

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

У Т В Е Р Ж Д АЮ

Заведующий отделом
подготовки кадров
высшей квалификации



В.П. Драгунов

2022 г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по специальности
1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы

Новосибирск 2022

Программа утверждена на заседании ученого совета факультета летательных аппаратов,
протокол № 1 от 27 января 2022 г.

Программу разработали

зав. кафедрой АГД,
д.т.н., профессор



С.Д. Саленко

к.ф.-м.н., доцент

Ю.А. Гостеев

Декан ФЛА,
д.т.н., профессор



С.Д. Саленко

Ответственный за основную
образовательную программу

зав. кафедрой АГД
д.т.н., профессор



С.Д. Саленко

Введение

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

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии 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 ([5], Введение; [2], гл. I, §§ 1, 2).

Основные исторические этапы в развитии механики жидкости и газа ([5], Введение).

2. Кинематика сплошных сред

Системы отсчета и системы координат. Лагранжевы и эйлеровы координаты ([2], гл. II, §§ 1, 2). Инерциальные и неинерциальные системы отсчета в ньютоновской механике ([2], гл. II, §§ 1, 2; гл. VI, § 3; [3*], § 5).

Точки зрения Эйлера и Лагранжа при изучении движения сплошных сред ([1], ч. I, гл. I, §§ 6-8; [2], гл. II, §§ 1-3).

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 ([2], гл. II, §§ 1-3, 6-8; [1], ч. I, гл. I, § 9).

Кинематические свойства вихрей ([2], гл. VI, § 7; [5] § 6).

3. Основные понятия и уравнения динамики и термодинамики

Закон сохранения массы. Уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа. Условие несжимаемости. Многокомпонентные смеси. Потоки диффузии. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей ([2], гл. III, § 1; [4], § 58).

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 ([2], гл. III, § 2, 3).

Работа внутренних поверхностных сил. Кинетическая энергия и уравнение живых сил для сплошной среды в интегральной и дифференциальной формах ([2], гл. V, § 1).

Понятие о параметрах состояния, пространстве состояний, процессах и циклах. Закон сохранения энергии, внутренняя энергия ([2], гл. V, § 2). Уравнение притока тепла ([2], гл. 5, § 2). Вектор потока тепла ([2], гл. V, § 7). Дифференциальные уравнения энергии и притока тепла ([3*], § 13). Законы теплопроводности Фурье ([2], гл. V, § 7). Различные частные процессы: адиабатический, изотермический и др. ([2], гл. V, § 4).

Обратимые и необратимые процессы ([2], гл. V, § 3). Совершенный газ ([2], гл. V, § 4). Цикл Карно ([2], гл. V, § 4). Второй закон термодинамики ([2], гл. V, § 5; [3*], §§ 13-15). Энтропия и абсолютная температура ([2], гл. V, § 5). Некомпенсированное тепло и производство энтропии ([2], гл. V, §§ 5, 8). Неравенство диссипации, тождество Гиббса ([3*], §§ 13-15). Диссипативная функция ([2], гл. V, § 8). Основные макроскопические механизмы диссипации ([2], гл. V, §§ 7, 8). Понятие о принципе Онзагера ([2], гл. V, § 8, 9; [3*], § 13). Уравнения состояния. Термодинамические потенциалы двухпараметрических сред ([2], гл. V, § 6).

4. Модели жидких и газообразных сред

Модель идеальной жидкости ([2], гл. IV, § 1; гл. V, § 7). Уравнения Эйлера ([2], гл. IV, § 1). Полные системы уравнений для идеальной, несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия ([2], гл. IV, § 1, гл. V, § 7; гл. VII, § 1).

Интегралы Бернуlli и Коши-Лагранжа ([2], гл. VIII, §§ 2-5). Явление кавитации ([2], гл. VIII, §§ 4, 8); ([9], гл. V, § 2).

Теорема Томсона и динамические теоремы о вихрях. Возникновение вихрей. Теорема Бьеркнеса ([1], ч. I, гл. V, §§ 1-9; [2], гл. VI, § 7).

Модель вязкой жидкости. Линейно-вязкая (ニュートンовская) жидкость. Уравнения Навье-Стокса ([2], гл. IV, § 2; [4], § 15). Полные системы уравнений для вязкой несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия ([2], гл. V, § 7; гл. VII, § 1). Диссипация энергии в вязкой теплопроводной жидкости ([2], гл. V, § 7; [4], § 16).

Применение интегральных соотношений к конечным объемам среды при установившемся движении ([2], гл. VIII, § 7). Теория реактивной тяги и теория идеального пропеллера ([2], гл. VIII, § 10).

5. Поверхности разрыва в течениях жидкости, газа и плазмы

Поверхности слабых и сильных разрывов ([1], ч. II, гл. I, § 4). Разрывы сплошности ([3*], §§ 18, 19).

Условия на поверхностях сильного разрыва в материальных средах и в электромагнитном поле ([2], гл. VII, §§ 4, 5; [3*], § 35). Тангенциальные разрывы и ударные волны ([3*], § 18, 19).

6. Гидростатика

Равновесие жидкости и газа в поле потенциальных массовых сил. Закон Архимеда. Равновесие и устойчивость плавающих тел и атмосферы ([2], VIII § 1; [1], ч. I, гл. III, §§ 1-4, 8).

7. Движение идеальной несжимаемой жидкости

Общая теория непрерывных потенциальных движений несжимаемой жидкости ([2], гл. VIII, § 12). Свойства гармонических функций ([2], гл. VIII, § 12). Многозначность потенциала в многосвязных областях ([1], ч. I, гл. I, § 18). Кинематическая задача о произвольном движении твердого тела в неограниченном объеме идеальной несжимаемой жидкости ([2], гл. VIII, § 14). Энергия, количество движения и момент количества движения жидкости при движении в ней твердого тела ([2], гл. VIII, § 15). Движение сферы в идеальной жидкости ([2], гл. VIII, § 13).

Силы воздействия идеальной жидкости на тело, движущееся в безграничной массе жидкости ([2], гл. VIII, § 16). Основы теории присоединенных масс ([2], гл. VIII, § 15). Парадокс Даламбера ([2], гл. VIII, §§ 8, 16).

Плоские движения идеальной жидкости. Функция тока. Применение методов теории аналитических функций комплексного переменного для решения плоских задач гидродинамики и аэrodинамики ([1], ч. I, гл. III, §§ 11-16; [5], §§ 39, 40). Стационарное обтекание жидкостью цилиндра и профиля ([5], § 41). Формулы Чаплыгина и теорема Жуковского ([1], ч. I, гл. VI, §§ 5, 6; [5], § 44). Правило Жуковского и Чаплыгина определения циркуляции вокруг крыльев с острой задней кромкой ([1], ч. I, гл. VI, § 7; [5], § 41). Нестационарное обтекание профилей ([1*], гл. I, §§ 1-5).

Плоские задачи о струйных течениях жидкости. Обтекание тел с отрывом струй. Схемы Кирхгофа, Эфроса и др. ([1], ч. I, гл. VI, § 16; [5], § 47; [1*], гл. V, § 4).

Определение поля скоростей по заданным вихрям и источникам ([1], ч. I, гл. V, § 11; [2], гл. VIII, § 26). Формулы Био-Савара. Прямолинейный и кольцевой вихри ([1], ч. I, гл. V, §§ 12-15; [2], гл. VIII, § 27). Законы распределения давлений, силы, обуславливающие вынужденное движение прямолинейных вихрей в плоском потоке ([2], гл. VIII, § 28).

Постановка задачи и основные результаты теории крыла конечного размаха. Несущая линия и несущая поверхность ([2], гл. VII, § 27; [5], § 68).

Постановка задачи Коши-Пуассона о волнах на поверхности тяжелой несжимаемой жидкости ([1], ч. I, гл. VIII, §§ 2, 3; [3*], § 24). Гармонические волны. Фазовая и групповая скорость. Дисперсия волн ([1], ч. I, гл. VII, § 8; [3*], § 24; [7*], §§ 11.1, 11.2, 11.4). Перенос энергии прогрессивными волнами ([1], ч. I, гл. VII, §§ 18-19; [7*], § 11.6). Теория мелкой воды ([4], § 108; [7*], § 13.10). Уравнения Буссинеска и Кортевега-де-Вриза. Нелинейные волны. Солитон ([7*], §§ 13.11, 13.12; [3*], § 24).

8. Движение вязкой жидкости. Теория пограничного слоя. Тurbулентность

Ламинарное движение несжимаемой вязкой жидкости. Течения Куэтта и Пуазейля ([1], ч. II, гл. II, §§ 11, 12; [2], гл. VIII, § 21). Течение вязкой жидкости в диффузоре ([8], гл. V, §§ 6, 9; гл. X, §§ 3, 4; [4], § 23). Диффузия вихря ([2], гл. VIII, § 30).

Приближения Стокса и Озенна. Задача о движении сферы в вязкой жидкости в постановке Стокса ([1], ч. II, гл. II, §§ 23, 25; [2], гл. VIII, § 20; [4], § 20).

Ламинарный пограничный слой ([2], гл. VIII, § 23; [10], гл. VII, § 1). Задача Блазиуса ([2], гл. VIII, § 24; [10], гл. VII, § 5). Интегральные соотношения и основанные на их использовании приближенные методы в теории ламинарного пограничного слоя ([5], § 89). Явление отрыва пограничного слоя ([5], § 86; [4], §§ 39, 40; [10], гл. VII, § 2). Устойчивость пограничного слоя ([4], § 41; [10], гл. XVI, §§ 2, 3). Теплообмен с потоком на основе теории пограничного слоя ([4*], гл. VI, § 2; [5] §§ 114-116; [10], гл. XII, §§ 1, 4).

Turbулентность ([5], § 95). Опыт Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса ([2], гл. VIII, § 22). Turбулентный перенос тепла и вещества ([5], §§ 97, 98). Полуэмпирические теории turbулентности ([5], § 98; [10], гл. XIX, §§ 2-4; ([9], гл. III, § 4)). Профиль скорости в пограничном слое. Логарифмический закон ([5], § 120; [10], гл. XIX, § 5). Прямое численное решение уравнений гидромеханики при наличии turbулентности ([5*]).

Свободная и вынужденная конвекция ([6*], гл. II, § 5; ([9], гл. V, §§ 16, 18)). Приближение Буссинеска ([6*], гл. I, § 1). Линейная неустойчивость подогреваемого плоского слоя и порог возникновения конвекции. ([6*], гл. II, § 5). Понятие о странном аттракторе ([4], §§ 30, 31).

Движение жидкости и газа в пористой среде. Закон Дарси. Система дифференциальных уравнений подземной гидрогазодинамики ([4*], гл. I, § 1, гл. II, § 1). Неустановившаяся фильтрация газа. Примеры точных автомодельных решений ([4*], гл. VIII, § 8).

9. Движение сжимаемой жидкости. Газовая динамика

Распространение малых возмущений в сжимаемой жидкости. Волновое уравнение. Скорость звука ([4], §§ 64-68; [2], гл. VIII, § 17).

Запаздывающие потенциалы. Эффект Допплера. Конус Маха ([2], гл. VIII, § 17; [4], § 68). Уравнения газовой динамики. Характеристики. ([1], ч. II, гл. I, § 4; [6], гл. II, §§ 3, 4; [3*], § 25).

Влияние сжимаемости на форму трубок тока при установившемся движении. Элементарная теория сопла Лаваля ([2], гл. VIII, § 6; [2*], гл. IV, § 1).

Одномерные неустановившиеся движения газов с плоскими, цилиндрическими и сферическими волнами ([3], гл. IV, § 1). Автомодельные движения и классы соответствующих задач ([3], гл. IV, § 1-3). Задачи о поршне и о сильном взрыве в газе ([3], гл. IV, §§ 1; 6, 11, 12; [6], гл. II, §§ 8, 10, 16).

Волны Римана. Эффект опрокидывания волн ([2], гл. VIII, § 18; [6], гл. II, § 7). Адиабата Гюгонио ([4], § 85). Теорема Цемплена ([4], §§ 86, 87). Эволюционные и неэволюционные разрывы ([4], § 88; [6], гл. II, § 9; [3*], § 25).

Теория волн детонации и горения ([4], §§ 128-131; [3*], § 25). Правило Жуге и его обоснование ([4], § 130).

Задача о структуре сильного разрыва ([1], ч. II, гл. II, § 19; [4], § 93; [3*], § 25).

Качественное описание решения задачи о распаде произвольного разрыва ([4], § 100).

Плоские стационарные сверхзвуковые течения газа. Метод характеристик ([6], гл. III, § 7, 8). Течение Прандтля-Майера ([6], гл. III, § 10). Косой скачок уплотнения. Обтекание сверхзвуковым потоком газа клина и конуса. Понятие об обтекании тел газом с отошедшей ударной волной ([6], гл. III, §§ 14-16; [1], ч. II, гл. I, § 27).

Линейная теория обтекания тонких профилей и тел вращения ([4], §§ 123-125; [6], гл. III, §§ 18-20).

Течения с гиперзвуковыми скоростями. Закон сопротивления Ньютона ([4], § 126; [6], гл. III, §§ 22, 23).

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 ([2], гл. VI, § 4). Уравнения импульса и притока тепла для проводящей среды ([2], гл. VI, § 4; [7], гл. I, § 2; [3*], § 35).

Уравнения магнитной гидродинамики ([2], гл. VI, § 6; [7] гл. I, § 4; [3*], § 36). Условия вморможенности магнитного поля в среду ([2], гл. VI § 7; [7], гл. I, § 5). Понятие о поляризации и намагничивании жидкостей ([2], гл. VI, §§ 1, 5).

11. Физическое подобие, моделирование

Система определяющих параметров для выделенного класса явлений ([3], гл. I, §§ 1, 7). Основные и производные единицы измерения. Формула размерностей ([3], гл. I, §§ 2-4). П-теорема ([3], гл. I, § 6). Примеры приложений. Определение физического подобия. Моделирование. Критерии подобия ([3], гл. II, § 6). Числа Эйлера, Маха, Фруда. Рейнольдса, Струхала, Прандтля ([5], §§ 77, 85, 109).

Основная литература

1. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч. I, ч. II. М.: Физматгиз, 1963.
2. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. I, т. II, изд. 5, М.: Наука, 1994.
3. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике, изд. 10. М.: Наука, 1987.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. Изд. 3. М: Наука, 1986.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Изд. 5. Н.: 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. Г. Шлихтинг. Теория пограничного слоя. М: Наука, 1974.

Дополнительная литература

- 1*. Седов Л.И. Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики. Изд. 3. М.: Наука, 1980.
- 2*. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М: Наука, 1976.
- 3*. Галин Г.Я., Голубятников А.Н., Каменярж Я. А., Карликов В.П., Куликовский А.Г., Петров А.Г., Свешникова Е.И., Шикина И.С., Эглит М.Э. Механика сплошных сред в задачах. Т. 1, 2. 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. Изд-во Ур. ОРАН, Екатеринбург, 2001 г.
- 6*. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная неустойчивость несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1972.
- 7*. Узем Дж. Линейные и нелинейные волны. М.: Мир, 1977.

Дополнительная программа

1. Моделирование условий полета летательных аппаратов в аэродинамических трубах. Метод анализа размерностей, π - теорема.
2. Критерии подобия. Способы обеспечения подобия. Полное и частичное моделирование.
3. Аэродинамические трубы малых скоростей. Основные элементы аэродинамических труб.
4. Аэродинамические трубы трансзвуковых скоростей.
5. Аэродинамические трубы переменной плотности.
6. Аэродинамические трубы сверх- и гиперзвуковых скоростей.
7. Условия предотвращения конденсации потока в сверхзвуковых аэродинамических трубах. Подогреватели воздуха.
8. Особенности моделирования обтекания при высоких температурах.
9. Аэродинамические трубы с низкой степенью турбулентности.
10. Измерение сил и моментов в аэродинамическом эксперименте. Механическая система разложения сил и моментов.
11. Принцип действия и основные элементы аэродинамических весов.
12. Весовые, рейтерные элементы аэродинамических весов. Источники погрешностей измерения аэродинамических характеристик моделей с помощью механических весов.
13. Тензодатчики сопротивления. Связь между напряжением разбаланса и деформациями тензодатчиков.
14. Внутримодельные тензовесы типа консольного стержня. Источники погрешностей тензометрических весов.
15. Независимые измерения сил и моментов с помощью тензовесов.
16. Методика 6-ти компонентных измерений аэродинамических характеристик с использованием комбинации механических и тензометрических весов.
17. Методика измерений распределения статических давлений на поверхности моделей. Основные источники погрешностей.
18. Электрические преобразователи давлений. Тензометрические индуктивные и пьезометрические датчики.
19. Многоканальные измерения давлений с помощью электрических датчиков. Пневмокомутаторы давлений.
20. Приемники полных и статических давлений. Основные источники погрешностей.
21. Пневмометрические методы измерения векторов скоростей.
22. Термоанемометрический метод измерения пульсации скорости. Закон Кинга. Принципы термоанемометров постоянного сопротивления и постоянного тока.
23. Методы измерений среднего вектора скорости и напряжений Рейнольдса.
24. Анемометры, основанные на эффекте Допплера. Принцип действия, преимущества и недостатки.
25. Методы измерения температур газового потока. Термометр сопротивления, термопара, термисторы, термоиндикаторы. Принцип действия и источники погрешностей.
26. Оптические методы визуализации газовых потоков. Теневой шлирен и интерферометрические методы. Принцип действия.
27. Методы визуализации поверхностных течений. Дымовые спектры, саже-масляные спектры поверхностных течений.
28. Современные методы визуализации течений.

Литература к дополнительной программе

Основная

1. Харитонов А.М. Техника и методы аэрофизического эксперимента. Учебник НГТУ. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011, 643с.
2. Маслов А. А., Миронов С. Г. Динамика вязкого газа, турбулентность и струи [учебное пособие]. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010, 214с.

Дополнительная

1. Мартынов А.П. Прикладная аэродинамика. Машиностроение, М., 1972, 420 с.
2. Поуп А., Гойн К. Аэродинамические трубы больших скоростей. Наука, М., 1968, 321 с.
3. Горлин С.М., Слезингер И.И. Аэродинамические измерения. Наука, М., 1964, 720 с.
4. Харитонов А.М. Техника и методы аэрофизического эксперимента. Часть 1. Аэродинамические трубы и газодинамические установки. Учебник НГТУ. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2005. 220с.
5. Петунин А.Н. Измерение параметров газового потока. Машиностроение, М., 1974, 250 с.
6. Горлин С.М. Экспериментальная аэродинамика. Высшая школа, М., 1970, 283 с.
7. Горшенин Д.С., Мартынов А.К. Методы и задачи практической аэродинамики. Машиностроение, М., 1977, 238 с.
8. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии. Из-во стандартов, М., 1975, с.125-245.
9. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. Энергоатомиздат, Л., 1985, 248 с.
10. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. Наука, М., 1969, 511 с.
11. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Высшая школа, М., 2000.