

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

» января 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Вариативной дисциплины

«Динамика вязких жидкостей и газа»

Научная специальность: 1.1.9 «Механика жидкости, газа и плазмы»

Новосибирск 2025

Дисциплина «Динамика вязких жидкостей и газа» реализуется в качестве вариативной дисциплины в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника

Вариативная дисциплина «Динамика вязких жидкостей и газа» реализуется в третьем и четвертом семестрах учебного периода.

Аннотация

к рабочей программе вариативной дисциплины «Динамика вязких жидкостей и газа»

1. Цели и задачи освоения вариативной дисциплины

Вариативная дисциплина "Динамика вязких жидкостей и газа" описывает основные понятия и методы решения задач, возникающих при изучении динамики движения вязкого газа. Большинство излагаемых в нем вопросов с разной степенью полноты освещены в ряде монографий, приведенных в списке литературы. Некоторые специальные вопросы рассмотрены в научных статьях, также отраженных в списке литературы.

Цель данной дисциплины – приблизить серьезные научные труды и монографии по специальным темам, таким, как теория пограничного слоя или теория гидродинамической устойчивости, к элементарным институтским курсам. Выделены проблемы, имеющие первостепенное значение в работах, связанных с изучением течения реальных газов. Основное внимание уделено описанию течения газа с доминирующим влиянием диссипативных эффектов, вызванных наличием у газа внутреннего трения – вязкости. Некоторые вопросы, описание которых для сжимаемых сред громоздко, проанализированы на примере несжимаемой жидкости. В курсе выделены отдельные проблемы, иллюстрирующие влияние вязкости среды наиболее наглядно и дающие представление об основных методах решения задач, важных для практического использования.

Из приложений результатов теории течения вязкого газа к практическим задачам отмечаются только два, наиболее существенных. Совершенствование формы современных летательных аппаратов ведет к тому, что в их полном аэродинамическом сопротивлении удельный вес сопротивления, вызванного вязкостью, неуклонно растет. В последние годы появляется все большее число научных работ, направленных на поиск способов воздействия на течение в пограничном слое с целью снизить сопротивление вязкого трения. Вторая проблема связана с аэродинамическим нагревом аппаратов, летящих с большими скоростями. Проблема эта настолько важна, что стала лимитирующей при проектировании летательных аппаратов типа «Буран» или ВКС (воздушно-космический самолет).

Для достижения поставленной цели выделяются следующие задачи:

1. Обучение постановке физической задачи динамики движения вязкого газа (вывод основных уравнений, постановка граничных условий, задачи при малых и больших числах Рейнольдса, переходные процессы при переходе ламинарного течения в турбулентное);
2. Обучение базовым методам, используемым при расчете сопротивления трения и тепловых потоков (линеаризация уравнений, асимптотические методы, автомодельные решения, полуэмпирический подход);

3. Обучение простым методам оценке влияния вязкости, основанных на сведениях сложных течений к простым каноническим случаям (учет сжимаемости, учет трехмерности течения);

4. Решение конкретных задач по оценке сжимаемости на течение (точные решения, оценка влияния пограничного слоя, влияние ламинарно-турбулентного перехода, применение полуэмпирических подходов).

2. Структура и содержание вариативной дисциплины "Динамика вязких жидкостей и газа".

Общая трудоемкость дисциплины составляет 72 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:3-4	36	32	2	2	36

2.2. Содержание дисциплины

Разделы дисциплин	Часы	Самостоятельная работа
Семестр:3-4		
1. Физические величины и их преобразования <i>Введение</i> . Уравнения движения. Уравнение неразрывности. Уравнения Навье-Стокса. Уравнение энергии. Замыкание уравнений движения. Граничные и начальные условия. Безразмерная запись уравнений движения.	4	2
Параметры дискретизации и физический смысл 2. <i>Примеры точного решения уравнений динамики вязкого газа</i> . Обобщенное течение Куэтта. Течение Куэтта между нагретыми плоскостями. Течение Гагена-Пуазейля. Несколько замечаний о применимости полученных результатов.	4	2
3. <i>Ползущие движения</i> . Обтекание шара. Приближение Стокса. Обтекание шара. Приближение Озеева. Течение в слое смазки.	4	1
4. <i>Ламинарный пограничный слой</i> . Уравнения пограничного слоя. Уравнения Прандтля. Интегральные	4	1

характеристики пограничного слоя. Отрыв пограничного слоя. Область применимости уравнений пограничного слоя.		
5. Автомодельные решения уравнений пограничного слоя. Решения Фокнера-Скэн. Задача Блазиуса	3	2
6. Приближенные однопараметрические методы. Интегральное условие импульсов. Метод Кармана-Польгаузена.	3	2
7. Стационарный пограничный слой на пластине в газовом потоке. Распределение скорости. Интеграл Крокко.\	4	2
8. Трехмерные пограничные слои. Пространственный пограничный слой на скользящем крыле. Установившиеся осесимметричные пограничные слои. Пограничный слой на конусе в продольном сверхзвуковом потоке.	3	2
9. Динамика струйных течений и излучение звука струями.	3	2

3. Самостоятельная работа аспирантов

№	Виды самостоятельной работы	Часы на выполнение
Темы для самостоятельного углубленного изучения обучающимися на основе материала лекций и рекомендованной литературы		
Семестр:3-4		
1	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.	4

	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.	
	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.	
	<i>Движение сжимаемой жидкости. Газовая динамика</i> 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 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. 2 Волны Римана. Эффект опрокидывания волн. Адиабата Гюгонио. Теорема Цемплена. Эволюционные и неэволюционные разрывы. Теория волн детонации и горения. Правило Жуте 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.	4
	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>Электромагнитные явления в жидкостях</i> Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла в пустоте. Взаимодействие электромагнитного поля с проводниками.	4

	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 замороженности магнитного поля в среду. Понятие о поляризации и намагничивании жидкостей.	
	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>Физическое подобие, моделирование</i> 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.	4
	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. Программное обеспечение

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

5. Образовательные технологии

В учебном процессе широко используются активных и интерактивных формы проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Демонстрация основных физических явлений проводится на действующих аэродинамических установках, таких как аэродинамические трубы ИТТМ СО РАН Т-327, Т-325, Т-324, Т-326, Т-313, АТ-303, ИТ-302, на моделях летательных аппаратов и их элементов. В процессе обучения используются серии видеофильмов по авиационной тематике, плакаты, видео-презентации.

6. 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 проверя-

ются по окончании соответствующей темы. Основной формой деятельности аспирантов по дисциплине является самостоятельная работа в библиотеке по темам с консультацией и контролем преподавателя. Контроль освоения тем самостоятельной работы проводится в виде собеседования с преподавателем.

7. Текущий и промежуточный контроль

По вариативной дисциплине «Динамика вязких жидкостей и газа» проводятся текущая и промежуточная аттестации.

Текущий контроль по вариативной дисциплине «Динамика вязких жидкостей и газа» проводится представлением доклада (в форме презентации) 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.

8. Материально-техническое обеспечение

Наименование	Назначение
Презентационное оборудование (мультимедиа-проектор, экран, компьютер для управления)	Для проведения лекционных занятий
Компьютер на рабочем месте (с выходом в Internet)	Для организации самостоятельной работы обучающихся
Действующие аэродинамические трубы ИТПМ СО РАН Т-327, Т-325, Т-324, Т-326, Т-313, АТ-303, ИТ-302, модели летательных аппаратов и их элементов. Серия видеофильмов по авиационной тематике. Видео-презентации.	

9. Литература

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1969.
2. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: Физматлит, 1973.
3. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1976.
4. Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Гидродинамика. М.: Наука, 1986.
5. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. М.; Ижевск, 2000.
6. Путеводитель Прандтля по гидрогазодинамике. Под ред. Г. Эртеля. Ижевск: Изд-во Ин-та компьютерных исследований. 2007.
7. Гапонов С. А., Маслов А. А. Развитие возмущений в сжимаемых потоках. Новосибирск: Наука, 1980.
8. Маслов А. А., Миронов С.Г., Поплавская Т.В. Введение в динамику вязкого газа. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2010.
9. Маслов А. А., Миронов С.Г. Динамика вязкого газа в примерах и задачах. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2010.
10. Мушин А. Г. Авиационная акустика. М.: Машиностроение, 1973.

11. Авдуевский В. С., Ашратов Э. А., Иванов А. В., Пирумов У. Г. Сверхзвуковые неизобарические струи газа. М.: Машиностроение, 1985.

б) дополнительная литература:

1. Стернин Л. И. Основы газовой динамики. М.: Изд-во МАИ. 1995.
2. Бабкин А. В., Селиванов В. В. Прикладная механика сплошных сред. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1998.

3. Попов Д. Н., Панайотти С. С., Рябинин М. В. Гидромеханика. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2002.

4. Стулов В. Г. Лекции по газовой динамике. М.: Физматлит. 2004.

5. Валандер С. В. Лекции по гидромеханике. С-Пб.: Изд-во Санкт-Петербург гос ун-та, 2005.

6. Бендерский Б.Я. Аэрогидродинамика: Курс лекций. М.; Ижевск: Изд-во Ин-та компьютерных исследований. 2007.

7. Бетчов Р., Криминале В. Вопросы гидродинамической устойчивости. М.: Мир, 1971.

8. Бойко А. В., Грек Г. Р., Довгаль А. В., Козлов В. В. Возникновение турбулентности в пристенных течениях. Новосибирск: Наука, 1999.

9. Курбацкий А. Ф. Лекции по турбулентности. Новосибирск: НГУ, 2000.

10. Лойцянский Л. Г. Ламинарный пограничный слой. М.: Физматлит., 1962.

11. Хант Д. Н. Динамика несжимаемой жидкости. М.: Мир, 1967.

12. Шкадов В. Я., Запрянов З. Д. Течения вязкой жидкости. М.: МГУ, 1984.

13. Седов Л. И. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1970. Т.1, 2.

14. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1977.

Программу разработал:

д.ф.-м.н.

Н.И.Яворский

Согласовано:

Зам.директора по научной работе

К.ф.-м.н.

Д.Ф.Сиковский

Программа утверждена на Ученом совете

*Протокол № 12-2024
от 26 декабря 2024 г.*