

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технологический
университет»
(ФГБОУ ВО КНИТУ)



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УР
А.В.Бурмистров
» _____ 2019 г.

Программа кандидатского экзамена

01.02.05 «Механика жидкостей, газа и плазмы»
(шифр) (наименование)

Казань, 2019 г.

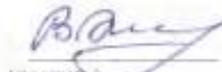
Составители программы:

Зав.каф.ПНТВМ
(должность)


(подпись)

Э.Ф.Вознесенский
(Ф.И.О)

Профессор, д.физ-мат.н.
(должность)


(подпись)

В.С.Желтухин
(Ф.И.О)

Профессор, д.т.н.
(должность)


(подпись)

М.Ф.Шаехов
(Ф.И.О)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ПНТВМ _____
протокол от 6.03. 2019 г. № 10

Зав.кафедрой ПНТВМ


(подпись)

Э.Ф.Вознесенский
(Ф.И.О)

Утверждена на Ученом совете факультета наноматериалов и нанотехнологий
протокол № 4-19 от 21.03.2019

Программа кандидатского экзамена по специальности
01.02.05 «Механика жидкостей, газа и плазмы»

Формула специальности: "Механика жидкости, газа и плазмы" – область естественных наук, изучающая на основе идей и подходов кинетической теории и механики сплошной среды процессы и явления, сопровождающие течения однородных и многофазных сред при механических, тепловых, электромагнитных и прочих воздействиях, а также происходящие при взаимодействии текучих сред с движущимися или неподвижными телами.

Задачей механики жидкости, газа и плазмы является построение и исследование математических моделей для описания параметров потоков движущихся сред в широком диапазоне условий, проведение экспериментальных исследований течений и их взаимодействия с телами и интерпретация экспериментальных данных с целью прогнозирования и контроля природных явлений и технологических процессов, включающих движения текучих сред, а также разработки перспективных космических, летательных и плавательных аппаратов.

Область исследования:

1. Реологические законы поведения текучих однородных и многофазных сред при механических и других воздействиях.
2. Гидравлические модели и приближенные методы расчетов течений в водоемах, технологических устройствах и энергетических установках.
3. Ламинарные и турбулентные течения.
4. Течения сжимаемых сред и ударные волны.
5. Динамика разреженных газов и молекулярная газодинамика.
6. Течения многофазных сред (газожидкостные потоки, пузырьковые среды, газовзвеси, аэрозоли, суспензии и эмульсии).
7. Фильтрация жидкостей и газов в пористых средах.
8. Физико-химическая гидромеханика (течения с химическими реакциями, горением, детонацией, фазовыми переходами, при наличии излучения и др.).
9. Аэродинамика и теплообмен летательных аппаратов.
10. Гидромеханика плавающих тел.
11. Пограничные слои, слои смешения, течения в следе.
12. Струйные течения. Кавитация в капельных жидкостях.
13. Гидродинамическая устойчивость.
14. Линейные и нелинейные волны в жидкостях и газах.
15. Тепломассоперенос в газах и жидкостях.
16. Гидромеханика сред, взаимодействующих с электромагнитным полем. Динамика плазмы.
17. Экспериментальные методы исследования динамических процессов в жидкостях и газах.
18. Аналитические, асимптотические и численные методы исследования уравнений кинетических и континуальных моделей однородных и многофазных сред (конечно-разностные, спектральные, методы конечного объема, методы прямого моделирования и др.).

19. Гидродинамические модели природных процессов и экосистем. Отрасль наук: технические науки физико-математические науки ПРОГРАММА-МИНИМУМ кандидатского экзамена по специальности 01.02.05 «Механика жидкостей, газа и плазмы» по физико-математическим и техническим наукам

Часть 1

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: механика сплошной среды, гидромеханика, газовая динамика, термодинамика, электродинамика. Программа создана на основе программы, разработанной экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по математике и механике при участии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Московского физико-технического института (государственного университета) и Института прикладной механики Уральского отделения РАН.

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 неустановившееся 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. 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.

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. Возникновение вихрей. 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.

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.

7. Движение идеальной несжимаемой жидкости

Общая теория непрерывных потенциальных движений несжимаемой жидкости. 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. Плоские движения идеальной жидкости. Функция тока. Постановка задачи Коши—Пуассона о волнах на поверхности тяжелой несжимаемой жидкости. Гармонические волны. Фазовая и групповая скорость. Дисперсия волн. Перенос энергии прогрессивными волнами.

8. 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. Ламинарный пограничный слой. Явление отрыва пограничного слоя. Устойчивость пограничного слоя. Теплообмен с потоком на основе теории пограничного слоя. 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.

9. Движение сжимаемой жидкости.

Газовая динамика 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 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. 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.

10. Электромагнитные явления в жидкостях

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 вмороженности магнитного поля в среду. Понятие о поляризации и намагничивании жидкостей.

11. 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.

12. Гидродинамические явления в плазме

Понятие плазмы, квазинейтральность, микрополя, дебаевский радиус, идеальная и неидеальная плазма. Условие термодинамического равновесия, термическая ионизация, формула Саха, снижение потенциала ионизации. Движение заряженных частиц в скрещенных электрическом и магнитном полях. Дрейфовое приближение, разновидности дрейфового движения. Заряженная частица в высокочастотном поле. Понятие адиабатического инварианта. Явления переноса в плазме, электропроводность, диффузия и теплопроводность частиц при наличии и отсутствии магнитного поля. Основные виды газового разряда: тлеющий разряд, искра, электрическая дуга, ВЧ-, СВЧ- и оптический разряд. Условия стационарности разряда. Ударные волны в плазме, скачок уплотнения, релаксационный слой, излучение ударных волн, нелинейные волны теплопроводности.

Уравнения движения плазмы в магнитном поле, проникновение магнитного поля в плазму, вмороженность магнитного поля. Законы сохранения в идеальной одножидкостной МГД. Двухжидкостное приближение.

Основная литература

1. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч. I, II. М.: Физматгиз, 1963.
2. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. I, II. 5-е изд. М.: Наука, 1994.
3. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. 10-е изд. М.: Наука, 1987.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. 3-е изд. М.: Наука, 1986.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. 5-е изд. М.: Наука, 1978.
6. Черный Г.Г. Газовая динамика. М.: Наука, 1988.
7. Куликовский А.Г., Любимов Г.А. Магнитная гидродинамика. М.: Физматгиз, 1962.
8. Слезкин Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М.: Гос. изд-во физ.-тех. лит-ры, 1955.

9. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. РХД, 2000.
10. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974.
11. Франк-Каменецкий Д.А. Лекции по физике плазмы. М.: Атомиздат, 1968.
12. Кролл Н., Трайвелпис А. Основы физики плазмы. М.: Мир, 1975.
13. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. Физика плазмы для физиков. М.: Атомиздат, 1979.
14. Основы физики плазмы. Т.1, 2 и доп. к т. 2. / Под ред. Р.З. Сагдеева, М.Н. Розенблюта. М.: Энергоатомиздат, 1984-1985.
15. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Вводный том. Ч. I-IV/ Под ред. В.Е. Фортова. М.: Наука, 2000.
16. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966.
17. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987.
18. Генин Л.Г., Свиридов В.Г. Гидродинамика и теплообмен МГД-течений в каналах. М.: Изд-во МЭИ, 2001.

Дополнительная литература

1. Седов Л.И. Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики. 3-е изд. М.: Наука, 1980.
2. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1976.
3. Механика сплошных сред в задачах. Т. 1, 2 / Г.Я. Галин, А.Н. Голубятников, Я.А. Каменярж и др. М.: Московский лицей, 1996.
4. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика. М.: Гостоптехиздат, 1963.
5. Липанов А.М., Кисаров Ю.Р., Ключников И.Г. Численный эксперимент в классической гидромеханике турбулентных потоков. Екатеринбург: Изд-во Ур. ОРАН, 2001.
6. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная неустойчивость несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1972.
7. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. М.: Мир, 1977.
8. Итоги науки и техники. Физика плазмы: Серия сб. / Под ред. В.Д. Шафранова. М.: ВИНТИ.
9. Вопросы теории плазмы: Серия сб. / Под ред. М.А. Леонтовича, Б.Б. Кадомцева. М.: Атомиздат.
10. Химия плазмы: Серия сб. / Под ред. Б.М. Смирнова. М.: Энергоатомиздат.

Часть 2

1. Математическое моделирование

Основные понятия моделирования. Основы теории подобия и верификации моделей. Технологическая цепочка моделирования. Основные этапы моделирования. Постановка задач и определение типа модели. Требования к моделям. Построение математической, алгоритмической, программной моделей и численного алгоритма. Обоснования корректности моделей. Основные функции, выполняемые программным обеспечением (ПО) научных исследований. Требования, предъявляемые к ПО со стороны исследователей в период разработки программ. Операционные системы: назначение, выполняемые функции. Прикладное программное обеспечение научных исследований. Формы представления комплексов прикладных программ: библиотека, пакет прикладных

программ (ППП), диалоговая система. Технология разработки комплексов прикладных программ. Структурное проектирование программ. Применение инструментальных средств разработки ППП и диалоговых систем.

2. Методы вычислений

Численные методы линейной алгебры. Вычисление наибольшего по модулю собственного значения матрицы. Прямые и итерационные методы. Основные численные методы: метод конечных разностей и конечных объемов, метод конечных элементов. Аппроксимация, устойчивость и сходимость. Корректность постановок краевых задач при их численной аппроксимации. Основные численные алгоритмы решения обыкновенных дифференциальных уравнений: методы Рунге-Кутта и Адамса. Основные методы решения уравнений в частных производных. Разностные схемы и схемы метода конечных объемов для гиперболических уравнений. Явные и неявные схемы типа Рунге-Кутта для гиперболических уравнений. Алгоритмы решения параболических уравнений. Методы расщепления и приближенной факторизации. Метод линеаризации для решения нелинейных задач. Методы решения стационарных задач мат. физики. Эллиптические краевые задачи. Основные итерационные алгоритмы решения стационарных задач: простейший итерационный метод, метод верхней релаксации, градиентные итерационные методы.

3. Параллельное программирование

Архитектура параллельных вычислительных систем. Классификации многопроцессорных систем. Классификации современных компьютерных архитектур. Классификация коммуникаций между элементами параллельных вычислительных систем. Производительность вычислительных систем. Рейтинг суперкомпьютеров. Технологии параллельного программирования. Принципы построения параллельных алгоритмов. Характеристики параллельных алгоритмов: степень параллелизма, ускорение, эффективность. Этапы разработки параллельных алгоритмов. Планирование вычислений. Параллельные численные методы решения задач гидродинамики со свободными границами. Инструментальные средства отладки и анализа эффективности параллельных алгоритмов.

4. Численное моделирование задач динамики жидкости со свободными границами

Постановка задачи, определение варьируемых параметров задачи и основных характеристик исследования. Алгоритм решения задачи. Результаты тестовых расчетов. Оценка достоверности численных результатов на основе сравнения с данными натурных экспериментов. Анализ проведенных численных исследований. Определение критических параметров исследуемого физического явления.

Литература

1. Афанасьев К.Е., Гудов А.М. Информационные технологии в численных расчетах: Учеб. пособие / Кемер. ун-т. Кемерово: фирма —Полиграф, 2001. 204 с.
2. Афанасьев К.Е., Стуколов С.В. КМГЭ для решения плоских задач гидродинамики и его реализация на параллельных компьютерах: Учебное пособие. Кемерово:КемГУ, 2003. 208с.
3. Афанасьев К. Е., Стуколов С.В. Многопроцессорные вычислительные системы и параллельное программирование: Учебное пособие с грифом СибРУМЦ. Кемеровский госуниверситет. Кемерово: Кузбассвузиздат, 2004. 233с
4. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Т.М. Численные методы. М.: Наука, 1987

5. Бенерджи П., Баттерфилд Р. Методы граничных элементов в прикладных науках. М.: Мир, 1984. 494 с.
6. Бреббия К., Теллес Ж., Вроубел Л. Методы граничных элементов. М.: Мир, 1987.
7. Бэтчелор Д. Введение в динамику жидкости. М.: Мир, 1973.
8. Валландер С.В. Лекции по гидроаэромеханике. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1978
9. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1976
10. Воеводин В.В. Параллельные вычисления / Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. СПб: БХВ- Петербург, 2002. 608с.
11. Громадка Т., Лей Ч. Комплексный метод граничных элементов. М.: Мир, 1990.
12. Гуревич М.И. Теория струй идеальной жидкости. М.: Наука, 1979. 536 с.
13. Коннор Дж., Бреббия К. Метод конечных элементов в механике жидкости. Л.: Судостроение, 1979. 204 с.
14. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. М.: Наука, 1977. 407 с.
15. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М: Наука, 1980
16. Самарский А.А. Теория разностных схем .М.: Наука, 1977.
17. Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. М: Наука, 1978.
18. Сретенский Л.Н. Теория волновых движений жидкости. М.: Наука, 1972. 815 с.
19. Терентьев А.Г., Афанасьев К.Е. Численные методы в гидродинамике: Учеб. пособие / Чуваш. ун-т. им. И.Н. Ульянова. Чебоксары: ЧГУ, 1987. 94 с.
20. Фаддеев О.К., Фаддеева В.Н. Вычислительные методы линейной алгебры. М.: Физматгиз, 1963.
21. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. М.: Мир, 1991
22. Холл Дж., Уатт Дж. Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: Мир, 1979.
23. Шокин Ю.И., Яненко Н.Н. Метод дифференциального приближения. Применение к газовой динамике. Новосибирск, Наука, 1985
24. Sukumar, N. The natural element method in solid mechanics // Ph. D. thesis, theoretical and applied mechanics, Northwestern university, Evanston, Illinois, U.S.A, 1998. - 206 p.
25. Liu, G.R. Mesh free methods: moving beyond the finite element method. London: CRC Press, 2003. - 693 p. Проректор по НИИР, д-р хим. наук, профессор Б.А.Сечкарев