

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий отделом
отдела подготовки кадров
высшей квалификации



В.П. Драгунов

2022 г.

ПРОГРАММА

вступительного экзамена в аспирантуру 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, теоретическая гидромеханика, аэродинамика ЛА, газовая динамика, термодинамика.

Раздел 1. Введение. Кинематика жидкой среды.

Области приложения механики жидкости, газа и плазмы.

Основные исторические этапы в развитии механики жидкости и газа.

Модели сплошной среды.

Лагранжевы и эйлеровы координаты. Точки зрения Эйлера и Лагранжа при изучении движения сплошных сред.

Определения и свойства кинематических характеристик движения: перемещения, траектории, скорость, линии тока, критические точки.

Вектор вихря, циркуляция скорости. Кинематические свойства вихрей.

Раздел 2 Движение идеальной жидкости и газа.

Модель идеальной жидкости. Уравнения Эйлера. Полные системы уравнений для идеальной, несжимаемой и сжимаемой жидкостей. Начальные и граничные условия.

Интегралы Бернулли и Коши—Лагранжа.

Плоские движения идеальной жидкости. Функция тока.

Стационарное обтекание жидкостью цилиндра и профиля.

Теорема Жуковского. Постулат Жуковского-Чаплыгина.

Поверхности слабых и сильных разрывов. Разрывы сплошности.

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

Раздел 3. Динамика вязкого газа.

Вывод уравнений сохранения массы, импульса и энергии в динамике вязкой несжимаемой жидкости. Безразмерная запись уравнений, параметры подобия.

Течение Гагена-Пуазейля. Течения в трубах. Кривые Никурадзе.

Уравнение пограничного слоя. Уравнение Прандтля.

Задача Блазиуса. Решение Фокнера-Скен.

Стационарный пограничный слой. Распределение скорости. Интеграл Крокко.

Осесимметричный пограничный слой. Пограничный слой на конусе.

Линейная задача устойчивости. Метод малых возмущений.

Задача на собственные значения. Нелинейная теория устойчивости.

Методы управления пограничным слоем.

Турбулентные течения. Уравнения Рейнольдса.

Замыкания уравнения Рейнольдса.

Универсальные законы распределения скоростей. Законы распределения скоростей при больших числах Рейнольдса.

Турбулентный пограничный слой на пластине.

Свободная турбулентность.

Структура сверхзвуковой струи.

Ползущие течения. Задача Стокса. Теория гидродинамической смазки.

Раздел 4. Численные методы в аэродинамике.

Классификация уравнений в частных производных. Характеристические направления. Задача Коши, краевая задача первого, второго и третьего рода, смешанная начально-краевая задача

для уравнений различных типов. Корректность постановки начально-краевой задачи.

Устойчивость решения.

Параболические уравнения. Конечно-разностные и конечно-объемные схемы для случая одной пространственной переменной. Явные и неявные схемы. Двух- и трехслойные схемы. Исследование порядка аппроксимации разностной схемы.

Устойчивость явных разностных схем для 1-D уравнения теплопроводности. Принцип Куранта-Фридрихса-Леви. Исследование устойчивости двух- и трехслойных схем методом Фурье.

Неявные схемы для 1-D уравнения теплопроводности, их устойчивость. Метод прогонки.

Явные и неявные конечно-разностные схемы для 2-D уравнения теплопроводности, их устойчивость и аппроксимация. Метод дробных шагов. Свойство полной аппроксимации.

Линейное уравнение переноса. Постановка начально-краевой задачи. Примеры явных и неявных двухслойных схем. Область зависимости решения. Число Куранта. Исследование устойчивости двухслойных схем методом Фурье.

Первое дифференциальное приближение разностных схем для уравнения переноса.

Аппроксимационная вязкость и дисперсия. K -свойство разностных схем.

Монотонность схем для линейного уравнения переноса. Признак монотонности. «Барьер Годунова».

Уравнение Хопфа. Градиентная катастрофа. Понятие обобщенного решения. Консервативная форма уравнения. Соотношение на сильном разрыве. Искусственная вязкость. Энтропийное условие.

Понятие TVD- схем. TVD-признак. Ограничители. MUSCL-аппроксимация.

1D уравнения Эйлера в консервативной форме и неконсервативной форме. Якобиан потоковой функции $f' = \partial f / \partial U$, его собственные значения, правые и левые собственные вектора.

1D уравнения Эйлера, записанные в виде соотношений вдоль характеристик. Инварианты Римана. Уравнение для энтропии. Корректная постановка начально-краевой задачи для уравнений Эйлера.

Соотношения на разрыве. Энтропийное условие. Ударные волны, контактные разрывы.

Простые волны. Задача о распаде произвольного разрыва. Тест Сода для уравнений Эйлера.

Идея метода характеристик для решения уравнений Эйлера. Однородные разностные схемы.

Консервативные схемы Лакса-Фридрихса, Лакса-Вендрофа, Мак-Кормака. Искусственная вязкость.

FVS и FDS схемы решения уравнений Эйлера. Идея метода Годунова. Схемы повышенного порядка аппроксимации по пространству (TVD и ENO).

Временная аппроксимация уравнений. Схема универсального алгоритма. Система 2D уравнений Эйлера в декартовой и криволинейной системах координат.

Раздел 5. Методы аэрофизического эксперимента.

Полупроводниковый лазер. Рубиновый Лазер. Физические основы работы и основные параметры.

Рассеяние света. Сечения рассеяния, индикатриса рассеяния. Рассеяние излучение малыми частицами. Рассеяние излучения большими частицами.

Приемники на основе внутреннего фотоэффекта (фотодиоды и фотосопротивления) и внешнего фотоэффекта (фотоэлементы, ФЭУ). Тепловые приемники излучения.

Панорамные измерители скорости потоков. Основы метода. PIV и PTV диагностика. Применение в газодинамическом эксперименте.

Метод лазерного «ножа». Основы метода и схемные решения. Применение в газодинамическом эксперименте.

Теневые и шлирен-методы визуализации течений. Применение в аэродинамическом эксперименте.

Лазерная доплеровская анемометрия. Основные схемы, применение ЛДА.
 Назначение и принципы действия термоанемометров постоянного тока и постоянного сопротивления. Блок-схемы ТПС и ТПТ.
 Эмпирические законы теплообмена между нитью датчика и потоком. Закон Кинга.
 Получение аналитических выражений для коэффициентов чувствительности датчиков при постоянном сопротивлении датчика.
 Вывод соотношений для коэффициентов чувствительности датчиков термоанемометров постоянного тока.
 Интерпретация термоанемометрических измерений. Метод трех перегревов. Определение пульсаций массового расхода, температуры торможения, коэффициента корреляции между ними с помощью диаграмм пульсаций Коважного.
 Методы диаграмм пульсаций Коважного: частные случаи вихревой, энтропийной и акустической мод для сверхзвуковых скоростей
 Акустическая мода пульсаций при дозвуковых скоростях. Диаграммы пульсаций для частных случаев ориентации плоских звуковых волн.
 Акустическая мода пульсаций при больших дозвуковых скоростях для точечного источника звука.
 Решение уравнения теплоотдачи для датчиков термоанемометра с учетом тепловой инерции нити при постоянном токе. Постоянная времени проволочного датчика термоанемометра.
 Типы и основные характеристики датчиков термоанемометра. Особенности применения. Трубчатые датчики.

Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса и одну задачу. Максимальное количество баллов за первый вопрос – 20; за второй – 10; за задачу – 10. Претендент, набравший на экзамене 35-40 баллов, получает оценку “отлично”; 27-34 баллов – “хорошо”; 20-26 баллов – “удовлетворительно”; менее 20 баллов – “неудовлетворительно”.

Основная литература

Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Гидродинамика. – М.: Наука, 1986.
 Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч. I, II. М.: Физматгиз, 1963.
 Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. I, II. 5-е изд. М.: Наука, 1994.
 Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. 10-е изд. М.: Наука, 1987.
 Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1969.
 Гапонов С.А., Маслов А.А. Развитие возмущений в сжимаемых потоках. – Новосибирск: Наука, 1980.
 Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Физ.-мат.лит., 1973
 Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. – М.: Наука, 1976.
 Горлин С.М., Слезингер И.И. Аэродинамические измерения. Наука, М., 1964, 720 с.
 Харитонов А.М. Техника и методы аэрофизического эксперимента. Учебник НГТУ. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2011. 643с.

Дополнительная литература

Седов Л.И. Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики. 3-е изд. М.: Наука, 1980.
 Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1976.
 Липанов А.М., Кисаров Ю.Р., Ключников И.Г. Численный эксперимент в классической гидромеханике турбулентных потоков. Екатеринбург: Изд-во Ур. ОРАН, 2001.
 Петунин А.Н. Измерение параметров газового потока. Машиностроение, М., 1974, 250 с.
 Горлин С.М. Экспериментальная аэродинамика. Высшая школа, М., 1970, 283 с.
 Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. Энергоатомиздат, Л., 1985, 248 с.