

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра теоретической физики**

Авторы-составители: **Любимова Татьяна Петровна  
Демин Виталий Анатольевич**

Рабочая программа дисциплины  
**МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ**  
Код УМК 91501

Утверждено  
Протокол №6  
от «08» июня 2020 г.

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Механика жидкости, газа и плазмы

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в Блок « Блок1.А.00 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **01.06.01** Математика и механика  
направленность Физическая гидродинамика

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Механика жидкости, газа и плазмы** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**01.06.01** Математика и механика (направленность : Физическая гидродинамика)

**ПК.1.3** Способен строить и исследовать математические модели в области механики жидкости и газа; проводить анализ полученных моделей с использованием компьютерных технологий

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	01.06.01 Математика и механика (направленность: Физическая гидродинамика)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	7
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	4
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	144
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	48
<b>Проведение лекционных занятий</b>	24
<b>Проведение практических занятий, семинаров</b>	24
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	96
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Экзамен (7 триместр)

## 5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

### Механика жидкости, газа и плазмы [аспирантура] (1 триместр)

#### Основные принципы и законы механики сплошных сред.

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.

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

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. Принцип Онзагера. Уравнения состояния. Термодинамические потенциалы двухпараметрических сред.

#### Модели жидких и газообразных сред. Поверхности разрыва.

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. 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. Движение идеальной жидкости.**

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

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. Солитон.

### **Движение вязкой жидкости. Теория пограничного слоя. Критерии подобия**

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 автоточных решений.

**Движение сжимаемой жидкости. Газовая динамика. Электромагнитные явления в жидкостях.** 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 Лавала. Одномерные неустановившиеся движения газов с плоскими, цилиндрическими и сферическими волнами. Автоточные 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.

Уравнения импульса и притока тепла для проводящей среды. Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла в пустоте. Взаимодействие электромагнитного поля с проводниками. Сила Лоренца. Закон сохранения полного заряда. Закон Ома. Среда с идеальной проводимостью. Вектор и уравнение Умова-Пойнтинга. Джоулево тепло.

Уравнения магнитной гидродинамики. Условия замороженности магнитного поля в среде. Понятие о поляризации и намагничивании жидкостей.

### **Теория конвективной устойчивости**

Феноменологическая теория необратимых процессов. Термодинамически сопряженные потоки и силы. Принципы Кюри и симметрии феноменологических коэффициентов Онзагера.

Уравнение переноса массы, импульса, внутренней энергии и энтропии для многокомпонентной смеси. Замкнутая система уравнений переноса в смеси. Уравнения свободной тепловой конвекции. Приближение Буссинеска. Механическое равновесие неравномерно нагретой жидкости.

Проблема устойчивости равновесия. Малые возмущения. Нормальные возмущения. Спектральная амплитудная задача для возмущений равновесия. Свойства спектра декрементов

Подобие конвективных процессов тепломассообмена без физикохимических превращений. Условия однозначности и определяющие критерии. Критерии подобия Нуссельта, Рейнольдса, Прандтля, Грасгофа, Рэлея и др., их физический смысл.

Конвективное течение между вертикальными плоскостями.

Конвективный пограничный слой. Приближенные методы теории пограничного слоя. Метод Кармана - Польгаузена. Метод Швеца

Диффузия вещества в жидкости. Критерии Шервуда и Шмидта. Теоретические основы электродиффузионного метода измерений трения и скорости.

### **Теория гидродинамической устойчивости**

Гидродинамическая неустойчивость. Проблема устойчивости стационарных течений. Метод малых возмущений

Критическое число Рейнольдса линейной теории. Нормальные моды. Спектральная амплитудная задача Оппа-Зоммерфельда. Невязкие возмущения, теорема Релея о точке перегиба

Течение Куэтта, устойчивость. Плоское течение Пуазейля, метод Гайзенберга-Линя. Нейтральная кривая. Невязкая и вязкая неустойчивости. Теорема Сквайра

Энергетический метод исследования нелинейной устойчивости течений. Модельный анализ Л. Д. Ландау нелинейной устойчивости течений в переходной области. Мягкий и жесткий режимы потери устойчивости.

Примеры неустойчивости течений: равновесие жидкости переменной плотности в поле силы тяжести, устойчивость вращательного движения жидкости, устойчивость движения в плоском канале и в круглой трубе, неустойчивость тангенциального разрыва скорости в идеальной несжимаемой жидкости.

### **Физическая гидродинамика**

Элементы теории турбулентности. Развитая турбулентность. Проблема корреляции. Корреляция скоростей в однородной изотропной турбулентности. Продольная и поперечная корреляционные функции. Соотношение Кармана - Хауэрза. Спектр турбулентных пульсаций. Колмогоровский масштаб. Условие автомодельности Колмогорова. Соотношение Таунсена - Колмогорова.

Задача Гамеля. Диффузор и конфузор. Автомодельное течение Кармана

Гравитационные волны. Гравитационные волны на поверхности тяжелой идеальной жидкости. Дисперсионное соотношение. Внутренние волны на границе раздела жидкостей.

Вибрационная гидродинамика. Вибрации высокой частоты и малой амплитуды. Уравнения тепловой конвекции в вибрационном поле. Метод осреднения. Система уравнений вибрационной конвекции для осредненных полей скорости, температуры и давления. Критерии применимости метода осреднения. Механическое квазиравновесие. Постановка вопроса устойчивости квазиравновесия. Линейные задачи. Нелинейные задачи ВК. Ветвление стационарных режимов. Взаимодействие вибрационного и гравитационного механизмов возбуждения. Вибрационно-конвективный пограничный слой. Внутренние источники тепла. Устойчивость равновесия. Нелинейные волны в надкритической области. ВК при наличии свободной границы или неоднородности на границе. Течения Шлихтинга. Нелинейная поляризация вибраций. Вибрационные течения в неоднородных жидкостях – общий подход.

### **Механика анизотропных жидкостей**

Статические свойства магнитных суспензий. Коллоидные системы. Приготовление и устойчивость магнитных коллоидов. Образование цепей и кластеров. Статические магнитные свойства.

Шкала характерных времен. Механизм релаксации намагниченности. Вращательное движение частиц и релаксация анизотропии.

Квазистационарная феррогидродинамика. Уравнение движения феррожидкости. Изотермические равновесия и течения. Устойчивость поверхности в однородном поле. Капиллярно-гравитационные волны. Термоконвективная неустойчивость.

Магнитная суспензия как жидкость с внутренним вращением. Тензор напряжений и уравнение для намагниченности. Зависимость времен релаксации от напряженности поля. Вращательная вязкость. Увлечение суспензии вращающимся полем.

Динамика жидких кристаллов. Уравнения гидродинамики жидких кристаллов. Взаимодействие между ориентацией и течением. Выбор динамических переменных. Источники энтропии движущегося жидкого кристалла. Законы трения. Ламинарный поток в сильном ориентирующем поле. Ламинарный поток в отсутствие внешних полей. Осциллирующие поля. Вращающиеся поля. Пульсирующие поля. Конвективные неустойчивости в электрических полях. Динамические свойства холестериков.

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

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

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа:учебник для студентов вузов/Л. Г. Лойцянский.- Москва:Наука,1987.-840.
2. Ландау Л. Д.Теоретическая физика.учебное пособие для студентов физических специальностей университетов: В 10 т. Т. 6.Гидродинамика/Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц.-Москва:Наука,1986.-736
3. Фалькович, Г. Современная гидродинамика / Г. Фалькович. — 2-е изд. — Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, Регулярная и хаотическая динамика, 2019. — 252 с. — ISBN 978-5-4344-0635-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/92090.html>

### Дополнительная:

1. Любимов Д. В.,Любимова Т. П. Физическая гидродинамика. Расчетный семинар:учебное пособие/Д. В. Любимов, Т. П. Любимова.-Пермь,2012, ISBN 978-5-7944-1888-0,2-е изд., стер.-1. <http://www.campus.psu.ru/library/node/35855>
2. Исследование устойчивости течений и равновесия жидкости с помощью ППП "Гидродинамическая устойчивость":методические указания и лабораторные работы/сост. Л. Е. Сорокин.-2-е изд., испр.- Пермь,2006.-36.
3. Gershuni G. Z.,Lyubimov D. V. Thermal vibrational convection/G. Z. Gershuni, D. V. Lyubimov.- Chichester:Wiley,1997, ISBN 0-471-97385-8.-358.
4. Кирко И. Г.,Кирко Г. Е. Магнитная гидродинамика:современное видение проблем/И. М. Кирко, Г. Е. Кирко.-Ижевск:Регулярная и хаотическая динамика,2009, ISBN 978-5-93972-752-5.-630.-Библиогр. в подстроч. примеч.. - Указ. имен.: с. 621-630
5. Гершуни Г. З.,Любимов Д. В. Распространение звуковых возмущений:учебно-методическое пособие/Г. З. Гершуни, Д. В. Любимов.-Пермь,2007, ISBN 5-7944-1075-2.-22.

## **9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

<http://library.psu.ru/node/738> Электронные ресурсы научной библиотеки ПГНИУ

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Образовательный процесс по дисциплине **Механика жидкости, газа и плазмы** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем: Электронные мультимедийные учебники и учебные пособия, в том числе предоставляемые цифровой библиотекой ПГНИУ «ELiS». Свободный программный пакет LibreOffice, свободный пакет аналитических вычислений Maxima.

Дополнительный перечень используемых информационных технологий и программного обеспечения определяется читающими курс преподавателями, руководителем кандидатской диссертации.

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ ([student.psu.ru](http://student.psu.ru)).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для проведения лекционных занятий требуются аудитории, оснащенные презентационным оборудованием.

Для проведения практических занятий требуются аудитории, оснащенные презентационным оборудованием.

Для самостоятельной работы требуется аудитории, оснащенные персональными компьютерами с доступом к локальной сети ПГНИУ и глобальной сети Интернет.

Для проведения текущего контроля, промежуточной аттестации требуются аудитории, оснащенные презентационным оборудованием.

Для проведения групповых и индивидуальных консультаций требуются аудитории, оснащенные персональными компьютерами с доступом к локальной сети ПГНИУ и глобальной сети Интернет.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Механика жидкости, газа и плазмы**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции и  
критерии их оценивания**

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ПК.1.3</b> Способен строить и исследовать математические модели в области механики жидкости и газа; проводить анализ полученных моделей с использованием компьютерных технологий</p>	<p>Владеет фундаментальными знаниями в области физической гидродинамики в объеме, достаточном для решения научно-исследовательских задач. Умеет формулировать физически обоснованные теоретические и экспериментальные научно-исследовательские задачи, выбирать и применять методы решения и исследования.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не владеет фундаментальными знаниями в области физической гидродинамики. Не умеет формулировать физически обоснованные теоретические и экспериментальные научно-исследовательские задачи, выбирать и применять методы решения и исследования.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знаниями фундаментальной физической гидродинамики в объеме, достаточном для решения научно-исследовательских задач. Демонстрирует частично сформированное умение формулировать физически обоснованные теоретические и экспериментальные научно-исследовательские задачи, выбирать и применять методы решения и исследования.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы фундаментальные знания в области физической гидродинамики в объеме, достаточном для решения научно-исследовательских задач. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения формулировать физически обоснованные теоретические и экспериментальные научно-исследовательские задачи, выбирать и применять методы решения и исследования.</p> <p align="center"><b>Отлично</b></p> <p>Сформированные систематические фундаментальные знания в области физической гидродинамики в объеме, достаточном для решения научно-исследовательских задач. Сформированное умение формулировать физически</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>обоснованные теоретические и экспериментальные научно-исследовательские задачи, выбирать и успешно применять методы решения и исследования.</p>

### Оценочные средства

Схема доставки : Базовая

**Вид мероприятия промежуточной аттестации : Экзамен**

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Письменное контрольное мероприятие**

**Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации :**

1

### Показатели оценивания

<p>Не владеет фундаментальными знаниями в области физической гидродинамики. Не умеет формулировать физически обоснованные теоретические и экспериментальные научно-исследовательские задачи, выбирать и применять методы решения и исследования.</p> <p>Удовлетворительно</p>	<b>Неудовлетворител</b>
<p>Общие, но не структурированные знаниями фундаментальной физической гидродинамики в объеме, достаточном для решения научно-исследовательских задач. Демонстрирует частично сформированное умение формулировать физически обоснованные теоретические и экспериментальные научно-исследовательские задачи, выбирать и применять методы решения и исследования.</p>	<b>Удовлетворительн</b>
<p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы фундаментальные знания в области физической гидродинамики в объеме, достаточном для решения научно-исследовательских задач. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения формулировать физически обоснованные теоретические и экспериментальные научно-исследовательские задачи, выбирать и применять методы решения и исследования.</p>	<b>Хорошо</b>
<p>Сформированные систематические фундаментальные знания в области физической гидродинамики в объеме, достаточном для решения научно-исследовательских задач. Сформированное умение формулировать физически обоснованные теоретические и экспериментальные научно-исследовательские задачи, выбирать и успешно применять методы решения и исследования.</p>	<b>Отлично</b>

## Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестации

1. Понятие сплошной среды. Области приложения механики жидкости, газа и плазмы. Системы отсчета и системы координат. Лагранжевы и эйлеровы координаты. Кинематические характеристики 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.
2. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости. Многокомпонентные смеси. Потoki диффузии. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей.
3. 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.
4. Понятие о параметрах состояния, пространстве состояний, процессах и циклах. Закон сохранения энергии, внутренняя энергия. Вектор потока тепла. Дифференциальные уравнения энергии и притока тепла. Закон теплопроводности Фурье. Различные частные процессы: адиабатический, изотермический и др.
5. Обратимые и необратимые процессы. Совершенный газ. Цикл Карно. Второй закон термодинамики. Энтропия и абсолютная температура. Производство энтропии. Неравенство диссипации, тождество Гиббса. Диссипативная функция. Основные макроскопические механизмы диссипации. Принцип Онзагера. Уравнения состояния. Термодинамические потенциалы двухпараметрических сред.
6. Модель идеальной жидкости. Уравнения Эйлера. Полные системы уравнений для идеальной, несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия.
7. Интегралы Бернулли и Коши-Лагранжа. Явление кавитации.
8. Теорема Томсона и динамические теоремы о вихрях. Возникновение вихрей. Теорема Бьеркнеса.
9. 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.
10. Поверхности слабых и сильных разрывов. Разрывы сплошности. Условия на поверхностях сильного разрыва в материальных средах. Тангенциальные разрывы и ударные волны.
11. Равновесие жидкости и газа в поле потенциальных массовых сил. Закон Архимеда. Равновесие и устойчивость плавающих тел и атмосферы.
12. Общая теория непрерывных потенциальных движений несжимаемой жидкости. Свойства гармонических функций. 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.
13. Силы воздействия идеальной жидкости на тело, движущееся в безграничной жидкости. Основы теории присоединенных масс. Парадокс Даламбера.
14. 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.
15. 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 Кортвега-де-Вриза. Нелинейные волны. Солитон.

16. Ламинарное движение несжимаемой вязкой жидкости. Течения Куэтта и Пуазейля. Течение вязкой жидкости в диффузоре. Диффузия вихря.
17. Приближения Стокса и Озеена. Задача о движении сферы в вязкой жидкости в постановке Стокса.
18. 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.
19. 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.
20. Свободная и вынужденная конвекция. Приближение Буссинеска. Линейная неустойчивость подогреваемого плоского слоя и порог возникновения конвекции. Понятие о странном аттракторе.
21. Движение жидкости и газа в пористой среде. Закон Дарси. Система дифференциальных уравнений подземной гидрогазодинамики. Неустановившаяся фильтрация газа. Примеры точных автотомельных решений.
22. Распространение малых возмущений в сжимаемой жидкости. Волновое уравнение. Скорость звука.
23. Запоздывающие потенциалы. Эффект Допплера. Конус Маха. Уравнения газовой динамики. Характеристики.
24. Влияние сжимаемости на форму трубок тока при установившемся движении. Элементарная теория сопла Лавалья
25. Волны Римана. Эффект опрокидывания волн. Адиабата Гюгонио. Теорема Цемплена. Эволюционные и неэволюционные разрывы.
26. Задача о структуре сильного разрыва.
27. Уравнения магнитной гидродинамики. Условия вмороженности магнитного поля в среду. Понятие о поляризации и намагничивании жидкостей.
28. Система определяющих параметров для выделенного класса явлений. Основные и производные единицы измерения. Формула размерностей. Определение физического подобия. Моделирование. Критерии подобия. Числа Эйлера, Маха, Фруда, Рейнольдса, Струхала, Прандтля.
29. Механическое равновесие неравномерно нагретой жидкости. Проблема устойчивости равновесия. Малые возмущения. Нормальные возмущения. Спектральная амплитудная задача для возмущений равновесия. Свойства спектра декрементов.
30. Подобие конвективных процессов теплообмена без физикохимических превращений. Условия однозначности и определяющие критерии. Критерии подобия Нуссельта, Рейнольдса, Прандтля, Грасгофа, Рэлея и др., их физический смысл.
31. Конвективное течение между вертикальными плоскостями.
32. Конвективный пограничный слой. Приближенные методы теории пограничного слоя. Метод Кармана - Польгаузена.
33. Гидродинамическая неустойчивость. Проблема устойчивости стационарных течений. Метод малых возмущений. Критическое число Рейнольдса линейной теории.
34. Нормальные моды. Спектральная амплитудная задача Орра-Зоммерфельда. Невязкие возмущения, теорема Рэлея о точке перегиба.
35. Течение Куэтта, устойчивость.
36. Плоское течение Пуазейля, метод Гайзенберга-Линя. Нейтральная кривая. Невязкая и вязкая

неустойчивости.

37. Теорема Сквайра.

38. Модельный анализ Л. Д. Ландау нелинейной устойчивости течений в переходной области. Мягкий и жесткий режимы потери устойчивости.

39. Развитая турбулентность. Корреляция скоростей в однородной изотропной турбулентности. Продольная и поперечная корреляционные функции. Соотношение Кармана – Хауэрза.

40. Спектр турбулентных пульсаций. Колмогоровский масштаб. Условие автомодельности Колмогорова. Соотношение Таунсена – Колмогорова.

41. Задача Гамеля. Диффузор и конфузор.

42. Автомодельное течение Кармана.

43. Гравитационные волны. Гравитационные волны на поверхности тяжелой идеальной жидкости. Дисперсионное соотношение. Внутренние волны на границе раздела жидкостей.

44. Вибрационная гидродинамика. Вибрации высокой частоты и малой амплитуды. Уравнения тепловой конвекции в вибрационном поле. Метод осреднения. Система уравнений вибрационной конвекции для осредненных полей скорости, температуры и давления.

45. Критерии применимости метода осреднения. Механическое квазиравновесие. Постановка вопроса устойчивости квазиравновесия. Взаимодействие вибрационного и гравитационного механизмов возбуждения.

46. Течения Шлихтинга.

47. Статические свойства магнитных суспензий. Коллоидные системы. Приготовление и устойчивость магнитных коллоидов. Образование цепей и кластеров. Статические магнитные свойства. Шкала характерных времен. Уравнение движения феррожидкости.