

**МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Алтайский государственный педагогический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
и инновационной деятельности
Н.А. Матвеева

«28» марта 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Механика жидкости, газа и плазмы

Образовательная программа высшего образования – программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности:

1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

Направленность программы (профиль): –

Уровень образования:

высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации

Область науки:

1. Естественные науки

Группа научных специальностей:

1.1. Математика и механика

Форма обучения:

Очная

Объем дисциплины:

6 з.е.

Барнаул 2022

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями, утвержденными приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 № 951, паспортом научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

Рабочая программа дисциплины принята на заседании кафедры математики и методики обучения математике от «22» марта 2022 г. (протокол №7).

Составитель:

Пышнограй Григорий Владимирович, профессор кафедры математики и методики обучения математике

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель: формирование у аспиранта комплекса знаний, умений и навыков в области механики жидкости, газа и плазмы.

Задачи: изучение законов механики сплошных сред; методов используемых в механике сплошных сред; моделей механики сплошной среды; 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.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ ПОДГОТОВКИ НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ

Дисциплина «Механика жидкости, газа и плазмы» относится к дисциплинам, направленным на подготовку к сдаче кандидатского экзамена образовательного компонента программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре. Шифр дисциплины в учебном плане 2.1.1.3.

Освоение данной дисциплины является необходимой основой для успешного освоения аспирантами последующих дисциплин, практики.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

знать: основные понятия, уравнения и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач механики жидкости, газа и плазмы;

уметь: ориентироваться в физико-математическом аппарате профессиональной области, работать с базами данных, справочниками, подобрать, интерпретировать и оценивать необходимую информацию; анализировать, интерпретировать, представлять и применять результаты, полученные при решении задач механики жидкости, газа и плазмы; 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;

владеть: физико-математическими моделями и методами для решения практических задач механики жидкости, газа и плазмы.

иметь опыт: построения и исследования математических моделей для описания параметров потоков движущихся сред в широком диапазоне условий.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение часов по годам обучения		
		1	2	3
Аудиторные занятия (всего)	12		12	
В том числе:				
Лекции (Л)	6		6	
Практические занятия (ПЗ)	6		6	
Самостоятельная работа (СР)	204		204	
Вид промежуточной аттестации: экзамен				
Общая трудоемкость дисциплины:	216		216	

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
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.
2.	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 неустойчивое движение среды. Кинематические свойства вихрей.
3.	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.
4.	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.
5.	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.
6.	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. Методы 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.
7.	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. Лога-

		рифмический 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.
8.	Движение сжимаемой жидкости. Газовая динамика	Распространение малых возмущений в сжимаемой жидкости. Волновое уравнение. Скорость звука. Запаздывающие потенциалы. Эффект Допплера. Конус Маха. Уравнения газовой динамики. Характеристики. Влияние сжимаемости на форму трубок тока при установившемся движении. Элементарная теория сопла Лавалья. 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.
9.	Физическое подобие, моделирование	Система определяющих параметров для выделенного класса явлений. Основные и производные единицы измерения. Формула размерностей. П-теорема. Примеры приложений. Определение физического подобия. Моделиро-

	вание. 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.
10.	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.
11.	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.
--	--	--

Разделы дисциплины и виды занятий

№	Наименование раздела дисциплины	Л	ПЗ	СРС	Всего
1.	Вводные положения	1	1	24	26
2.	Кинематика сплошных сред	1	1	24	26
3.	Основные понятия и уравнения динамики и термодинамики	1	1	24	26
4.	Модели жидких и газообразных сред	1	1	24	26
5.	Поверхности разрыва в течениях жидкости, газа и плазмы	1	1	24	26
6.	Гидростатика	1	1	24	26
7.	Движение вязкой жидкости. Теория			28	28

	пограничного слоя. Турбулентность				
8.	Движение сжимаемой жидкости. Газовая динамика			28	28
9.	Физическое подобие, моделирование	1	1	24	26
10.	Неньютоновские жидкости	1	1	24	26
11.	Жидкости с внутренними степенями свободы			24	24
	Итого				

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Основная литература

Приложение

6.2. Дополнительная литература

Приложение

6.3. Информационные, информационно-справочные системы и профессиональные базы данных

1. Электронно-Библиотечная Система IPRbooks ООО «Ай Пи Эр Медиа» <http://www.iprbookshop.ru/>.
2. Электронная библиотека ФГБОУ ВО АлтГПУ, Научно-педагогическая библиотека <http://library.altspu.ru/elb.phtml>.
3. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU ООО «Интра-центр+» <http://elibrary.ru/>.
4. Межвузовская электронная библиотека (МЭБ) <http://icdlib.nspu.ru/>.
6. Политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая (библиометрическая) база данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com>.
7. «Национальная электронная библиотека» ФГБУ «РГБ» <http://нэб.рф>.
8. Президентская библиотека имени Б. Н. Ельцина ФГБУ «Президентская библиотека имени Б.Н. Ельцина» <https://www.prilib.ru/>.
10. Ассоциация российских библиотечных консорциумов (АРБИКОН). Проект «Марс» (Межрегиональная аналитическая роспись статей) http://arbicon.ru/services/mars_analitic.html.

11. Реферативная и наукометрическая база данных «Scopus» ФГБУ «ГПНТБ»
<https://www.ncfu.ru/science/elektronnye-resursy/naukometricheskie-i-referativnye-bazy-dannyh/>.

7. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Для преподавателей:

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 аудиторные занятия помогают аспиранту овладеть программным материалом благодаря правильной расстановке преподавателем необходимых акцентов при изложении материала. Кроме того, во время аудиторных занятий 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 со студентами и аудиторией в целом, и т.д.).

Преподавателю следует иметь в виду, что содержание занятий 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 студентов 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.

7.2. Для аспирантов:

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

Основными видами учебной работы является самостоятельная работа.

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.

7.3. Рекомендации для обучающихся ОВЗ

Специальные условия обучения в АлтГПУ определены «Положением об инклюзивном образовании» (утверждено приказом ректора от 25.12.2015 г. № 312/1п).

8. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ И САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

8.1. Перечень вопросов или заданий для текущего контроля

Перечень примерных вопросов:

1. Понятие сплошной среды. Микроскопические, статистические и макроскопические феноменологические метода описания свойств, взаимодействий и движений материальных сред.

2. Области приложения механики жидкости, газа и плазмы. Механические модели, теоретическая схематизация и постановка задач, экспериментальные методы исследований.

3. Основные исторические этапы в развитии механики жидкости и газа.

4. Системы отсчета и системы координат. Лагранжевы и Эйлера координаты. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета в ньютоновской механике.

5. Определения и свойства кинематических характеристик движения: перемещение, траектория, скорость, линии тока, критические точки, ускорение, тензор скоростей деформации и его инварианты, вектор вихря, потенциал скорости, циркуляция скорости, установившееся и неустановившееся движение среды.

6. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости.

7. Массовые и поверхностные, внутренние и внешние силы.

8. Законы сохранения количества движения и моментов количества движения для конечных масс сплошной среды.

9. Дифференциальные уравнения движения и момента количества движения сплошной среды.

10. Закон теплопроводности Фурье.

11. Уравнения состояния.

12. Модель идеальной жидкости. Уравнения Эйлера. Полные системы уравнений для идеальной, несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия.

13. Модель вязкой жидкости. Линейно-вязкая (ньютоновская) жидкость. Уравнения Навье-Стокса. Полные системы уравнений для вязкой несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия.

Перечень примерных заданий:

1. Определить плотность жидкости, полученной смешиванием 10 л жидкости плотностью $\rho_1 = 900 \text{ кг/м}^3$ и 20 л жидкости плотностью $\rho_2 = 870 \text{ кг/м}^3$.

2. Разность скоростей между двумя соседними слоями жидкости толщиной $dn = 0,02 \text{ мм}$ $du = 0,0072 \text{ м/с}$. Рассматриваемая жидкость имеет динамический коэффициент вязкости $\mu = 13,04 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$. Определить тангенциальное напряжение и силу трения на 1 м^2 поверхности между слоями жидкости.

3. Воздух течет по трубе, площадь поперечного сечения которой меняется по длине. В некотором сечении площадью F_1 число Маха $1,06M$. В другом сечении площадью F_2 число Маха $2,085M$. Определите отношение площадей F_2/F_1 . Считать, что течение одномерное изэнтропийное. Определить также отношение скорости V_2/V_1 и температуры.

8.2. Перечень вопросов для самостоятельной работы

1. Полные системы уравнений для идеальной, несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия.
2. Модель вязкой жидкости.
3. Уравнения Навье-Стокса.
4. Закон Архимеда.
5. Поверхности слабых и сильных разрывов.
6. Движение сферы в идеальной жидкости.
7. Парадокс Даламбера.
8. Плоские движения идеальной жидкости. Функция тока.
9. Гармонические волны. Фазовая и групповая скорость.
10. Ламинарное движение несжимаемой вязкой жидкости. Течения Куэтта и Пуазейля.
11. Турбулентность. Опыт Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса.
12. Понятие о странном аттракторе.
13. Определение физического подобия. Моделирование. Критерии подобия.
14. Нелинейновязкие жидкости.

9. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ

Промежуточный контроль и критерии оценок представлен в программе Промежуточной аттестации по дисциплинам (модулям) и практике.

Приложение

Список литературы

Тип	Книга	Количество
Основная	Давыдов А. П. Основы механики жидкости и газа: (современные проблемы техники, технологий и инженерных расчетов) : монография / А. П. Давыдов, М. А. Валиуллин, О. Р. Каратаев. — Казань: КНИТУ, 2014. — 109 с. — URL: http://www.iprbookshop.ru/63753.html . — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Основная	Марсден Дж. Э. Математические основы механики жидкости / Дж. Э. Марсден, А. Чорин ; пер. с англ. В. Е. Зализняка ; под ред. А. В. Борисова. — Москва; Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика: Институт компьютерных исследований, 2019. — 204 с. — URL: http://www.iprbookshop.ru/92048.html . — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Основная	Папуша А. Н. Механика сплошных сред: учебник / А. Н. Папуша. — Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2019. — 688 с. — URL: http://www.iprbookshop.ru/91963.html . — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Основная	Теплофизические свойства горячей плотной плазмы / В. Эбелинг, А. Фёрстер, В. Фортов и др. ; пер. с англ. Ю. В. Колесниченко. — Москва; Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика: Институт компьютерных исследований, 2019. — 400 с. — URL: http://www.iprbookshop.ru/92008.html . — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Дополнительная	Грицук И. И. Основы механики жидкости: учебное пособие / И. И. Грицук, Е. К. Синиченко, Н. К. Пономарев. — Москва: Российский университет дружбы народов, 2018. — 136 с. — URL: http://www.iprbookshop.ru/91038.html . — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Дополнительная	Киселев С. П. Механика сплошных сред: учебное пособие / С. П. Киселев. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2017. — 256 с. — URL: http://www.iprbookshop.ru/91245.html . — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Дополнительная	Некрасов К. А. Метод Монте-Карло на графических процессорах : учебное пособие / К. А. Некрасов, С. И. Поташников, А. С. Боярченков, А. Я. Купряжкин. — Екатеринбург: Уральский федеральный университет, 2016. — 60 с. — URL: http://www.iprbookshop.ru/69634.html . — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Дополнительная	Пушкин А. В. Геометродинамика: программа разработки алгоритмов построения аналитических решений уравнений, описывающих двумерные и трехмерные движения сплошных сред : монография / А. В. Пушкин. — Саров, 2005. — 243 с. — URL: http://www.iprbookshop.ru/60844.html . — Текст (визуальный) : электронный.	9999
Дополнительная	Шинкин В. Н. Механика сплошных сред: курс лекций: учебное пособие / В. Н. Шинкин. — Москва: МИСиС, 2010. — 235 с. — URL: http://www.iprbookshop.ru/56090.html . — Текст (визуальный) : электронный.	9999