

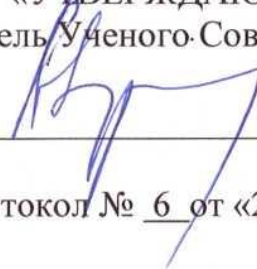
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(национальный исследовательский университет)» (МАИ)

КАФЕДРА АЭРОДИНАМИКА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

КАФЕДРА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕРТОЛЁТОВ

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель Ученого Совета факультета № 1



А.В.Ефремов

Протокол № 6 от «21» 02.2018 г.

ПРОГРАММА
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ
ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В АСПИРАНТУРУ

ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ **24.06.01**
АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ **05.07.01**
АЭРОДИНАМИКА И ПРОЦЕССЫ ТЕПЛООБМЕНА
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: механика жидкости, газа и плазмы; дозвуковые, сверхзвуковые и гиперзвуковые течения газа; физико-химические процессы в газах; теоретическая механика; теория горения, теплопередачи и теплозащиты летательных аппаратов; теория вероятности и математическая статистика; методы расчета аэродинамических характеристик и принципы конструирования летательных аппаратов; лабораторное и численное моделирование процессов обтекания.

1. ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ АЭРОДИНАМИКИ

1.1. Силовое воздействие среды на движущиеся тела. Основные понятия, определения, гипотезы. Движение летательных аппаратов (ЛА) в сплошной среде, силовое воздействие среды. Основные параметры газа, характеризующие его состояние. Сжимаемость газа. Вязкость. Гипотеза сплошности. Главный вектор аэродинамических сил, момента, понятие о центре давления. Общее выражение для аэродинамической силы (теория размерностей и подобия), аэродинамических коэффициентов сил и моментов. Критерии подобия. Числа M и Re . Напряжение трения. Гипотезы турбулентности. Общая характеристика аэродинамических коэффициентов.

1.2. Основные уравнения сохранения аэродинамики. Методы исследования движения газа. Методы Лагранжа, Эйлера. Понятие линии тока и траектории движения. Движение жидкой частицы. Потенциальное и вихревое течения. Теорема Гельмгольца. Основные уравнения аэродинамики. Исследуемая система физических тел. Модели жидкости (газа). Уравнения неразрывности для i -й компоненты газа (для смеси). Интегральная и дифференциальная формы записи. Уравнение Навье—Стокса. Дифференциальные уравнения движения невязкой жидкости (уравнения Эйлера). Уравнения энергии для конечного и бесконечно малого объемов. Удельная энергия вдоль линии тока для невязкой жидкости в условиях адиабатического течения. Обобщенная форма записи уравнений сохранения аэрогазодинамики. Уравнение состояния совершенного и реального газа. Интегралы уравнения движения. Система основных уравнений. Начальные и граничные условия. Современные численные методы решения уравнений Эйлера, Навье—Стокса и их асимптотических моделей.

1.3. Одномерное изэнтропическое установившееся течение газа. Распределение малых возмущений в газовой среде. Соотношение между скоростью течения газа и площадью сечения. Параметры газа при изэнтропическом течении. Относительные скорости (M , l , Cr) и их взаимосвязь. Критические значения параметров. Влияние сжимаемости на давление торможения. Газодинамические функции.

1.4. Теория скачков уплотнения. Природа ударных волн—скачков уплотнения. Схемы расчета параметров потока на скачке уплотнения. Теория прямого скачка уплотнения. Система основных уравнений для случая постоянных теплоемкостей. Расчет параметров газа после скачка уплотнения. Процессы ударного и изэнтропического сжатия. Изменение энтропии на скачке уплотнения. Параметры

торможения за прямым скачком уплотнения. Теория косо́го скачка уплотнения (постоянные теплоемкости). Система основных уравнений. Угол наклона фронта скачка уплотнения. Скорость, давление, плотность, температура за скачком уплотнения. Ударная поляра. Система уравнений и алгоритм расчета параметров потока за скачком уплотнения с учетом физико-химических превращений. Влияние физико-химических превращений в газе на параметры течения за скачком уплотнения. Отражение скачков уплотнения от твердой и свободной границ. Взаимодействие скачков уплотнения. Взаимодействие скачков уплотнения с волной разряжения.

1.5. Методы характеристик и линеаризации. Основное кинематическое уравнение аэродинамики и методы его решения. Метод характеристик. Задача Коши. Характеристики в плоскостях потока и годографа скорости. Свойства характеристик. Решение уравнений характеристик в плоскости годографа скорости. Типичные задачи решаемые методом характеристик. Численное и графическое решение задач. Обтекание сверхзвуковым потоком изломов поверхностей (течение Прандтля—Майера).

Теория малых возмущений. Линеаризация основных уравнений динамики идеального газа. Решения линеаризованных уравнений газовой динамики.

1.6. Вихревое и потенциальное движение идеальной несжимаемой среды. Вихревые движения в идеальной сплошной среде. Понятие о циркуляции скорости. Теорема Стокса. Теорема Кельвина. Теорема Гельмгольца. Определение поля скоростей по заданному полю вихрей. Обобщение поля Био-Савара. Скорости, индуцированные вихрем (отрезком вихревого шнура, вихревым кольцом). Взаимодействие вихря с движущейся средой. Плоское потенциальное движение идеальной несжимаемой среды.

Метод потенциальных потоков. Комплексный потенциал и комплексная скорость. Связь плоской и гидродинамической задачи с теорией функций комплексного переменного. Простейшие плоские потенциальные потоки (прямолинейный равномерный поток, течение внутри прямого угла, источник и сток, диполь, вихрь). Бесциркуляционное и циркуляционное обтекания круглого цилиндра. Парадокс Эйлера—Даламбера. Силы и моменты, действующие на цилиндр правильной формы. Формулы Жуковского—Чаплыгина.

1.7. Пограничный слой. Дифференциальное уравнение ламинарного пограничного слоя. Ламинарный пограничный слой на плоской пластине в несжимаемом потоке и при больших скоростях. Ламинарный пограничный слой при градиенте давления. Слабое и сильное взаимодействие. Учет эффектов второго порядка. Приближенные методы расчета ламинарного пограничного слоя. Переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный. Турбулентный пограничный слой. Уравнения осредненного турбулентного пограничного слоя. Напряжение Рейнольдса.

Модели турбулентности. Отрыв ламинарного и турбулентного слоя. Методы экспериментального исследования перехода и отрыва.

1.8. Аэродинамика гиперзвуковых скоростей и разреженного газа. Общие свойства гиперзвуковых течений. Гиперзвуковая теория малых возмущений. Гиперзвуковая теория Ньютона—Буземана. Влияние физико-химических процессов на обтекание затупленных тел сверхзвуковым и гиперзвуковым потоками. Понятие равновесных, неравновесных и «замороженных» течений. Характерные особенности течений слабо разреженного газа. Свободномолекулярное обтекание тел. Число Кнудсена. Модели взаимодействия свободномолекулярного потока с летательным аппаратом.

2. АЭРОДИНАМИКА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

2.1. Аэродинамика крыла. Профиль и крыло конечного размаха в потоке несжимаемой жидкости. Теория тонкого профиля. Аэродинамические характеристики профилей. Крыло конечного размаха в потоке несжимаемой жидкости. Теория вихревой несущей нити. Теория несущей поверхности. Расчет аэродинамических характеристик при больших углах атаки. Особенности распределения нагрузки на крыльях разной формы в плане. Теоретические и экспериментальные исследования тонких крыльев малого удлинения при больших углах атаки с учетом отрыва потока.

Профиль и крыло в дозвуковом потоке сжимаемого газа. Линейная теория крыла. Связь между аэродинамическими характеристиками крыла в сжимаемом и несжимаемом потоках.

Профиль и крыло при околосзвуковой скорости. Критическое число Маха. Законы подобия при околосзвуковых течениях. Аэродинамические характеристики профилей и крыльев при околосзвуковых скоростях.

Профиль и крыло в сверхзвуковом потоке. Тонкая пластина в сверхзвуковом потоке. Линейная теория тонкого профиля и крыла конечного размаха в сверхзвуковом потоке. Метод особенностей. Тонкий профиль в гиперзвуковом потоке. Аэродинамические характеристики крыльев при сверхзвуковой скорости.

Аэродинамические характеристики крыльев и оперений с отклоненными рулевыми поверхностями. Аэродинамические характеристики крыльев с механизацией. Влияние формы крыла на эффективность механизации. Аэродинамические характеристики оперения при отклоненных рулях. Шарнирные моменты рулевых поверхностей.

2.2. Аэродинамика корпуса летательного аппарата. Корпус летательного аппарата при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях. Аэродинамические характеристики корпусов при дозвуковой скорости. Обтекание при околосзвуковой скорости.

Критическое число Маха. Аэродинамические характеристики корпусов при околосвуковой скорости. Конус в сверхзвуковом потоке. Затупленный конус в сверхзвуковом потоке. Заостренное тело в сверхзвуковом потоке. Затупленное тело вращения в сверхзвуковом потоке. Аэродинамические характеристики корпусов и мотогондол с воздухозаборниками. Обтекание затупленных тел гиперзвуковым потоком. Влияние свойств реального газа на аэродинамические характеристики тел при гиперзвуковой скорости.

2.3. Аэродинамическая интерференция. Природа аэродинамической интерференции. Подъемная сила комбинации корпуса и крыла. Влияние угла крена на интерференцию между корпусом и крылом. Крестообразная комбинация. Интерференция между крылом и оперением. Органы управления. Аэродинамический расчет рулей.

Аэродинамические характеристики летательного аппарата. Подъемная сила, лобовое сопротивление. Поляры первого и второго рода. Моменты тангажа и рыскания. Момент крена. Аэродинамические характеристики летательного аппарата со взлетно-посадочной механизацией. Влияние земли.

2.4. Аэродинамические характеристики несущих винтов вертолета и пропеллеров. Несущий винт в режимах вертикального взлета и снижения. Режим вихревого кольца. Самовращение. Несущий винт в режимах косоугольного обтекания. Сила тяги, пропульсивная сила, мощность. Маховое движение лопастей. Обдувка корпуса вертолета несущим винтом. Способы создания управляющих моментов. Идеальный пропеллер. Критерии подобия. Винтовые диаграммы. Взаимозависимость между силой тяги и мощностью. Полетный и относительный КПД реального винта. Вихревая теория пропеллера. Соосные винты.

3. ПРОЦЕССЫ ТЕПЛООБМЕНА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

3.1. Трение и теплообмен. Ламинарный теплообмен при высоких скоростях и температурах. Законы подобия в задачах теплообмена. Интегральные характеристики пограничного слоя. Теплообмен при малых скоростях в пограничном слое несжимаемой жидкости. Коэффициенты теплоотдачи при больших скоростях. Связь между трением и теплоотдачей. Переход ламинарного течения в турбулентное. Турбулентный теплообмен при высоких скоростях и температурах. Приближенные теории турбулентного движения. Приближенные методы расчета теплообмена в турбулентном пограничном слое.

Теплообмен при химических реакциях в пограничном слое. Дифференциальные уравнения диффузии для ламинарного пограничного слоя в смеси реагирующих газов. Уравнение энергии. Химически равновесный пограничный слой. Химически неравновесное течение на каталитической стенке. Расчет теплообмена в реагирующем газе.

Теплообмен на поверхности летательных аппаратов при трехмерном обтекании. Течение в трехмерном пограничном слое. Дифференциальное уравнение трехмерного пограничного слоя. Линии растекания. Расчет теплообмена при трехмерном ламинарном течении в пограничном слое. Совместное влияние вдува и шероховатости на теплообмен. Течение в открытых зонах. Пограничные слои в неоднородном внешнем потоке.

Теплообмен в разреженном газе. Теория теплообмена в разреженном газе. Режимы тепловых и динамических процессов. Теплообмен в свободномолекулярной и переходной областях течения.

Методы экспериментального исследования теплообмена.

3.2. Теплопередача в элементах конструкций летательных аппаратов. Основные понятия и уравнения теории теплопроводности. Краевые условия в задачах теплопроводности. Методы решения задач теплопроводности. Аналитические методы. Численное решение задачи теплопроводности Моделирование температурных полей. Перенос тепла излучения к летательным аппаратам и внутри элементов конструкции. Основные определения и уравнения теплообмена излучением. Методы решения уравнений переноса излучения. Теплообмен излучением внутри поглощающей, излучающей и рассеивающей среды. Температурные поля в тонкостенных летательных аппаратах. Нагрев и охлаждение тела с одинаковой по объему температурой. Аэродинамический нагрев обшивки. Неравномерное распределение температуры по поверхности тонкостенной конструкции. Температурные поля в подкрепленных конструкциях.

3.3. Тепловая защита летательных аппаратов. Методы тепловой защиты. Типы теплозащитных материалов. Перенос тепла внутри теплозащитных покрытий. Термическое сопротивление слоя термоизоляции. Нестационарная теплопроводность в многослойных конструкциях. Приближенные методы расчета нагрева тонкостенных конструкций с термоизоляцией. Аэротермохимическое разрушение термоизоляции. Методы экспериментального исследования теплозащитных покрытий и материалов, применяемых в летательных аппаратах, в условиях интенсивного теплового воздействия. Методы и особенности тепловых испытаний конструкций летательных аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аэрогидромеханика: Учеб. для вузов / Е.Н. Бондарев, В.Т. Дубасов, Ю.А. Рыжов и др. М.: Машиностроение, 1993.
2. Зарубин В.С. Температурные поля в конструкциях летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1978.
3. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Т. 1, 2. М.: Физматгиз, 1963.
4. Краснов Н.Ф. Аэродинамика. Ч. 1, 2. М.: Высш. школа, 1980.
5. Краснов Н.Ф. Основы аэродинамического расчета. М.: Высш. школа, 1981.
6. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973.
7. Лунев В.В. Гиперзвуковая аэродинамика. М.: Машиностроение, 1975.
8. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высш. школа, 1967.
9. Основы прикладной аэрогазодинамики. Ч. 1, 2 / Н.Ф. Краснов и др. М.: Высш. школа, 1991.
10. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике / Под ред. В.К. Кошкина. М.: Машиностроение, 1975.
11. Тепловая защита / Ю.В. Полежаев и др. М.: Энергия, 1976.
12. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Иностран. л-ра., 1975.
13. Белов И.А., Исаев С.А. Моделирование турбулентных течений. СПб.: Балт. гос. тех. унив., 2001, 109с.
14. Wilcox D.C. Turbulence modeling for CFD. Book: DCW Industries Inc., 1998. 537с.

Программа разработана:

Профессор, к.т.н. Семенчиков Н.В.

Доцент, к.ф.-м.н. Попов С.А.

Зав. каф. 105

Зав. каф. 102

С.А. Попов

Ю.М. Игнаткин