

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИТ СО РАН)**

УТВЕРЖДАЮ

Директор
академик РАН



 Д.М.Маркович

«21» апреля 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Гидродинамическая устойчивость и турбулентность»

научная специальность: 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы

Новосибирск 2022

Дисциплина «Гидродинамическая устойчивость и турбулентность» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы по очной форме обучения на русском языке. Рабочая программа дисциплины «Гидродинамическая устойчивость и турбулентность» составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы, утвержденными Минобрнауки России № 951 от 20.10.2021 г.

Дисциплина «Гидродинамическая устойчивость и турбулентность» реализуется в четвертом семестре в составе модуля «Механика жидкости и газа» и является базовой для выполнения научно-исследовательской деятельности и подготовки к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Рабочая программа дисциплины «Гидродинамическая устойчивость и турбулентность» утверждена решением Ученого совета ИТ СО РАН 15.апреля 2022 г., протокол № 05-2022

Программу разработал:

д.ф.-м.н., профессор



Н.И. Яворский

Согласовано:

Зам. директора по научной работе
д.ф.-м.н.



Д.Ф. Сиковский

Аннотация
к рабочей программе дисциплины «Гидродинамическая устойчивость и турбулентность»

Дисциплина «Гидродинамическая устойчивость и турбулентность» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы по очной форме обучения на русском языке. Рабочая программа дисциплины «Гидродинамическая устойчивость и турбулентность» составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы, утвержденными Минобрнауки России № 951 от 20.10.2021.

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Дисциплина «Гидродинамическая устойчивость и турбулентность» имеет своей целью: дать аспирантам углубленные знания и методы решения задач, возникающих при изучении нестационарной динамики жидкости и газа. Рассматриваются различные виды неустойчивостей базовых течений. Особое внимание уделено описанию сценариям перехода к турбулентности, современным подходам и моделям для описания турбулентного движения сплошной среды. Дается представление об основных методах решения задач, важных для практического использования.

Дисциплина «Гидродинамическая устойчивость и турбулентность» опирается на следующие дисциплины данной образовательной программы: общая и теоретическая физика, уравнения математической физики, гидродинамика и газовая динамика.

Данный курс служит для обучения аспирантов современным методам исследования турбулентных движений в гидродинамике, газовой динамике и физике низкотемпературной плазме, которые имеют большое практическое применение.

2. Структура и содержание дисциплины «Гидродинамическая устойчивость и турбулентность»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетные единицы, 216 академических часа.

Период обучения	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов, и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа
	Всего в контактной форме	Лекции	Контактных часов на аттестацию	Консультации	
Семестр:4	96	80	10	6	120

2.2. Содержание дисциплины

Разделы дисциплин	Часы	Самостоятельная работа
Семестр:4		
<p><i>Моделирование процессов в турбулентных течениях</i></p> <p>Введение. Ламинарный и турбулентный режимы течения жидкости. Характерные особенности турбулентного движения. Детерминистический и статистический методы описания структуры турбулентных течений.</p> <p>-Уравнения Навье-Стокса. Диссипация энергии в вязкой жидкости. Качественная схема развития турбулентности.</p> <p>-Масштабная инвариантность. Оценка масштабов турбулентности. Спектр турбулентных пульсаций. Спектральные функции. Гипотезы Колмогорова об автомодельности. Гипотезы о спектральном переносе энергии.</p> <p>-Уравнение для завихренности. Механизм растяжения вихревых трубок. Вейвлет-представление. Каскад энергии турбулентности по вейвлетам.</p> <p>-Прямое численное моделирование (DNS-метод).</p> <p>-LES-метод. Операция фильтрования. Модели подсеточного моделирования.</p>	40	60
<p><i>Условия реализуемости.</i></p> <p>а) Стратегия замыкания высших моментов.</p> <p>б) Параметризации двухточечных корреляций, модель Ротта. Учет "эффекта стенки".</p> <p>с) Уравнения для линейного масштаба турбулентности, временного масштаба и скорости диссипации энергии турбулентности.</p> <p>д) -Метод статистических моментов. Функция распределения турбулентных пульсаций. Статистические моменты и кумулянты. Понятие об эргодичности. Статистическая формулировка основной задачи теории турбулентности.</p> <p>е) -Уравнения Рейнольдса. Проблема замыкания.</p> <p>-Моделирование турбулентного переноса тепла и вещества. Уравнения переноса тепла и вещества.</p> <p>-Численная реализация моделей турбулентности. Основные методы и подходы. Пакеты прикладных программ для описания структуры турбулентных течений.</p>	40	60

4. Самостоятельная работа аспирантов

№	Виды самостоятельной работы	Часы на выполнение
Семестр: 4 Гидродинамическая устойчивость и турбулентность		
Темы для самостоятельного углубленного изучения обучающимися на основе материала лекций и рекомендованной литературы		
1	<p><i>Кинематика сплошных сред.</i></p> <p>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.</p>	24
	<p>1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. — Издание 6-е. — М.: Физматлит, 2015. — 728 с. — (Теоретическая физика, т. VI).</p> <p>2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. 7-е изд., испр. — М.: Дрофа, 2003. — 840 с.</p>	
2	<p><i>Основные понятия и уравнения динамики и термодинамики.</i> 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.</p>	24

	Основные макроскопические механизмы диссипации. Понятие о принципе Онзагера. Уравнения состояния. Термодинамические потенциалы двухпараметрических сред.	
	1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. — Издание 6-е. — М.: Физматлит, 2015. — 728 с. — (Теоретическая физика, т. VI). 2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. 7-е изд., испр. — М.: Дрофа, 2003. — 840 с.	
3	<i>Модели жидких и газообразных сред</i> 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.	24
	1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. — Издание 6-е. — М.: Физматлит, 2015. — 728 с. — (Теоретическая физика, т. VI). 2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. 7-е изд., испр. — М.: Дрофа, 2003. — 840 с.	
4	<i>Поверхности разрыва в течениях жидкости, газа и плазмы</i> Поверхности слабых и сильных разрывов. Разрывы сплошности. Условия на поверхностях сильного разрыва в материальных средах и в электромагнитном поле. Тангенциальные разрывы и ударные волны.	24 2
	1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. — Издание 6-е. — М.: Физматлит, 2015. — 728 с. — (Теоретическая физика, т. VI). 2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. 7-е изд., испр. — М.: Дрофа, 2003. — 840 с.	
5	<i>Движение идеальной несжимаемой жидкости</i> 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 без-	24

<p>граничной 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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>	
	<p>1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. — Издание 6-е. — М.: Физматлит, 2015. — 728 с. — (Теоретическая физика, т. VI).</p> <p>2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. 7-е изд., испр. — М.: Дрофа, 2003. — 840 с.</p>

4. Образовательные технологии

Разработка и создание постоянно обновляющегося электронного варианта курса лекций «Гидродинамическая устойчивость и турбулентность». Создание электронных презентаций всех лекций курса. Разработка заданий для самостоятельного изучения. Демонстрационно-компьютерное сопровождение лекционного материала. Для активизации познавательного процесса слушателям даются разрабатываемые и обновляемые задания для самостоятельной работы. Основной акцент при этом делается на добросовестное и вдумчивое выполнение всех учебных заданий.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов осуществляется при выполнении научного исследования по теме кандидатской диссертации, которой руководит научный руководитель. За период обучения по результатам этой работы должны быть сделаны научные доклады на научных семинарах и конференциях и опубликованы статьи в рецензируемых научных журналах. В рамках курса аспирант самостоятельно выполняет практические задания по теме дисциплины, которые формулируются в виде теоретических задач и проверяются по окончании соответствующей темы. Основной формой деятельности аспирантов по дисциплине

плине является самостоятельная работа в библиотеке по темам с консультацией и контролем преподавателя. Контроль освоения тем самостоятельной работы проводится в виде собеседования с преподавателем.

6. Текущий и промежуточный контроль

По дисциплине «Гидродинамическая устойчивость и турбулентность» проводятся текущая и промежуточная аттестации.

Текущий контроль по дисциплине «Гидродинамическая устойчивость и турбулентность» проводится представлением доклада (в форме презентации) на семинаре по одному из разделов программы курса, по результатам которой выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Оценка «зачтено» по результатам является одним из условий допуска к прохождению промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Гидродинамическая устойчивость и турбулентность» проводится в рамках промежуточной аттестации по модулю «Механика жидкости и газа».

7. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование	Назначение
1	Презентационное оборудование (мультимедиа-проектор, экран, компьютер для управления)	Для проведения лекционных занятий
2	Компьютер на рабочем месте (с выходом в Internet)	Для организации самостоятельной работы обучающихся

8. Список литературы

1. Гольдштик М.А., Штерн В.Н. Гидродинамическая устойчивость и турбулентность. Новосибирск: Наука, 1977.
2. Джозеф Д. Устойчивость движения жидкости. М.: Мир, 1981.
3. Гидродинамические неустойчивости и переход к турбулентности. Проблемы прикладной физики / под ред. Х. Суини, Д. Голлаба. М.: Мир, 1984.
4. Бойко А.В., Грек Г.Р., Довгаль А.В., Козлов В.В., Возникновение турбулентности в пристенных течениях. Новосибирск: Наука, 1999.
5. Drazin P. Introduction to Hydrodynamic Stability. Cambridge University Press, 2002.
6. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика (части 1, 2), М: Наука, 1967.
7. Курбацкий А.Ф. Физико-математическое моделирование турбулентности, Новосибирск: НГУ, 1987.
8. Методы расчета турбулентных течений (под. ред. В. Кольмана), М: Мир, 1984.
9. Фриш У. Турбулентность. Наследие А.Н. Колмогорова (перевод А.Н. Соболевского), М: ФАЗИС, 1998.