

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННОГО
МОТОРОСТРОЕНИЯ ИМ. П.И. БАРАНОВА»**

УТВЕРЖДАЮ:

Заместитель генерального директора

по науке, д.т.н., с.н.с.

ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»



А.И. Ланшин

» апреля 2018 г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА В
АСПИРАНТУРУ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ
24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника»
(по направленности 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы»)**

Москва, 2018

1. Газовая динамика

Уравнения течения идеального газа в форме интегральных законов сохранения. Дифференциальная форма уравнений течения. Сильные разрывы и их классификация. Ударная адиабата и теорема Цемплена. Одномерные нестационарные течения с плоскими, цилиндрическими и сферическими волнами. Интегралы энтропии и поперечной скорости (момента поперечной скорости в осесимметричном случае). Уравнения характеристик и условия совместности. Метод характеристик и решение им типичных задач. Изэнтропические течения с плоскими волнами и их инварианты. Простые волны. Задача о выдвигании поршня с конечным и бесконечным ускорением. Максимальная скорость при нестационарном истечении. Условия возникновения скачка. Автомодельная задача о поршне. Рапад произвольного разрыва. Сильный точечный взрыв. Эволюционные и неэволюционные разрывы. Стационарные течения. Интегралы энтропии и полной энтальпии. Плотность тока. Элементарная теория течения в соплах и диффузорах. Плоские и осесимметричные стационарные течения, их интегралы, функция тока и характеристики. Решение задачи о профилировании сопла Лаваля методом характеристик. Плоское потенциальное течение и его инварианты. Плоскость годографа. Течение Прандтля-Майера. Предельный угол разворота сверхзвукового потока. Ударная поляра. Скачки слабого и сильного семейства. Обтекание клина и кругового конуса. Взаимодействие поверхностей разрыва. Регулярное и нерегулярное (Маховское) отражение. Нерасчетное истечение сверхзвуковой струи из сопла. Законы подобия для дозвуковых, сверхзвуковых и околозвуковых течений.

2. Физическая газовая динамика

Динамика релаксирующего газа. Возбуждение степеней свободы, диссоциация, ионизация. Химические реакции. Времена релаксации. Равновесные и неравновесные течения. Общая система уравнений. Предельные случаи равновесных и замороженных течений. Модель идеально диссоциирующего двухатомного газа Лайтхилла-Фримена. Распространение слабых возмущений в релаксирующем газе. Дисперсия и затухание возмущений. “Замороженная” скорость звука. Ударные волны в релаксирующем газе. Уравнение характеристик. Течение релаксирующего газа в соплах, изменение параметров по длине сопла.

Двухфазные течения. Общая система уравнений. Предельные случаи сильного и слабого взаимодействия фаз. Поверхности разрывы в двухфазных течениях. Распространение слабых возмущений. Примеры течений двухфазных течений в соплах. Течения с твердыми частицами.

3. Уравнения вязкой жидкости и теория пограничного слоя

Интегральные законы сохранения импульса и массы. Связь между тензором вязких напряжений и тензором скоростей деформации, возможные законы реологии, закон Ньютона. Уравнения Навье – Стокса. Предельный случай больших чисел Рейнольдса. Точные решения уравнений Навье-Стокса для течения между двух плоских стенок, между вращающимися цилиндрами. Уравнения пограничного слоя, автомодельное решение Блазиуса и Фолкнера – Скэн. Интегральное уравнение Кармана. Коэффициент трения на стенке, зависимость от числа Рейнольдса. Приближенные методы решения. Нестационарный пограничный слой. Теория отрывных течений. Вязко-невязкое взаимодействие, использование интеграла Коши. Переход от ламинарного к турбулентному режиму течения. Особенности турбулентного пограничного слоя.

4. Теория турбулентности

Осреднение, спектральные, корреляционные функции, распределение вероятностей, характерные масштабы. Турбулентная диффузия Тэйлора. Корреляционные тензоры в изотропном векторном поле. Уравнение Кармана - Хоурта, инвариант Лойцянского, вырождение турбулентности при малых числах Рейнольдса. Скорость диссипации, каскадный перенос энергии по спектру, гипотезы Колмогорова, вырождение турбулентности при больших числах Рейнольдса. Спектр и корреляция в инерционном интервале. Полуэмпирические модели турбулентного переноса, турбулентная вязкость, теория “пути смещения” Прандтля. Уравнения для переноса тензора напряжений трения Рейнольдса. Структура плоского однородного потока со сдвигом.

5. Теплообмен

Закон Фурье, коэффициент теплопередачи, уравнение теплопроводности. Уравнение энергии. Уравнение переноса тепла, число Прандтля, критерий Нуссельта. Роль вязкой диссипации при вариации числа Рейнольдса. Распределение температуры в течениях Пуазейля и Куэтта. Температурный пограничный слой, аналогия Рейнольдса, задача о термометре и об охлаждении стенки. Свободная конвекция возле вертикальной стенки, числа Рэлея и Грасгофа . Число Нуссельта при обтекании цилиндра. Перенос тепла в турбулентном пограничном слое. Заградительное охлаждение поверхностей. Лучистый теплообмен.

6. Химическая кинетика и теория горения

Расчет температуры горения и состава продуктов сгорания. Основы химической кинетики. Классификация химических реакций. Закон

действующих масс. Константы скоростей реакций. Энергия активации, порядок реакции. Скорость неизотермической адиабатической реакции. Распространение пламени в однородной топливо-воздушной смеси. Теория нормального распространения пламени, методы определения скорости нормального горения. Концентрационные пределы распространения пламени. Распространение пламени в турбулентном потоке. Горение в сверхзвуковом потоке. Детонационное горение, детонация Чепмена-Жуге. Косой скачок уплотнения с подводом тепла. Диффузионное горение газов. Структура факела горения, фронтальная модель горения.

7. Численные методы и математическое моделирование

Интегральные законы сохранения для течений вязкого теплопроводного газа. Дивергентная форма уравнений Навье-Стокса. Различные формы записи уравнения энергии. Граничные условия на стенке. Система уравнений Рейнольдса. Область применения уравнений Эйлера, Навье-Стокса и Рейнольдса для течений сжимаемого вязкого газа. Конечно-разностные схемы для линейного модельного уравнения переноса. Исследование устойчивости разностных схем. Условия устойчивости Неймана, Куранта-Фридрихса-Леви. Монотонность разностных схем. Основные схемы Лакса, Лакса-Вендрофа, Мак-Кормака. Критерий монотонности и однородности. Диссипация и дисперсия разностных схем. Построение монотонной схемы повышенного порядка аппроксимации. Принцип минимальных производных. Исследование устойчивости и монотонности неоднородной схемы. Понятие об обобщенном решении на примере квазилинейного уравнения переноса.

8. Экспериментальные методы

Особенности измерений в аэродинамике. Приборы для измерения полного и статического давления, насадки для измерения направления скорости. Метод Теплера, теневой метод визуализации потоков. Голографическая интерферометрия. Термопары, влияние излучения на точность измерения. Оптические и спектральные методы измерения температуры. Термокраски. Лазерный доплеровский измеритель скорости. Измерение концентрации пассивной примеси. Метод КАРС, метод лазерной индуцированной флуоресценции. Аналоговые и цифровые методы обработки случайных процессов. Аналоговые и цифровые приборы для измерения спектров, корреляций и распределения вероятностей. Ошибка измерения среднего значения и дисперсии случайного сигнала из-за конечности времени осреднения. Частота дискретизации и шаг квантования при аналого-цифровом преобразовании. Термоанемометр, измерение турбулентности.

Основная литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика Изд. 5-е. М.: Дрофа, 2006.
2. Куликовский А.Г., Любимов Г.А. Магнитная гидродинамика. Изд. 3-е. М.: Логос, 2011.
3. Чарный И.А. Подземная гидрогазодинамика. М.: Институт компьютерных исследований, 2006.
4. Крайко А.Н., Ватажин А.Б., Секундов А.Н. Газовая динамика. Избранное. В 2-х т. Т. 1. М.: Физ.мат.лит., 2005.
5. Крайко А.Н., Ватажин А.Б., Секундов А.Н. Газовая динамика. Избранное. В 2-х т. Т. 2. М.: Физ.мат.лит., 2005.
6. Крайко А.Н. Краткий курс теоретической газовой динамики. М.: изд-во МФТИ, 2007.
7. Крайко А.Н., Пудовиков Д.Е., Якунина Г.Е. Теория аэродинамических форм, близких к оптимальным. - М.: Янус-К, 2001.
8. Крайко А.Н. Теоретическая газовая динамика. Классика и современность. - М.: Торус Пресс, 2010.
9. Неравновесные физико-химические процессы в газовых потоках и новые принципы организации горения / Под ред. А.М. Старика. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2011.
10. Скибин В.А., Солонин В.И., Темис Ю.М. и др. Авиационные двигатели. /Энциклопедия. М.: Машиностроение, 2010.

Дополнительная литература

1. Черный Г.Г. Газовая динамика. М.: Наука, 1988 г.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1986 г.
3. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. М.: Мир, 1991г.
4. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. М.: Наука, 1977 г.
5. Годунов С.К., Рябенский В.С. Разностные схемы. М.: Наука, 1977 г.
6. Хинце И.О. Турбулентность. Физматгиз, М., "Наука", 1963.
7. Зельдович Я.Б. и др. Математическая теория горения. М.: Наука, 1975г.
8. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. М.: Мир, 1974 г.
9. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1980 г.
10. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании научно-методического совета ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова».

Протокол № 11 от « 16 » апреля 2018 г.

Секретарь Научно-методического совета по аспирантуре ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»,
к.т.н., доцент



А.С. Дрыгин