют учета его индивидуального стиля в осуществлении учебной деятельности. Знание критериев оценки знаний обязательно и для преподавателя, и для аспиранта.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

[illegible]