

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО КОНКУРСНОЙ ГРУППЕ  
«ФАКТ АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА»  
ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В АСПИРАНТУРУ**

**АННОТАЦИЯ**

Настоящая программа вступительного испытания по направлению **24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника** разработана в соответствии с Правилами приема в аспирантуру, утвержденными приказом ректора МФТИ от 31.03.2017 г. № 300-1.

Вступительное испытание проводится в форме собеседования с поступающим в аспирантуру по одной из конкурсных групп физтех-школы ФАКТ, в соответствии с указанными в заявлении направлением, направленностью и базовой кафедрой.

Собеседование состоит из трех 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;
- собеседование по теоретическим вопросам профильным для выбранной обучающей кафедры – в соответствии с частью III (вариативной) настоящей Программы.

В рамках конкурсной группы «ФАКТ Авиационная и ракетно-космическая техника» проводятся вступительные испытания для следующих направленностей обучения в аспирантуре:

- 01.02.05 Механика жидкости, газа и плазмы;
- 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела;
- 05.13.01 Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям);
- 05.07.01 Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов;
- 05.07.03 Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов;
- 05.07.09 Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Теоретические разделы программы вступительного испытания (Часть II и Часть III) сформированы на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам профильных специалитета и магистратуры в соответствии с п. 31 «Порядка приема на обучение по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре», утвержденным приказом Минобрнауки РФ от 12.01.2017 г. №13.

## ЧАСТЬ I

### Вопросы по выпускной квалификационной работе поступающего (магистратура или специалитет)

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

### Направленность 01.02.05 Механика жидкости, газа и плазмы ЧАСТИ II-III

Программа ориентирована на кафедры **физической механики, тепловых процессов, прикладной механики, термогидромеханики океана, космических летательных аппаратов.**

#### 1. Общие понятия механики сплошной среды

- 1.1. Понятие сплошной среды. Микроскопические, статистические и макроскопические феноменологические методы описания свойств, взаимодействий и движений материальных сред.
- 1.2. Переменные Эйлера и Лагранжа. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета в ньютоновской механике.
- 1.3. Многокомпонентные смеси. Потoki диффузии. Уравнения неразрывности в форме Эйлера для многокомпонентных смесей.
- 1.4. Скорость изменения характеристик жидкой частицы и жидкого объема. Интегральная запись законов сохранения. Сохранение массы, уравнение неразрывности в переменных Эйлера и Лагранжа.
- 1.5. Закон сохранения импульса. Массовые и поверхностные силы. Свойства поверхностных сил. Формула Коши. Уравнение движения в напряжениях. Уравнения Эйлера. Баротропность.
- 1.6. Уравнение притока тепла. Вектор потока тепла. Дифференциальные уравнения энергии и притока тепла. Законы теплопроводности Фурье. Различные частные процессы: адиабатический, изотермический и др.
- 1.7. Обратимые и необратимые процессы. Совершенный газ. Цикл Карно. Второй закон термодинамики. Энтропия и абсолютная температура. Некомпенсированное тепло и производство энтропии. Неравенство диссипации, тождество Гиббса. Диссипативная функция. Основные макроскопические механизмы диссипации. Понятие о принципе Онзагера. Уравнения состояния. Термодинамические потенциалы двухпараметрических сред.
- 1.8. Закон сохранения момента импульса. Симметрия тензора напряжений.
- 1.9. Вихревые теоремы. Теорема Томсона о циркуляции. Теорема Лагранжа о сохранении потенциальности. Интегралы Коши-Лагранжа, Бернулли.
- 1.10. Потенциальные движения. Свойства потенциала. Постановка задач об обтекании тел. Обтекание шара.
- 1.11. Применение методов теории аналитических функций комплексного переменного для решения плоских задач гидродинамики и аэродинамики: понятия функции тока, комплексного потенциала. Однородный поток, источник, вихревая точка. Обтекание тел. Стационарное обтекание жидкостью кругового цилиндра и профиля.
- 1.12. Метод конформных отображений. Гидродинамические реакции на движущиеся тела. Формулы Блазиуса - Чаплыгина, теорема Жуковского. Обтекание пластины. Правило Жуковского и Чаплыгина определения циркуляции вокруг крыльев с острой задней кромкой. Нестационарное обтекание профилей.

## **2. Механика жидкости**

- 2.1. Применение интегральных соотношений к конечным объемам среды при установившемся движении. Теория реактивной тяги и теория идеального пропеллера.
- 2.2. Волны на воде. Кинематическое и динамическое условия на свободной поверхности жидкости. Линейные волны. Волны в бассейне конечной глубины. Длинные, короткие волны.
- 2.3. Фазовая и групповая скорость. Дисперсия волн. Перенос энергии прогрессивными волнами. Теория мелкой воды. Уравнения Буссинеска и Кортевега-де-Вриза. Нелинейные волны. Солитон
- 2.4. Уравнения движения в форме Лагранжа. Волны Гестнера.
- 2.5. Задача о движении тел в идеальной жидкости. Присоединенные импульс и момент импульса. Тензор присоединенных масс. Уравнение движения шара.
- 2.6. Тензор скоростей деформации. Связь тензоров напряжений и скоростей деформации. Ньютонова жидкость. Уравнения Навье-Стокса. Среда с другими реологическими соотношениями.
- 2.7. Точные решения уравнений вязкой жидкости: диффузия вихревого слоя и вихревой нити, течение Пуазейля, течение между двумя вращающимися цилиндрами. Течение в трубе эллиптического сечения. Течение вязкой жидкости в диффузоре. Диффузия вихря
- 2.8. Уравнения Навье-Стокса в безразмерном виде. Числа Струхала, Эйлера, Фруда, Рейнольдса. Подобие гидродинамических явлений.
- 2.9. Приближенные решения при малых числах  $Re$ . Приближение Стокса и Осена. Задача о движении сферы в вязкой жидкости в постановке Стокса.
- 2.10. Приближенные решения при больших числах  $Re$ . Теряпогранслоя. Пример Фридрихса.
- 2.11. Ламинарный пограничный слой. Задача Блазиуса. Интегральные соотношения и основанные на их использовании приближенные методы в теории ламинарного пограничного слоя. Явление отрыва пограничного слоя. Устойчивость пограничного слоя. Теплообмен с потоком на основе теории пограничного слоя.
- 2.12. Гидравлические скачки в теории мелкой воды. Связь теории мелкой воды и газовой динамики.
- 2.13. Влияние сжимаемости на форму трубок тока при установившемся движении. Элементарная теория сопла Лаваля.
- 2.14. Уравнение Орра-Зоммерфельда для плоскопараллельных вязких течений.
- 2.15. Теорема Сквайра. Невязкая неустойчивость. Теоремы Релея.
- 2.16. Развитая турбулентность. Осреднение. Опыт Рейнольдса. Уравнения Рейнольдса. Проблема замыкания. Простейшие способы замыкания. Энергетический подход. Диссипация и обмен энергией между средним и турбулентным движениями. Полуэмпирические теории турбулентности.

## **3. Газовая динамика**

- 3.1. Одномерная газовая динамика. Распространение малых возмущений в сжимаемой жидкости. Волновое уравнение. Скорость звука.
- 3.2. Эффект Доплера. Конус Маха. Метод характеристик. Инварианты Римана. Задачи о поршне и о сильном взрыве в газе.
- 3.3. Возникновение скачков. Решения с разрывом. Уравнение Бюргера как модельное уравнение. Применение интегральных законов сохранения. Ударные волны в газовой динамике. Эффект опрокидывания волн. Адиабата Гюгонио.
- 3.4. Плоские стационарные сверхзвуковые течения газа. Течение Прандтля—Майера. Косой скачок уплотнения. Обтекание сверхзвуковым потоком газа клина и конуса. Понятие об обтекании тел газом с отошедшей ударной волной. Линейная теория обтекания тонких профилей и тел вращения. Течения с гиперзвуковыми скоростями. Закон сопротивления Ньютона.

#### **4. Детонация и горение**

- 4.1. Теория волн детонации и горения. Правило Жуге и его обоснование. Задача о структуре сильного разрыва. Качественное описание решения задачи о распаде произвольного разрыва.
- 4.2. Расчет температуры горения и состава продуктов сгорания. Основы химической кинетики. Классификация химических реакций. Закон действующих масс. Константы скоростей реакций. Энергия активации, порядок реакции.
- 4.3. Скорость неизотермической адиабатической реакции. Распространение пламени в однородной топливно-воздушной смеси. Задача о нормальном фронте пламени. Концентрационные пределы распространения пламени. Распространение пламени в турбулентном потоке.
- 4.4. Диффузионное горение газов. Структура факела горения, фронтальная модель горения. Детонационное горение, детонация Чепмена-Жуге.

#### **5. Физика плазмы**

- 5.1. 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. Уравнения импульса и притока тепла для проводящей среды.
- 5.2. Уравнения магнитной гидродинамики. Условия вмороженности магнитного поля в среду. Понятие о поляризации и намагничивании жидкостей.
- 5.3. 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.

#### **6. Приборы и методы измерения**

- 6.1. Лазерный доплеровский измеритель скорости. Фазодоплеровский метод измерения размеров и скоростей частиц. Метод PIV. Метод КАРС, метод лазерной индуцированной флюоресценции. Аналоговые и цифровые методы обработки случайных процессов.
- 6.2. 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.
- 6.3. Основные и производные единицы измерения. Системы единиц измерения. Класс систем единиц измерения. Размерность физической величины. Зависимые и независимые размерности. П-теорема.
- 6.4. Элементы подземной гидродинамики. Понятие пористости и проницаемости. Закон Дарси. Относительные фазовые проницаемости. Задача Баклея-Левретта.
- 6.5. Система дифференциальных уравнений подземной гидрогазодинамики. Неустановившаяся фильтрация газа. Примеры точных автомодельных решений.

#### **Литература**

1. Валландер С.В. Лекции по гидроаэромеханике: Учеб. Пособие/ Под ред. Н.Н. Полякова.-2-е изд. — СПб.: Изд-во. С-Петербур. 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 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела.  
ЧАСТЬ II-III**

Программа ориентирована на кафедры **теоретической и экспериментальной физики геосистем; прикладной механики.**

1. Теория деформированного состояния. Вектор перемещений. Тензор малых деформаций и малых поворотов. Главные инварианты тензора малых деформаций. Условия совместности Сен-Венана. Тензор скоростей деформаций.
2. Теория напряженного состояния. Массовые и поверхностные силы. Формула Коши. Тензор напряжений. Симметрия тензора напряжений. Главные инварианты тензора напряжений. Круговая диаграмма Мора.
3. Уравнение неразрывности. Уравнения равновесия и движения. Закон сохранения момента импульса и симметрия тензора напряжений.
4. Термодинамика деформируемого тела. Первое начало термодинамики (аксиома баланса энергии). Неравенство Клаузиуса-Дюгема. Диссипативные процессы.
5. Упругое тело. Выражение для тензора напряжений через производную термодинамического потенциала (внутренняя энергия, свободная энергия Гельмгольца) по тензору деформации. Обобщенный закон Гука для линейного термоупругого материала. Сокращение числа упругих постоянных. Связь между упругими постоянными изотропной упругой среды. Изотермический и адиабатический модули упругости. Общие теоремы теории упругости (единственности, взаимности, о минимуме энергии деформации). Теорема Кастильяно.
6. Постановка математических задач линейной теории упругости в перемещениях и напряжениях. Полуобратный метод Сен-Венана. Вариационные постановки задач теории упругости и основы прямых методов (Ритца, Бубнова-Галеркина).
7. Простейшие задачи теории упругости: деформация толстостенной трубы под действием внутреннего и внешнего давлений, кручение бруса кругового поперечного сечения, растяжение бруса под действием собственного веса, равновесие элемента пластинки, температурные напряжения в поллой сфере.
8. Плоские задачи теории упругости. Плоское напряженное и плоское деформированное состояния. Функция напряжений. Метод теории функций комплексного переменного в плоской задаче. Действие сосредоточенной силы на границу упругой полуплоскости.
9. Понятие о функции Грина. Элементарное решение первого и второго рода. Постановка контактной задачи Герца.
10. Изгиб балок. Внутренняя поперечная сила и внутренний изгибающий момент. Построение эпюр поперечной силы и изгибающего момента. Гипотеза плоских сечений. Геометрические характеристики сечений при изгибе. Нормальные и касательные напряжения при изгибе. Формула Журавского. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки.
11. Стержневые системы. Статически определимые и статически неопределимые системы. Методы расчета ферм и рам.
12. Кручение стержней с эллиптическим поперечным сечением. Деформация.
13. Устойчивость стержней. Понятие устойчивости. Энергетический метод анализа устойчивости. Формула Эйлера и ее применение.
14. Теоретическая прочность. Основные теории прочности. Хрупкое и квазихрупкоеразрушение. Энергетический критерий Гриффитса и силовой критерий Ирвина распространения трещины в упругом теле. Инвариантный интеграл Черепанова-Райса.

15. Идеальная пластичность. Изотропное и кинематическое упрочнение. Тензор пластических деформаций. Деформационная теория пластичности. Понятие о простом и сложном нагружении (деформации). Постановки задач в рамках малых упруго-пластических деформаций. Теорема о простом нагружении. Теорема единственности. Метод упругих решений. Метод переменных параметров упругости. Теорема о разгрузке. Полая сфера из идеально-пластического материала под внутренним давлением.
16. Теория пластического течения. Ассоциированный закон пластического течения. Критерии текучести Треска-Сен-Венана, Мизеса. Кулона-Мора, Друккера-Прагера.
17. Плоская задача теории течения. Понятие о линиях скольжения и их свойствах. Интегралы Генки. Сжатие полосы между шероховатыми плитами.
18. Линейная теория вязко-упругости. Принцип суперпозиции Больцмана. Модель Максвелла и Фойхта. Ядра релаксации и ползучести, функции релаксации и ползучести. Температурно-временная аналогия. Методы решения задач линейной теории термовязко-упругости: численные методы, методы, использующие преобразования Лапласа-Карсона; методы, основанные на следствиях из теорем о простом нагружении и простой деформации.
19. Два типа волн в упругой среде. Стержневая скорость звука. Кинематические и динамические условия на поверхности разрыва.

#### Литература

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. 10-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 1999. - 592 с.
2. Лейбензон Л.С. Курс теории упругости. Москва Ленинград : ОГИЗ Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1947.
3. Ильюшин А.А. Пластичность, ГТТИ, 1948 .
2. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. I. 4-е изд. - М.: Лань, 2004, т.1 536с, и т2. - 584 с.
1. Ильюшин А.А., Победря Б.Е. Основы математической теории термовязкоупругости. М.: «Наука», 1970.
2. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. - М.: Наука, 1988. - 712 с.
3. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости: Пер. с англ./Под ред. Г. С. Шапиро.- 2- изд.- М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979, 560 с.
4. Кондауров В.И., Фортов В.Е. Основы термомеханики конденсированной среды. М.: Изд-во МФТИ. 2002.
5. Москвитин В.В. Сопротивление вязкоупругих материалов (применительно к зарядам на твердом топливе).- М.: изд-во «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1972 г.
6. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. Учебник для студентов вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. -М.: Машиностроение, 1975

**Направленность 05.13.01 Системный анализ, управление  
и обработка информации  
ЧАСТЬ II**

**1. Математическое моделирования и оптимизация**

- 1.1. Основные понятия системного анализа. Характерные особенности сложных систем. Прогнозирование времени смены состояний у сложных систем как момент времени изменения интегральных характеристик. Границы принципа редукционизма.
- 1.2. Основные задачи, методы системного моделирования. Компоненты системного моделирования. Этапы моделирования. Формы моделирования: синтез, сборка, настройка модели, идентификация параметров.
- 1.3. Входящие, выходящие и управляющие переменные в системном моделировании, задачи и методы агрегирования и дезагрегирования. Чувствительность к управляющим переменным.
- 1.4. Выбор параметров при моделировании динамики сложных систем. Идентификация параметров в моделях. Зависимость результата моделирования от выбора параметров. Чувствительность к параметрам.
- 1.5. Трубки траекторий. Сценарные исследования. Оптимизация, уменьшение размерности. Интерпретация и представление результатов.
- 1.6. Традиционные методы системного анализа сложных систем. Матричные, системнодинамические, диффузные, стохастические модели.
- 1.7. Линейное программирование - постановка задачи. Алгоритм симплекс-метода.
- 1.8. Байесовский метод. Априорные и апостериорные распределения параметров: непрерывный и дискретный случаи.
- 1.9. Метод максимального правдоподобия и его связь с максимумом апостериорной вероятности в байесовском оценивании в асимптотическом случае.
- 1.10. Идентификация параметров моделей на примере идентификации параметров в модели парной линейной регрессии и однородной производственной функции Кобба-Дугласа. Идентификация параметров в модели линейной регрессии с автокоррелированными ошибками первого и второго порядков.

**Литература**

1. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. М.: Финансы и статистика, 2006.- 386 с.
2. Аоки М. Введение в методы оптимизации. Основы и приложения нелинейного программирования, М.: Наука, 1977. - 344 с.
3. Афанасьев М.Ю. Исследование операций в экономике: модели, задачи, решения / М.Ю. Афанасьев, Б.П. Суворов. – М.: Инфра-М, 2003.
4. Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач. М.: Наука, 1988. - 552 с.
5. Геловани В.А., Бритков В.Б, Дубовский С.В. СССР и Россия в глобальной системе: «1985-2030» (Результаты глобального моделирования). Москва, Книжный дом «Либроком», 2012. - 320 с. (Будущая Россия).
6. Зайченко Ю.П. Исследование операций. К.: Выща школа. 1988. - 552 с.
7. Зельнер А. Байесовские методы в эконометрии / Пер. с англ. Г. Г. Пирогова и Ю. П. Федоровского; С предисл. Переводчиков. – М.: Статистика», 1980. – 438 с., ил.
8. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория. М.: Айрис пресс, 2002. – 576 с.
9. Кротов В.Ф. и др. Основы теории оптимального управления. М.: Высшая школа, 1990. – 430 с.
10. Лагоша Б.А. Оптимальное управление в экономике. - М.: Финансы и статистика, 2003. – 192 с.



11. Майер-Шенбергер В. Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим / Виктор Майер-Шенбергер, Кеннет Кукьер; пер. с англ. Инны Гайдюк. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. – 240 с.
12. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981, 487 с.
13. Осипов Г.С. Лекции по искусственному интеллекту. - М.: КРАСАНД, 2009. - 272 с.
14. Понтрягин Л.С. и др. Математическая теория оптимальных процессов. 1969. 384 с.
15. Ширяев В.И., Баев И.А., Ширяев Е.В. Экономико-математическое моделирование управление фирмой. М.: КомКнига, 2007. – 224 с.

### **ЧАСТЬ III**

Вариативная часть программы вступительного испытания по кафедре **логистических систем и технологий.**

#### **1. Общие положения**

- 1.1. Численные методы для сэмплирования апостериорных функций плотностей вероятностей; алгоритмы Метрополиса – Хастинга (TheMetropolis-Hastings (M-H) algorithms) на основе методов Монте-Карло по схеме Марковской цепи (MCMC, MarkovChainMonteCarlomethods); выбор сэмплов с минимальной корреляцией; зависимость эффективности сэмплирования от размерности задачи.
- 1.2. Непараметрические методы статистики; оптимальный размер окна; ядерное сглаживание; скорость сходимости.
- 1.3. Понятие задачи многокритериальной оптимизации. Доминирование по Парето, решение задач многокритериальной оптимизации. Достаточные условия существования решения.
- 1.4. Свёртки критериев. Линейная свёртка, свёртка Гермейера. Свёртки на основе идеальной точки.
- 1.5. Условия оптимальности в задачах многокритериальной оптимизации. Эффективно выпуклые и невыпуклые задачи.
- 1.6. Устойчивость в задачах многокритериальной оптимизации. Устойчивость паретовой и слейтеровой границ.
- 1.7. Методы многокритериальной оптимизации в системах поддержки принятия решений. Классификация методов многокритериальной оптимизации.

#### **2. Методы DataMining**

- 2.1. Гауссова модель случайных данных, разделимые Гауссовы распределения и дискриминантный анализ. Оценки параметров Гауссовых распределений по методу наибольшего правдоподобия.
- 2.2. Модель дискретных данных – дерево классификации. Энтропия, как мера информативности дискретных атрибутов (InformationGain). Выбор атрибута расщепления дерева классификации на основе его информативности.
- 2.3. Деревья классификации для атрибутов с непрерывными значениями. Расщепляющие значения и дискретизация атрибутов. Gini-индекс информативности дискретных атрибутов и его модификация на случай категориальных атрибутов.
- 2.4. Обучение в модели Байеса. Наивный Байесовский вывод и Байесовская классификация.
- 2.5. Меры расстояния. Иерархическая кластеризация. Кластеризация на заданное число кластеров. Нечеткая кластеризация. Спектральная кластеризация
- 2.6. Факторный анализ (снижение размерности). Анализ главных компонент на основе ковариационной матрицы. Обобщенный анализ главных компонент.
- 2.7. Сингулярный спектральный анализ прямоугольных матриц (SVD-разложение) и фиксация ранга матриц. Эмпирические ортогональные функции. Реализация анализа

главных компонент на основе SVD-разложения матрицы данных. Оценка вариаций главных компонент.

2.8. Скрытые переменные и дважды случайные процессы, описываемые смесями Гауссовых распределений (GMM-модель). Алгоритм ожидания и максимизации правдоподобия (EM-алгоритм). Оценка параметров GMM-модели посредством Алгоритма ожидания и максимизации правдоподобия (EM-алгоритма) и кластеризация.

2.9. Анализ случайных процессов на основе скрытых Марковских моделей с конечным числом состояний и Гауссовой эмиссией. Алгоритмы прямой и обратной рекурсии.

2.10. Алгоритм Витерби.

2.11. Линейная регрессия по максимальному правдоподобию. Логистическая регрессия.

2.12. Машины опорных векторов (SVM-машины).

2.13. Алгоритм RANSAC.

2.14. Персептрон и нейронные сети. Самоорганизующиеся карты Кохонена.

2.15. Вейвлет-преобразование временных рядов. Стационарное дискретное вейвлет-преобразование и удаление окрашенного шума из временных рядов.

2.16. Сингулярный спектральный анализ матриц данных и удаление шума из временных рядов (метод «Гусеница»). Обнаружения внезапных изменений во временных рядах. Прогнозирование временных рядов.

2.17. Динамическое выравнивание временных рядов (DTW).

2.18. Линейные динамические системы и фильтр Калмана. Сглаживатель Рауха. Оценка параметров линейных динамических систем.

2.19. Нелинейный фильтр Калмана. Радиальные базисные функции. Оценка параметров нелинейных динамических систем.

2.20. Обнаружение паттернов во временных рядах и методы снижения размерности пространства поиска

2.21. Многомерные случайные величины с не Гауссовыми распределениями. Линейная модель смешивания и Анализ независимых компонент многомерных временных рядов (не Гауссов факторный анализ). Алгоритмы FastICA и SOBI для выделения статистически независимых компонент многомерных временных рядов.

### **3. Управление и обработка информации в системах управления**

3.1. Предмет теории управления. Объект управления. Цель управления. Система управления. Внешняя среда. Структура системы управления. Процессы и функции управления. Понятия регулирования и адаптивного управления. Показатели качества управления. Критерии эффективности и оптимальности.

3.2. Методы обработки измерений в системах управления. Роль измерений в системах автоматического управления. Понятия сигналов и процессов. Спектральная плотность и корреляционная функция сигналов. Понятие белого шума.

3.3. Задачи оценивания состояния объекта управления. Задачи интерполяции, фильтрации и экстраполяции. Математическая постановка задачи фильтрации. Фильтр Калмана для дискретного случая.

3.4. Задачи оценивания состояния объекта управления. Задачи интерполяции, фильтрации и экстраполяции. Математическая постановка задачи фильтрации. Фильтр Калмана для непрерывного случая.

3.5. Оптимальное управление. Классификация задач оптимального управления. Метод множителей Эйлера-Лагранжа. Принцип максимума Понтрягина. Теорема разделения. Линейный регулятор.

3.6. Игровые задачи управления. Матричные игры. Оптимальные стратегии. Чистые и смешанные стратегии. Теорема Неймана.

3.7. Игровые задачи управления. Биматричные игры. Оптимальные стратегии. Чистые и смешанные стратегии. Теорема Нэша. Равновесная точка.

- 3.8. Выбор (принятие решений). Классификация задач выбора. Критериальный язык описания выбора. Многокритериальные задачи. Групповой выбор. Парадокс Эрроу.
- 3.9. жизненный цикл продукции; стадии и этапы жизненного цикла; цели и задачи управления жизненным циклом; показатели качества изделия; надежность, готовность, ремонтпригодность, технологичность, стоимость изделия; участники жизненного цикла.
- 3.10. стадия разработки; концептуальное проектирование; эскизное проектирование; разработка и испытания прототипа; техническое проектирование; комплексирование компонент и испытания опытного образца; управление конфигурацией на стадии разработки.
- 3.11. информационная поддержка изделия; требования к информационной поддержке изделия в рамках системы управления жизненным циклом; состав и структура данных; роль электронных моделей; жизненный цикл моделей; создание интегрированной информационной среды.

#### **4. Элементы экономического моделирования и теории принятия решений**

- 4.1. Мультипликативная функция Кобба-Дугласа.
- 4.2. Модели Марковица и Шарпа.
- 4.3. Математическая модель Солоу.
- 4.4. Уравнение Слуцкого.
- 4.5. Модель Кейнса.
- 4.6. Равновесие Курно.
- 4.7. Равновесие Стакельберга.
- 4.8. Модель Харрода–Домара.
- 4.9. Модель цен Самуэльсона.
- 4.10. Задачи исследования операций.
- 4.11. Классификация задач принятия решений, предложенная Г. Саймоном.
- 4.12. Классификация многокритериальных методов принятия решений. Многокритериальная теория полезности (основные этапы).

#### **Литература**

1. Р.Л. Кини, Х. Райфа Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981.
2. О.И. Ларичев Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2002.
3. Дронов С.В. Многомерный статистический анализ. Барнаул: Изд. Алтайского ГУ. 2003.
4. Башмаков А.И., Башмаков И.А. Интеллектуальные информационные технологии: Учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 304 С.
5. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 816 с. - ISBN 5-9221-0707-0.
6. Введение в эконометрику / Джеймс Сток, Марк Уотсон; пер. с англ.; под науч. Ред. М.Ю. Турунцевой. – М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. – 864 с. – (Серия «Академический учебник»).
7. Микроэконометрика: методы и их применения. Книга 2 / Э. Колин Кэмерон, Правин К. Триведи; перевод с англ.; под научн. Ред. Б. Демешева. – М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. – 664 с. – (Серия «Академический учебник»).
8. Автоматизированные информационные технологии в экономике / Под ред. Г.А. Титоренко. М.: Компьютер, ЮНИТИ, 2008.
9. Баронов В.В. и др. Автоматизация управления предприятием. М.: Инфра-М, 2000.
10. Марк Д., МакГоуэн К. Методология структурного анализа и проектирования. М.: Метатехнология, 1993.
11. Косяков А., Свит У. и др. Системная инженерия. Принципы и практика. Пер с англ. под ред. В.К. Батоврина. – М.: ДМК Пресс, 2014.

12. Шаламов А.С. Интегрированная логистическая поддержка наукоемкой продукции – М.: Университетская книга, 2012.
13. Яблочников Е.И., Фомина Ю.Н., Саломатина А.А., Гусельников В.С.. Методы управления жизненным циклом приборов и систем в расширенных предприятиях. Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2009.
14. Погорелов, В.И: Система и ее жизненный цикл: введение в CALS-технологии: учебное пособие, М-во образования и науки Российской Федерации, Балтийский гос. технический ун-т "Военмех", СПб: БГТУ, 2010.
15. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. — М.: URSS, 2016. — 360 с.
16. Ларичев О. И. Вербальный анализ решений. — М.: Наука, 2006.— 181 с.

### **ЧАСТЬ III**

Вариативная часть программы вступительного испытания по кафедре **систем, устройств и методов геокосмической физики.**

#### **1. Принципы построения и функционирования современных космических информационных систем**

- 1.1. Понятия о криптографических методах защиты информации. Криптографические протоколы и алгоритмы. Основы криптоанализа. Аппаратные средства криптозащиты.
- 1.2. Основные задачи современных КИС (спутниковые системы связи, навигационные системы и информационные системы дистанционного зондирования Земли).
- 1.3. Спутниковые системы связи.
- 1.4. Физические принципы обеспечения космической связи. Основные элементы бортового и наземного сегментов. Виды орбит космических аппаратов, обеспечивающих спутниковую связь.
- 1.5. Спутниковые навигационные системы. Общая структура и принципы построения СНС. Космический и наземный сегменты. Методы измерения навигационных параметров. Основные навигационные алгоритмы. Понятие о дифференциальном режиме функционирования СНС. СНС ГЛОНАСС, GPS и GALILEO.
- 1.6. Спутниковые системы дистанционного зондирования (ДЗ). Общая характеристика методов ДЗ. Физические принципы функционирования и физико-технические возможности пассивных и активных систем ДЗ. Понятия о пространственном, спектральном, радиометрическом и временном разрешениях спутниковых систем ДЗ. Современные спутниковые системы ДЗ низкого, среднего и высокого пространственного разрешения. Мультиспектральные и гиперспектральные системы ДЗ. Примеры применения спутниковых систем ДЗ в задачах мониторинга атмосферы, поверхности Земли, морей и океанов.

#### **2. Системное проектирование космических информационных систем (КИС).**

- 2.1. Архитектура и иерархия построения КИС. Схема деления. Функциональный анализ и синтез КИС.
- 2.2. Модульное проектирование. Понятие об устойчивом проектировании. Технологическая готовность.
- 2.3. Понятия о системных рисках. Принципы и методы обеспечения надежности КИС.
- 2.4. Валидация и верификация результатов системного проектирования КИС.
- 2.5. Технологические этапы управления процессом выполнения проектных работ: сетевые графики, контроль исполнения, формы отчетности.

#### **3. Предмет и основные понятия космических информационных систем ДЗ**

- 3.1. Принципы дистанционных исследований. Связь дистанционной информации с характеристиками изучаемых явлений и процессов. Космические и авиационные системы дистанционного зондирования (ДЗ). Достоинства космической информации. Вседоступность. Оперативность. Глобальность.
- 3.2. Задачи ДЗ атмосферы, поверхности Земли. Земля как единая экологическая система. Роль дистанционных исследований в изучении природной среды в глобальном масштабе и воздействия на нее антропогенных факторов.
- 3.3. Задачи дистанционного контроля и разведки объектов на поверхности Земли и в атмосфере.
- 3.4. Современные системы ДЗ. Системный подход к дистанционным исследованиям. Пространственное, спектральное, радиометрическое и временное разрешение. Перспективы развития космических систем дистанционного зондирования.

#### **4. Природа электромагнитного излучения. Взаимодействие излучения с веществом.**

4.1. Теория электромагнитного излучения. Уравнение Максвелла. Волновое уравнение и его решения. Поляризация. Поток энергии. Энергетические и фотометрические величины. Отражение и преломление света. Классическая теория излучения, поглощения и дисперсии. Тепловое излучение. Абсолютно черное тело (АЧТ). Законы Стефана-Больцмана, Планка, формулы Вина и Релея-Джинса. Законы излучения АЧТ для среды, отличной от вакуума. Законы АЧТ для конечных спектральных интервалов. Излучательная способность и радиояркостная температура.

4.2. Взаимодействие излучения с веществом в оптическом диапазоне. Уравнение переноса излучения для поглощающей, излучающей и рассеивающей среды. Уравнение переноса при наличии поляризации. Вектор-параметр Стокса. Приближение локального термодинамического равновесия. Связь результатов дистанционных наблюдений со свойствами наблюдаемых явлений.

4.3. Лазерное дистанционное зондирование. Лидарное уравнение для рассеяния. Лидарное уравнение для дифференциального поглощения. Лидарное уравнение для флюоресцирующего объекта.

4.4. Излучательные, поглощательные и отражательные свойства нечерных поверхностей. Особенности спектральных характеристик отражения природных и антропогенных образований в оптическом диапазоне спектра. Спектральные и рассеивающие свойства минералов, горных пород и почв. Спектральные свойства растительности. Характеристики, связанные с содержанием влаги. Спектральные свойства крио- и водных сред.

4.5. Взаимодействие излучения с веществом в СВЧ-диапазоне. Особенности дистанционных методов зондирования в СВЧ-диапазоне. Чувствительность к геометрии поверхности. Чувствительность к содержанию воды. Уравнение радиолокации. Основные характеристики сигнала обратного рассеяния. Рассеяние излучения природными объектами (угловые и спектральные зависимости, поляризационные характеристики).

4.6. Пассивное дистанционное зондирование в СВЧ-диапазоне. Модели радиометрической температуры (гладкая и шероховатая поверхности). Яркостная температура природных образований.

#### **5. Роль атмосферы в дистанционных исследованиях Земли**

5.1. Характеристика атмосферы. Состав. Газы. Аэрозоли. Облака. Туман. Дымка. Перенос излучения в рассеивающей и поглощающей среде. Поглощение излучения газами. Рассеяние на молекулах газа и частицах аэрозоля. Релеевское рассеяние. Рассеяние Ми. Закон Ламберта-Бугера. Оптическая толщина. Модели аэрозольной атмосферы. Метеорологическая дальность видимости.

5.2. Методы расчета прозрачности атмосферы. Метод "line-by-line". Методы моделирования полос (модель Эльзассера, статистическая модель или модель Мейера-Гуди). Эмпирические методы с использованием модели полос ("агрегатный" метод, модель "Lowtran"). Двухпараметрический метод Куртисса-Годсона.

5.3. Атмосферная турбулентность. Дифракция на однородных зонах. Структурная функция. Структурная постоянная. Оптическая передаточная функция турбулентной атмосферы. Случайная составляющая длительной и короткой экспозиции. Измерения турбулентности.

5.4. Яркостные (радиационные) характеристики Земли из космоса. Отраженное и тепловое излучение. Облученность Земной поверхности. Прямое солнечное излучение. Излучение небосвода. Зависимость от высоты Солнца над горизонтом и геометрии наблюдения. Яркость Земли из космоса. Излучение от участка поверхности. Вклад атмосферы. Учет рассеянного излучения. Особенности процессов переноса излучения в атмосфере Земли в инфракрасном и СВЧ-диапазонах.

## **6. Регистрация электромагнитного излучения.**

6.1. Классификация механизмов селективного фотоприема. Фотонные эффекты. Тепловые эффекты. Эффекты волнового взаимодействия. Основные типы твердотельных фотоприемников. Фотодиоды. Барьеры Шотки. Фоторезисторы собственные и примесные. Приборы с зарядовой инжекцией.

6.2. Основы физики приборов с зарядовой связью (ПЗС). Принцип хранения и переноса заряда. Основные типы ПЗС-структур. Перенос заряда и частотные свойства. ПЗС с объемным каналом и виртуальной фазой. Неэффективность переноса заряда в ПЗС. Темновой ток. Методы ввода и детектирования заряда. Линейные и матричные ПЗС.

6.3. Характеристики приемников оптического излучения. Светосигнальная характеристика. Квантовая характеристика. Квантовая эффективность. Спектральная характеристика чувствительности. Спектральный коэффициент поглощения излучения. Длинноволновая граница чувствительности. Активные энергетические характеристики. Частотные свойства приемников излучения, постоянная времени фотоотклика. Функция передачи модуляции (ФПМ). Геометрическая ФПМ. Диффузная ФПМ. ФПМ неэффективности переноса в ПЗС.

6.4. Шумы. Основные источники шумов. Пороговая облученность. Удельная обнаружительная способность. Спектральная плотность шума полупроводниковых фотоприемников. Шумы в многоэлементных ПЗС-фотоприемниках. Шум переноса заряда. Шум выходного устройства. Геометрический шум. Влияние охлаждения. Достоинства в случае приема изображения при низких уровнях облученности.

6.5. Дискретизация изображения многоэлементным фотоприемником. Теорема Котельникова. Визуальное проявление эффектов выборки. Редукция пространственных частот и ФПМ многоэлементных приемников. Муар-эффект. Описание эффекта искажения сигнала с помощью "ФПМ фазы". Тестирование многоэлементных фотоприемников. Реакция системы на прямоугольную мишу. Связь с ФПМ.

## **7. Теория линейной фильтрации. Сигналы и помехи в системах приема электромагнитного излучения.**

7.1. Детерминированные сигналы, способы их описания. Интеграл свертки. Преобразование Фурье и его функциональные свойства. Теорема свертки и оптическая передаточная функция (ОПФ). Анализ линейных систем формирования изображения с помощью преобразования Фурье. ОПФ оптических элементов. ОПФ типичных элементов информационного тракта систем дистанционного зондирования. Центральная предельная теорема при анализе линейных систем. Результирующая ОПФ.

7.2. Случайные сигналы и способы их описания. Случайные функции и поля. Числовые характеристики. Функция распределения и функции плотности вероятности. Стационарность, однородность, эргодичность. Автокорреляционная функция и спектральная плотность. Корреляционный и спектральный анализ. Виды одномерных спектров. Преобразование спектральной плотности линейными звеньями. Вероятностное описание непрерывных изображений.

## **8. Методы передачи и обработки информации, получаемой средствами ДЗ.**

8.1. Методы передачи изображений. Характеристики системы передачи изображений. Использование моделей зрения при кодировании изображений. Кодирование методом импульсной кодовой модуляции. Статистическое кодирование. Кодирование с предсказанием. Кодирование с преобразованием. Гибридное кодирование. Межкадровое кодирование с условным замещением. Сокращение избыточности бинарных изображений.

8.2. Методы обработки изображений. Представление изображений в цифровой форме. Дискретизация и восстановление непрерывных изображений. Математическое описание дискретных изображений. Линейные операторы. Оператор суперпозиции. Двумерные унитарные преобразования. Преобразование Фурье. Косинусное преобразование.

Синусное преобразование. Преобразование Адамара, Хаара. Сингулярное преобразование. Двумерные методы линейной обработки. Обработка с использованием преобразования. Суперпозиция с преобразованием. Свертка с использованием быстрого преобразования Фурье. Фильтры на основе преобразования Фурье.

8.3. Основные понятия геоинформатики. Общая характеристика геоинформационных систем (ГИС) как класса автоматизированных ИС. Сферы применения ГИС. Классификация ГИС по функциональным возможностям и территориальному охвату. Картографическая основа как средство интеграции и отображения данных. Технологии САПР как методологическая основа проектирования ГИС. Роль и место экспертных систем в ГИС-технологиях. Инструментально-программное обеспечение ГИС. ГИС и web-технологии. Применение данных ДЗ в ГИС-технологиях. Технологическая цепочка тематической обработки (ТО) данных космического ДЗ. Методы и средства представления растровых изображений

8.4. Методы классификации дистанционной информации. Геометрическая, радиометрическая и атмосферная коррекция. Алгоритмы расширения динамического диапазона дистанционного изображения. Применение условно-цветового кодирования изображения по данным спектральных каналов. Метод анализа главных компонентов или преобразование Карунена-Лоэва. Преобразование Каута-Томаса. Признаки многозональной информации (индекс почвы, вегетационный индекс, индекс влажности и др.). Учет временных характеристик, каскадная классификация. Морфометрический анализ в географических исследованиях. Обнаружение объектов определенной формы. Неконтролируемая классификация. Экспертные системы для данных ДЗ.

#### Литература

1. Гарбук С.В., Гершензон В.Е., Космические системы дистанционного зондирования Земли, М. Изд. А и Б, 1997 г.
2. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование: М.: Наука. Пер. с англ. 1987, 550 с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Издание 3-е, испр. и дополн. Пер. с англ. М.: Техносфера, 2012 – 1104 с.
4. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ.—М.: Мир, 1982. Кн.1 — 312 с., Кн. 2 – 479 с.
5. Залманзон Л.А. Преобразование Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. 1989 г. - 496 с.
6. Кашкин В.Б. Цифровая обработка аэрокосмических изображений. Версия 1.0 Электрон. учеб. пособие / ИПК Сибирского федерального университета. Красноярск. 2008.[http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/54/u\\_program.pdf](http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/54/u_program.pdf).
7. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Часть 2. Случайные поля. М.: Наука. 1978. 398 с.
8. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Пер. с англ. М.: Техносфера, 2008 — 312 с.
9. Носов Ю.Р. - Приборы с зарядовой связью. М.: Радиоэлектроника и связь, 1989 – 342 с.
10. Лазовский Л.Н. Приборы с зарядовой связью. 2002. Электронная версия книги <http://www.autex.spb.ru> .
11. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
12. Гуди Р.М. Атмосферная радиация. Основы теории. М.: Мир. 1966 – 552 с.
13. Лио Ку-Нан. Основы радиационных процессов в атмосфере. Л.: Гидрометеиздат. 1984. – 376 с.
14. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов. М.: Логос.1999 г., 480 с.



15. Козодеров В.В., Кондранин Т.В., Дмитриев Е.В. Тематическая обработка многоспектральных и гиперспектральных аэрокосмических изображений. Учеб. пособие. М.: МФТИ, 2013- 224 с.

**Направленность 05.07.03 Прочность и тепловые режимы  
летательных аппаратов  
ЧАСТЬ II-III**

Программа ориентирована на кафедры **прикладной механики, космических летательных аппаратов, прочности летательных аппаратов.**

**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 ( $M$ ,  $\frac{\rho}{\rho_0}$ ,  $\frac{p}{p_0}$ ,  $\frac{T}{T_0}$ ) 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

задачирешаемые 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 околозвуковой скорости. Критическое число Маха. Аэродинамические характеристики корпусов при околозвуковой 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 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.

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 внешнетракторных 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-Петербур. 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 05.07.01 Аэродинамика и процессы  
теплообмена летательных аппаратов  
ЧАСТЬ II**

Программа ориентирована на кафедры **аэрофизического и летного эксперимента, газовой динамики, горения и теплообмена, теоретической и прикладной аэрогидромеханики, компьютерного моделирования, физики полета.**

**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 ( $M$ ,  $\square$ ,  $\square$ ,  $St$ ) 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 разрежения.

*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 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 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.

2.3. *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.: Инostr. л-ра., 1975.

**Направленность 05.07.09 Динамика, баллистика,  
управление движением летательных аппаратов  
ЧАСТЬ II-III**

Программа ориентирована на кафедры **аэрофизического и летного эксперимента, физики полета.**

**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 концевых 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-Черноусько. Метод прогонки для линейно-квадратичной задачи оптимального управления. Уравнение Риккати.

#### **Литература**

1. Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столярова Е.М. Методы оптимизации. Изд. Наука, 1981.
2. Кюнц 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.