

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ
ПО КОНКУРСНОЙ ГРУППЕ «ФАКТ МАШИНОСТРОЕНИЕ»
ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В АСПИРАНТУРУ**

Вступительное испытание проводится в форме собеседования.

Собеседование состоит из двух частей:

- собеседование по содержанию выпускной квалификационной работы, выполненной поступающим при окончании специалитета или магистратуры – в соответствии с частью I настоящей Программы;
- собеседование по общетеоретическим вопросам выбранной направленности обучения – в соответствии с частью II настоящей Программы.

ЧАСТЬ I

Вопросы по выпускной квалификационной работе поступающего
(магистратура или специалитет)

1. Основные положения.
2. Новизна.
3. Актуальность.

Направленность 2.5.14.

Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов

ЧАСТЬ II

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 , κ , 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 изоэнтропического сжатия. Изменение энтропии на скачке уплотнения. Параметры торможения за прямым скачком уплотнения. Теория косоугольного 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).
 - 1.6. Теория малых возмущений. Линеаризация основных уравнений динамики идеального газа. Решения линеаризованных уравнений газовой динамики.
 - 1.7. 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.
 - 1.8. 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.
 - 1.9. 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. Отрыв ламинарного и турбулентного слоя. Методы экспериментального исследования перехода и отрыва.

1.10. 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.
- 2.2. Профиль и крыло в дозвуковом потоке сжимаемого газа. Линейная теория крыла. Связь между аэродинамическими характеристиками крыла в сжимаемом и несжимаемом потоках.
- 2.3. Профиль и крыло при околосзвуковой скорости. Критическое число Маха. Законы подобия при околосзвуковых течениях. Аэродинамические характеристики профилей и крыльев при околосзвуковых скоростях.
- 2.4. 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.
- 2.5. 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.
- 2.6. 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 околосзвуковой 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.
- 2.7. 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.
- 2.8. 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.
- 2.9. Аэродинамические характеристики несущих винтов вертолета и пропеллеров. Несущий винт в режимах вертикального взлета и снижения. Режим вихревого

кольца. Самовращение. Несущий винт в режимах косо́го 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.
- 3.2. 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.
- 3.3. 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.
- 3.4. Теплообмен в разреженном газе. Теория теплообмена в разреженном газе. Режимы тепловых и динамических процессов. Теплообмен в свободномолекулярной и переходной областях течения.
- 3.5. Методы экспериментального исследования теплообмена.
- 3.6. 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.
- 3.7. 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.

4. Аэрофизический эксперимент. Аэродинамические трубы и стенды

- 4.1. Принципы моделирования условий обтекания летательных аппаратов (ЛА) в наземных лабораторных условиях. Параметры подобия Re , M , Pr , St , ...
- 4.2. Аэродинамические трубы (АДТ). Типы аэродинамических труб малых дозвуковых скоростей. Особенности обтекания моделей ЛА в дозвуковых аэродинамических трубах. Влияние индукции стенок на аэродинамические характеристики. Способы уменьшения индукции. Использование теории потенциальных течений для расчета элементов дозвуковых труб и индукции стенок.
- 4.3. Трансзвуковые аэродинамические трубы и их типы. Способы воспроизведения в АДТ натуральных чисел Re полета.
- 4.4. Сверхзвуковые АДТ. Волновой запуск. Основные элементы сверхзвуковых АДТ. Проблема конденсации влаги и воздуха в АДТ.
- 4.5. Гиперзвуковые АДТ. Типы гиперзвуковых труб. Ударные и импульсные аэродинамические трубы.
- 4.6. Основные физико-химические процессы в высокотемпературном воздухе. Проблемы релаксационных явлений при обтекании моделей и при течениях в соплах. Высокотемпературные установки: электродуговые нагреватели газа, плазмотроны, МГД - ускорители газа.

5. Метрологические основы измерений

- 5.1. Измерения как способ получения информации об окружающем мире. Роль Д.И. Менделеева в развитии отечественной метрологии.
- 5.2. Структура информационно-измерительного канала и характеристика основных элементов.
- 5.3. Аддитивная модель сигнала и помехи.
- 5.4. Преобразование измеряемой физической величины в электрический сигнал, датчики.
- 5.5. Физические явления, лежащие в основе преобразования датчиками измеряемых физических величин.
- 5.6. Преобразование сигналов в измерительном канале. Спектральные характеристики сигналов. Спектры случайных сигналов, шумовая полоса канала.

6. Техника и методика аэрофизических измерений

- 6.1. Погрешности измерений. Случайные погрешности измерений, источники, количественная оценка. Случайные погрешности косвенных измерений. Динамические погрешности измерений. Динамические погрешности измерений.
- 6.2. Структура измерительного канала и характеристики элементов.
- 6.3. Инвертирующий усилитель электрических сигналов. Неинвертирующий усилитель электрических сигналов. Дифференциальный усилитель электрических сигналов. Цифровой интегратор.
- 6.4. Фильтр низкой частоты первого порядка. Фильтр низкой частоты второго порядка. Цифровой фильтр первого порядка.
- 6.5. Дискретизация непрерывных сигналов по времени. Спектр дискретного сигнала. Восстановление дискретного сигнала, условие точности восстановления. Теорема Котельникова. Корректность восстановления дискретного сигнала. Дискретизация и восстановление синусоидального сигнала.
- 6.6. Измерение пульсирующих давлений, основные требования к характеристикам датчиков. Динамические характеристики датчиков для измерения пульсирующих давлений. Частотные и фазовые искажения, возникающие при измерении пульсирующих давлений датчиками. Влияние воздушного канала на частотные характеристики датчиков для измерения пульсирующих давлений.

7. Измерение суммарных и распределенных аэродинамических нагрузок

- 7.1. Оси координат. Аэродинамические коэффициенты.
- 7.2. Упругие элементы тензометрических весов для измерения продольной, боковой, нормальной аэродинамических сил и моментов тангажа, крена и рыскания.
- 7.3. Шестикомпонентные внутримодельные весы, влияние температуры и методы снижения температурной погрешности.
- 7.4. Динамические характеристики весов.
- 7.5. Развитие многоточечных приборов для определения распределения давления по моделям.
- 7.6. Миниатюрные внутримодельные датчики давления, устройство, принцип действия и основные характеристики.
- 7.7. Датчики для измерения пульсаций давления.
- 7.8. Бездренажный панорамный метод определения распределения давления. Люминесценция красителей, характеристики люминесцентного преобразователя давления. Принципы возбуждения и регистрации люминесценции.

8. Измерение температуры и тепловых потоков

- 8.1. Контактный и бесконтактный методы измерения температуры. Измерение температуры газовых потоков, инерционность приемников температуры.
- 8.2. Оптические методы измерения температуры газовых потоков и температуры поверхности моделей.
- 8.3. Метод регулярного режима. Калориметрические датчики тепловых потоков. Микрокалориметры с анизотропной теплоизоляционной втулкой. Термочувствительные покрытия.
- 8.4. Измерение тепловых потоков в гиперзвуковых установках кратковременного действия.

9. Теория автоматического регулирования и управления

- 9.1. Решение дифференциальных уравнений состояния линейных систем. Переходная матрица и матричная переходная функция.
- 9.2. Управляемость линейных систем с постоянными параметрами. Каноническая форма управляемости. Стабилизируемость. Матричная передаточная функция и частотная характеристика системы.
- 9.3. Связь импульсной переходной функции, передаточной функции и частотной характеристики системы. Нули и полюсы матричных передаточных функций.
- 9.4. Устойчивость автоматических систем. Алгебраические критерии устойчивости. Граница устойчивости.
- 9.5. Критерий Рауса-Гурвица. Критерий Михайлова и Найквиста.
- 9.6. Оптимальное восстановление состояния линейных систем. Оптимальные наблюдатели.
- 9.7. Стохастический подход к задаче наблюдения. Интегральная квадратичная форма как мера оптимального наблюдателя.
- 9.8. Дифференциальное уравнение для матрицы дисперсий ошибки восстановления. Структура и установившиеся свойства оптимального наблюдателя.
- 9.9. Детерминированная задача линейного оптимального управления. Постановка задачи оптимизации. Интегральный квадратичный критерий оптимальности.
- 9.10. Дифференциальное уравнение для матрицы оптимальных коэффициентов усиления. Стохастические задачи линейного оптимального регулирования.
- 9.11. Синтез стохастического линейного оптимального регулятора. Структура оптимального регулятора.

10. Случайные процессы

- 10.1. Определение случайного процесса (функции), законов и моментов его (ее) распределения.
- 10.2. Виды и типы случайных процессов: дискретные, непрерывнозначные, стационарные, нормальные, марковские.
- 10.3. Сложение, дифференцирование, интегрирование случайных процессов. Эргодическое свойство случайных процессов. Спектральная плотность.
- 10.4. Преобразование случайных процессов линейными и нелинейными динамическими системами. Метод корреляционной матрицы и статистической линеаризации.

11. Общая теория измерений

- 11.1. Точечные методы оценки параметров распределений (метод максимума правдоподобия, метод моментов, метод наименьших квадратов).
- 11.2. Доверительное оценивание параметров нормальной линейной регрессии.
- 11.3. Понятие статистической гипотезы. Общий метод построения критериев согласия.
- 11.4. Общая линейная гипотеза нормальной регрессии. Оптимальные оценки измеряемых скалярных величин с известным законом распределения.
- 11.5. Понятие о цифровых методах анализа временных рядов (фильтрация, сглаживание, оценка ковариационной функции и функции плотности спектра).
- 11.6. Постановка задачи планирования эксперимента по оценке параметров регрессионной модели.

12. Летные исследования

- 12.1. Роль летных исследований в создании авиационной техники. Опережающие летные исследования по формированию основных концепций создания перспективных летательных аппаратов.
- 12.2. Исследования по проблемам аэродинамики, устойчивости, управляемости, маневренности и др. Летящие лаборатории, самолеты-аналоги, летающие модели.
- 12.3. Информационное обеспечение летного эксперимента. Измерительные средства. Необходимый состав измеряемых параметров и характеристики информационно-измерительных систем при различного рода летных исследованиях.
- 12.4. Основные типы датчиков первичной информации. Статические и динамические характеристики датчиков и их влияние на методику выполнения эксперимента.
- 12.5. Системы сбора и передачи информации. Радиотехнические и оптические средства внешнетраекторных измерений (ВТИ).
- 12.6. Использование спутниковых технологий и летающих самолетных измерительных комплексов в глобальных системах ВТИ.
- 12.7. Новые информационные технологии: базы данных, базы знаний, информационно-справочные и экспертные системы. Глобальные информационные сети.
- 12.8. Обеспечение безопасности летного эксперимента. Технические средства и методы повышения безопасности полетов: сигнализаторы и индикаторы опасных режимов; выбор ограничений на параметры движения; последовательность выполнения режимов. Особые указания экипажу.

Литература

1. Валландер С.В. Лекции по гидроаэромеханике: Учеб. Пособие/ Под ред. Н.Н. Полякова.-2-е изд. — СПб.: Изд-во. С-Петербург. ун – та, 2005. — 304 с.
2. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. I. 4-е изд. — М.: Лань, 2004, т.1 536с, и т2. — 584 с.

3. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч. I, II. М.: Физматгиз, 1963.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. 3-е изд. М.: Наука, 1986.
5. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. РХД, 2000.
6. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. М.: Мир, 1977.

Направленность 2.5.12.

Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов

ЧАСТЬ II

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 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 косого 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. 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 околосвуковой скорости. Критическое число Маха. Законы подобия при околосвуковых течениях. Аэродинамические характеристики профилей и крыльев при околосвуковых 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 околосвуковой 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 косо 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.

Основная 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.: Иностр. л-ра., 1975.

Направленность 2.5.16.

Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов

ЧАСТЬ II

1. Теория автоматического регулирования и управления

- 1.1. Решение дифференциальных уравнений состояния линейных систем. Переходная матрица и матричная переходная функция.
- 1.2. Управляемость линейных систем с постоянными параметрами. Каноническая форма управляемости. Стабилизируемость. Матричная передаточная функция и частотная характеристика системы.
- 1.3. Связь импульсной переходной функции, передаточной функции и частотной характеристики системы. Нули и полюсы матричных передаточных функций.
- 1.4. Устойчивость автоматических систем. Алгебраические критерии устойчивости. Граница устойчивости.
- 1.5. Критерий Рауса-Гурвица. Критерий Михайлова и Найквиста.
- 1.6. Оптимальное восстановление состояния линейных систем. Оптимальные наблюдатели.
- 1.7. Стохастический подход к задаче наблюдения. Интегральная квадратичная форма как мера оптимального наблюдателя.
- 1.8. Дифференциальное уравнение для матрицы дисперсий ошибки восстановления. Структура и установившиеся свойства оптимального наблюдателя.
- 1.9. Детерминированная задача линейного оптимального управления. Постановка задачи оптимизации. Интегральный квадратичный критерий оптимальности.
- 1.10. Дифференциальное уравнение для матрицы оптимальных коэффициентов усиления. Стохастические задачи линейного оптимального регулирования.
- 1.11. Синтез стохастического линейного оптимального регулятора. Структура оптимального регулятора.

2. Классическое вариационное исчисление.

Постановки задач вариационного исчисления. Общая форма первой вариации. Основная лемма вариационного исчисления. Уравнения Эйлера-Лагранжа. Уравнение Остроградского. Задачи с подвижным правым (левым) концом. Условия трансверсальности. Условия Эрдмана-Вейерштрасса. Односторонние вариации. Поле экстремалей. Сопряженная точка. Условие и уравнение Якоби. Функция Вейерштрасса. Сильный и слабый экстремумы. Необходимые и достаточные условия оптимальности для простейшей задачи вариационного исчисления. Условие Лежандра. Вариационные задачи на условный экстремум. Голономные и неголономные связи. Изопараметрические задачи.

3. Принцип максимума Понтрягина для задач оптимизации управления динамическими системами.

Математическая формулировка задач оптимального управления динамической системой. Задачи Лагранжа, Майера, Больца. Классический подход к определению оптимальных программ. Гамильтониан. Необходимые условия оптимальности в этом подходе. Игольчатые вариации управления. Принцип максимума Понтрягина для решения задач со свободным правым концом и фиксированным временем. Вариации траектории и конус конечных вариаций фазового вектора. Необходимые условия оптимальности в принципе максимума. Принцип максимума Понтрягина в задачах с фиксированным и нефиксированным временем и подвижным правым концом. Условия трансверсальности. Непрерывность гамильтониана. Условие Лежандра – Клебша. Принцип максимума Понтрягина для задач Лагранжа, Майера, Больца с различными типами условий на управление и траекторию. Дискретный принцип максимума. Энергетический подход и метод сингулярных возмущений для оптимального планирования траекторий самолётов при решении транспортных задач.

4. Методы решения двухточечных краевых задач.

Метод Ньютона, методы прогонки, Абрамова, Крылова-Черноузько. Метод прогонки для линейно-квадратичной задачи оптимального управления. Уравнение Риккати.

Литература

1. Моисеев Н.Н., Иванюков Ю.П., Столярова Е.М. Методы оптимизации. Изд. Наука, 1981.
2. Кюнцли Г.П., Крелле В. Нелинейное программирование. Изд. Советское радио, 1965.
3. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. Изд-во УРСС научной и учебной литературы, 2002.
4. Алексеев В. М., Тихомиров В. М., Фомин С. В. Оптимальное управление. Изд. Наука, 1979.
5. Брайсон А., Ю - ши Хо. Прикладная теория оптимального управления. Изд. Мир, 1972.
6. Моисеев Н.Н. Численные методы в теории оптимальных систем. Изд. Наука, 1971.
7. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. Изд. Физматгиз, 1961.

8. Блисс Г.А. Лекции по вариационному исчислению. Изд. ИЛ, 1950.