

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
Д.С. Гуц / Д.С. Гуц /
«10» марта 2023 г.

ПРОГРАММА
кандидатского экзамена по научной специальности
1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

Красноярск 2023

ПРОГРАММА-МИНИМУМ
кандидатского экзамена по специальности
1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы
по физико-математическим наукам

Введение

Настоящая программа базируется на следующих дисциплинах: механика сплошной среды, гидромеханика, газовая динамика, термодинамика, электродинамика.

1. Кинематика сплошной среды

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.

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.

2. Основные понятия и уравнения динамики и термодинамики

Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости. Многокомпонентные смеси. Потoki 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.

3. 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 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

4. Гидростатика. Движение идеальной несжимаемой жидкости

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

5. 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. Устойчивость пограничного слоя. Теплообмен с потоком на основе теории пограничного слоя.

Турбулентность. Турбулентный перенос тепла и вещества. Полуэмпирические теории турбулентности. Профиль скорости в пограничном слое. Логарифмический закон. Прямое численное решение уравнений гидромеханики при наличии турбулентности.

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

6. 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 Лаваля.

Одномерные неустановившиеся движения газов с плоскими, цилиндрическими и сферическими волнами. Автомодельные движения и классы соответствующих задач. Задачи о поршне и о сильном взрыве в газе.

Волны Римана. Эффект опрокидывания волн. Адиабата Гюгонио. Эволюционные 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.

7. Электромагнитные явления в сплошных средах

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

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

Магнитогидродинамическое ускорение и замедление потоков плазмы. Эффект Холла.

8. Физическое подобие, моделирование

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

Основная литература

1. Александров, Дмитрий Валерьевич. Введение в гидродинамику [Текст]: учебное пособие для вузов / Д. В. Александров, А. Ю. Зубарев, Л. Ю. Исакова ; Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Ин-т математики и компьютер. наук. - Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2012. - 109 с. : ил., граф. - Библиогр.: с. 104. - 200 экз.

2. Физическая гидрогазодинамика [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие / Сиб. федерал. ун-т ; сост.: В. П. Исаков, А. И. Лямкин. - Электрон. текстовые дан. (PDF, 4,8 Мб). - Красноярск : СФУ, 2013.
3. Математическое и физическое моделирование потенциальных течений жидкости [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л. И. Высоцкий, Г. Р. Коперник, И. С. Высоцкий. - 2-е изд., испр. - Электрон. дан. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2014
4. Новые алгоритмы вычислительной гидродинамики для многопроцессорных вычислительных комплексов [Текст] : монография для использования в учебном процессе / В. М. Головизнин, М. А. Зайцев, С. А. Карабасов, И. А. Короткин. - Москва : Издательство Московского университета, 2013. - 467 с. : ил. - (Суперкомпьютерное образование: СКО). - Библиогр. в конце гл. - 1800 экз. - ISBN 978-5-211-06426-3 (в пер.) : 163.00 р.
5. В. В. Козлов. Общая теория вихрей / В. В. Козлов. - Изд. 2-е, испр. и доп. - Москва ; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2013
6. Математическое моделирование в технической физике : учеб.-метод. пособие / Сиб. федерал. ун-т ; сост.: Д. В. Платонов, А. В. Минаков, А. А. Дектерев. – 2013
7. Марон, В.И. Гидравлика двухфазных потоков в трубопроводах [Текст] : учеб. пособие для студентов вузов / В. И. Марон. - [Б. м.] ; Москва ; Краснодар : Лань, 2012.
8. К. Н. Волков. Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа [Текст] / К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. - Москва : Физматлит, 2012. - 468 с
9. Гидравлика в машиностроении [Текст] : учебник для вузов : в 2-х ч. / А. Г. Схиртладзе [и др.]. - Старый Оскол : ТНТ, 2011.
10. Вентиляция [Текст] : учебник для студентов вузов / П. Н. Каменев. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : АСВ, 2011. - 631 с.
11. Н. С. Аржаников. Аэродинамика [Text] : учебник / Н. С. Аржаников, В. Н. Мальцев. - 2-е изд. - Москва : ЭКОЛИТ, 2011 (библиотека СибГАУ).
12. Голант, В. Е. Основы физики плазмы [Текст] : учеб. пособие для студентов вузов / В. Е. Голант, А. П. Жилинский, И. Е. Сахаров. - 2-е изд., испр. и доп. - [Б. м.] ; Москва ; Краснодар : Лань, 2011. - 447 с. : ил. - Библиогр.: с. 435-438. - 1000 экз. - ISBN 978-5-8114-1198-6 (в пер.) : 802.56 р.

Дополнительная литература

1. Франк-Каменецкий, Давид Альбертович. Лекции по физике плазмы [Текст] : [учебное пособие] / Д. А. Франк-Каменецкий. - 3-е изд. - Долгопрудный : Интеллект, 2008. - 279 с. - (Физтеховский учебник). - Библиогр.: с. 276. - 2000 экз. - ISBN 978-5-91559-002-0 (в пер.) : 385.00 р., 946 р.
2. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. Издание 5-е. – 2006. Т. VI. Гидродинамика. — 736 с.
3. Чарный, Исаак Абрамович. Подземная гидрогазодинамика [Текст] / И. А. Чарный ; Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И. М. Губкина. - Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006. - 414 с. : ил. - (Современные нефтегазовые технологии). - Библиогр.: с. 392. - ISBN 5-93972-591-0 (в пер.):
4. Седов Л.И. Механика сплошной среды. / Л.И. Седов. – СПб: Издательство «Лань», 2004. — 560 с. В 2 т. 6-е изд., стер.
5. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. М.: Editorial URSS, 2003.
6. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учебник для вузов / Л.Г. Лойцянский. – М. : Дрофа, 2003. – 840 с. 7-е изд.,испр.

7. Пашков Л.Т. Математическое моделирование процессов в паровых котлах. М.: Ин-т компьютерного моделирования, 2002.
8. Прандтль Л. Гидроаэромеханика / Л. Прандтль. – изд-во РХД, 2002. – 572 с.
9. Алемасов В.Е. Основы теории физико-химических процессов в тепловых двигательных и энергетических установках. М.: Химия, 2000.
10. Механика сплошных сред в задачах. В 2 т. / Под ред. М. Эглит. – М.: Московский лицей, 1996.
11. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных газовых явлений. М.: Наука, 1966.
12. О.Н. Брюханов, Б.С. Матрюков. Аэродинамика, горение и теплообмен при сжигании топлива. – СПб: Недра, 1994.
13. Волков Э.П., Зайчик Л.И., Першуков В.А. Моделирование горения твердого топлива. М.: Наука, 1994. 320 с
14. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.:Наука, 1991.

Интернет-ресурсы

1. eLIBRARY.RU Научная электронная библиотека // Режим доступа: <https://elibrary.ru>, из сети Сибирского федерального университета или через прокси-сервер библиотеки СФУ(<https://libproxy.bik.sfu-kras.ru/login>)
2. Российская государственная библиотека (РГБ): Электронная библиотека диссертаций. // Режим доступа: Вход по логину/паролю только с компьютеров с установленной программой просмотра диссертаций из читальных залов библиотеки по адресам: пр. Свободный, 79/10 (ауд. БЗ-07, БЗ-09, БЗ-13, Б4-04, Б4-06, Б4-08); пер. Вузовский, 3 (ауд. 1-31); ул. Вавилова, 47Б (1 этаж); ул. Лиды Прушинской, 2 (ауд. 3-02).
3. Издательство «Лань». Полнотекстовый доступ к изданиям. // Режим доступа: <https://e.lanbook.com/>, из сети Сибирского федерального университета или через прокси-сервер библиотеки СФУ
4. Гугл-академия. Система поиска научных публикаций. Режим доступа: <https://scholar.google.com/>.

Разработчик
канд.физ-мат.наук, доц.,
доцент кафедры Теплофизики



К.А. Финников