

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНТРАНС РОССИИ)
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)
ФГБОУ ВО «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»
(ФГБОУ ВО СПбГУГА)**

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе



А.В.Губенко
2019 г.

Программа вступительного испытания по специальности основной образовательной программы высшего образования - программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки кадров высшей квалификации 01.06.01 «Математика и механика», научной направленности (профилю) «Механика жидкости, газа и плазмы»

Санкт-Петербург
2019

Введение. В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: механика сплошной среды, гидромеханика, газовая динамика.

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 неуставившееся движение среды. Кинематические свойства вихрей.

3. Основные понятия и уравнения динамики

Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости. Уравнения неразрывности в форме Эйлера. 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.

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. 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.

5. Поверхности разрыва в течениях жидкости, газа и плазмы

Поверхности слабых и сильных разрывов. Разрывы сплошности. Условия на поверхностях сильного разрыва в материальных средах. 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. 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. 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.

8. Движение вязкой жидкости.

Теория пограничного слоя. Турбулентность. Ламинарное движение несжимаемой вязкой жидкости. Течения Куэтта и Пуазейля. 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.

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 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. Задача о структуре сильного разрыва. Качественное описание решения задачи о распаде произвольного разрыва.

10. 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.

Вопросы программы вступительного экзамена в аспирантуру по специальности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы»:

1. Понятие сплошной среды.
2. Области приложения механики жидкости, газа и плазмы.
3. Системы отсчета и системы координат. Лагранжевы и эйлеровы координаты. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета в ньютоновской механике.
4. Точки зрения Эйлера и Лагранжа при изучении движения сплошных сред.
5. 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
6. Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости. Многокомпонентные смеси. Потоки диффузии. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей.
7. Массовые и поверхностные, внутренние и внешние силы.
8. Законы сохранения количества движения и моментов количества движения для конечных масс сплошной среды. Дифференциальные уравнения движения и момента количества движения сплошной среды.
9. 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
10. Обратимые и необратимые процессы. Совершенный газ. Цикл Карно. Второй закон термодинамики. Энтропия и абсолютная температура.
11. Диссипативная функция. Основные макроскопические механизмы диссипации. Уравнения состояния. Термодинамические потенциалы двухпараметрических сред.
12. Модель идеальной жидкости. Уравнения Эйлера. Полные системы уравнений для идеальной, несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия.
13. Интегралы Бернулли и Коши—Лагранжа. Явление кавитации.

14. Теорема Томсона и динамические теоремы о вихрях. Возникновение вихрей.

15. 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.

16. Поверхности слабых и сильных разрывов. Разрывы сплошности.

17. Условия на поверхностях сильного разрыва в материальных средах и в электромагнитном поле. Тангенциальные разрывы и ударные волны.

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

19. Общая теория непрерывных потенциальных движений несжимаемой жидкости. Свойства гармонических функций.

Многозначность потенциала в многосвязных областях.

20. 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.

21. Силы воздействия идеальной жидкости на тело, движущееся в безграничной массе жидкости. Основы теории присоединенных масс. Парадокс Даламбера.

22. Плоские движения идеальной жидкости. Функция тока. Применение методов теории аналитических функций комплексного переменного для решения плоских задач гидродинамики и аэродинамики.

23. Стационарное обтекание жидкостью цилиндра и профиля. Формулы Чаплыгина и теорема Жуковского.

24. 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.

25. Ламинарное движение несжимаемой вязкой жидкости. Течения Куэтта и Пуазейля. Течение вязкой жидкости в диффузоре. Диффузия вихря.

26. Приближения Стокса и Озеена. Задача о движении сферы в вязкой жидкости в постановке Стокса.

27. 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.

28. 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.

29. Свободная и вынужденная конвекция. Приближение Буссинеска. Линейная неустойчивость подогреваемого плоского слоя и порог возникновения конвекции. Понятие о странном аттракторе.

30. Распространение малых возмущений в сжимаемой жидкости. Волновое уравнение. Скорость звука.

31. Запаздывающие потенциалы. Эффект Доплера. Конус Маха. Уравнения газовой динамики. Характеристики.

32. Влияние сжимаемости на форму трубок тока при установившемся движении. Элементарная теория сопла Лавалья.

33. 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.

34. Волны Римана. Эффект опрокидывания волн. Эволюционные и неэволюционные разрывы.

35. Задача о структуре сильного разрыва.

36. Плоские стационарные сверхзвуковые течения газа.

37. Течения с гиперзвуковыми скоростями. Закон сопротивления Ньютона.

38. Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла в пустоте. Взаимодействие электромагнитного поля с проводниками. Сила Лоренца. Закон сохранения полного заряда. Закон Ома.

39. Среды с идеальной проводимостью. Вектор и уравнение Умова—Пойнтинга. Джоулево тепло. Уравнения импульса и притока тепла для проводящей среды.

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

41. Понятие о ламинарном и турбулентном движениях. Установившиеся ламинарные течения в цилиндрических трубах. Течение Пуазейля. Условия динамического подобия движений вязкой жидкости.

42. Число Рейнольдса. Число Фруда. Число Маха.

43. Уравнения Рейнольдса для осредненного турбулентного движения.

44. Полуэмпирические теории турбулентности.

45. Пограничный слой. Уравнения пограничного слоя Прандтля.

Основная литература

1. Кочин, Н.Е. Теоретическая гидромеханика. В 2-х томах. / Н.Е. Кочин., И.А. Кибель, Н.В. Розе. - М.: Физматгиз, 1963

2. Седов Л.И. Механика сплошной среды. В 2-х томах. / Л.И. Седов. - М.: Наука, 1995

3. Ландау, Л.Д., Лившиц Е.М. Гидродинамика. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц. - М.: Физматлит, 2006

4. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа. / Г. Л. Лойцянский. - М.: Дрофа, 2003

Дополнительная литература

5. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1976.
6. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. М.: Наука, 1977.
7. Механика сплошной среды в задачах. /под ред М.Э.Эглит. М.: «Московский лицей». Т.1, 2, 1996.
8. Ладыженская О.А. Математические вопросы динамики вязкой несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1970.
9. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1976.
10. Куликовских А.Г., Любимов Г.А. Магнитная гидродинамика. М.: Физматгиз, 1962.
11. Прандтль Л. Гидромеханика. М.: Изд-во иностранной литературы, 1951.
12. Овсянников Л.В. Лекции по основам газовой динамики. М.: Наука, 1981.
13. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974.
14. Кутателадзе С.С. Пристенная турбулентность. Новосибирск: Наука, 1993.

Разработчики:

к.т.н., доцент

Муксимова Р.Р.

(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы разработчиков)

Заведующий кафедрой:

к.т.н., доцент

Далингер Я.М.

(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы заведующего кафедрой)

Начальник управления
аспирантуры и докторантуры
доцент

Цветков А.А.