

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО КОНКУРСНОЙ ГРУППЕ «ФАКТ ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ»  
ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В АСПИРАНТУРУ**

**АННОТАЦИЯ**

Настоящая программа вступительного испытания по направлению **03.06.01. Физика и астрономия** 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 Физика и астрономия**» проводятся вступительные испытания для следующих направленностей обучения в аспирантуре:

- 05.07.03. Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов.
- 25.00.29 Физика атмосферы и гидросферы
- 01.04.08 Физика плазмы

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 25.00.29. Физика атмосферы и гидросферы ЧАСТИ II-III

Программа ориентирована на кафедры **теоретической и экспериментальной геофизики, термогидромеханики океана.**

#### **1. Общие понятия геофизики**

1.1. Образование и ранняя эволюция Земли. Земля как планета, происхождение солнечной системы, стадии эволюции допланетного диска и образования планет, процессы в недрах Земли в стадии ее аккумуляции из планетезималей, конвективные процессы в модели растущей Земли, процессы дегазации и модели первичных атмосфер.

1.2. Ядро Земли. Состав внутреннего и внешнего ядра, температурный градиент, магнитное поле Земли и источники энергии в ядре, палеомагнетизм, геодинамо, состояние и эволюция ядра, граница ядро-мантия. Морфология поверхности внутреннего ядра.

1.3. Мантия и океаническая кора. Верхняя и нижняя мантии, состав, фазовые превращения вещества в мантии, вязкость, литосфера и астеносфера, плиты, тепловой режим мантии (источники и температура), горячие точки и струи, движения плит, латеральные неоднородности.

1.4. Континентальная кора. Природа земной континентальной коры, структура и состав, эволюция континентальной коры, геология и тектоника, динамика континентальной коры. Воздействие внешних природных источников энергии: солнечного излучения и космоса, приливных сил, астероидов, метеоритов и космической пыли. Воздействие внутренних природных источников энергии. Динамические процессы во внутренних геосферах. Конвективные течения в ядре и мантии. Геодинамо. Тепловой поток Земли.

1.5. Гидродинамические и радиационно-гидродинамические явления при сильных взрывах в однородном воздухе и в атмосфере переменной плотности. Природные катастрофы и их последствия. Волновые процессы локального и глобального масштабов, акустические и акустико-гравитационные волны. Перенос оптических, электромагнитных и корпускулярных излучений в атмосфере. Активные геофизические эксперименты.

1.6. Импульсные электромагнитные поля, шумы и их вариации в атмосфере при сильных возмущениях. Электромагнитные и акустические эффекты в атмосфере при сейсмических процессах. Передача возмущения между различными геосферами. Литосферно-атмосферно-ионосферно-магнитосферные связи при сильных геосферных возмущениях.

#### **2. Горный массив как объект геомеханики**

2.1. Механические модели твердого тела. Классическая теория упругости. Моментная теория упругости (континуум Косера). Идеально-пластическое тело. Физика деформирования твердого тела. Отличие природных твердых тел от конструкционных материалов.

2.2. Виды разрушения: отрывом и сдвигом. Предельные напряжения, их зависимость от вида напряженного состояния, скорости деформирования, масштаба. Образование трещин. Равновесная трещина Гриффитса.

2.3. Дробление твердого тела как процесс образования множества трещин. Дробление в статических и динамических условиях. Две стадии дробления. Вероятностный подход к

описанию кусковатости разрушенной среды. Статистические распределения Вейбулла и логнормальное, описывающие кусковатость разрушенной среды.

2.4. Фильтрационные свойства горного массива. Понятие «флюид», распространенность и виды флюидов, их роль в тектонических процессах. Характеристики пород-коллекторов: пористость, проницаемость. Законы движения вязкой жидкости в пористом теле. Балансы массы, импульса и момента импульса. Уравнение Дарси границы его применимости.

2.5. Двучленный закон фильтрации. Механика пористых сред с упругим скелетом. Уравнение пьезопроводности. Фильтрация двухфазного флюида. Методики и аппаратура для измерения фильтрационных свойств массива. Формирование месторождений углеводородов. Геофизические методы разведки месторождений углеводородов. Прямые и обратные задачи разведки недр. Изменение фильтрационных свойств углеводородного коллектора в процессе его эксплуатации. Гидроразрыв пласта.

### **3. Геомеханические процессы в земной коре**

3.1. Землетрясение как индикатор достижения максимальных напряжений в земной коре и проявления крупномасштабного разрушения. Распределение землетрясений по поверхности Земли и по глубине, корреляция с границами геоблоков и направлениями их взаимного движения. Пояса сейсмической активности. Типы землетрясений. Процесс накопления энергии и ее выделение в виде упругой отдачи. Признаки готовящегося землетрясения и возможности прогнозирования. Роль флюидов при подготовке землетрясений. Эффективные напряжения Терцаги. Критерий Кулона-Мора.

3.2. Метеоритный удар. Аналогия с контактным взрывом. Разрушение при метеоритном ударе. Влияние геологии и свойств мишени на механизм формирования воронки. Эффект возвратного движения и возникновение центральной горки. Масштабные эффекты. Влияние метеоритных ударов на геологические структуры.

### **4. Техногенные процессы.**

4.1. Техногенное воздействие на геосферы. Воздействие горно-добывающего и нефтегазового комплексов.

4.2. Завальные озера и водохранилища ГЭС. Воздействие мегалолеса. Геотехногенные явления.

4.3. Изменение напряженного состояния, вызванное техногенным воздействием. Землетрясения на углеводородных месторождениях и горных рудниках.

4.4. Катастрофы, аварии и последствия развития ядерных технологий в мире и России. Проблема радиоактивных отходов.

### **5. Сейсмология**

5.1. Волновое уравнение. Объемные и поверхностные волны в Земле.

5.2. Отражение и преломление плоских волн на границах раздела. Способы построения отражающих границ. Строение Земли по сейсмическим данным. Сейсмические источники.

5.3. Принципы сейсмометрии. Методы анализа сейсмических данных.

5.4. Магнитуда и балл землетрясения. Закон Гуттенберга-Рихтера.

### **6. Атмосфера**

6.1. Структура атмосферы, структурные особенности нижней, средней и верхней атмосферы, электрические свойства атмосферы, аэрономия средней атмосферы, солнечное излучение и его спектр в различных слоях атмосферы, тепловые и фотохимические эффекты излучения, внутренние атмосферные волны - основной механизм взаимодействия атмосферных слоев, основные эффекты, вызванные изменением солнечной радиации выпадением частиц, землетрясениями, мощными взрывами,

извержением вулканов, антропогенным воздействием, литосферно-атмосферные связи (акустика, электрические поля).

6.2. Динамические процессы в системе взаимодействующих геосфер на границе земная кора-атмосфера. Релаксационные процессы в земной коре. Микросейсмические колебания как характеристика режима геодинамических процессов. Эманация подземных газов. Трансформация и перераспределение энергии между геофизическими полями разной природы.

6.3. Структура, состав и основные параметры ионосферы, фотохимические и физические процессы в ионосфере: ионизация солнечным излучением и корпускулярными потоками, процессы рекомбинации, амбиполярная диффузия, влияние динамических процессов в средней атмосфере на формирование ионосферных слоев, основы электродинамики ионосферы: диэлектрическая проницаемость и проводимость ионосферы, обобщенный закон Ома, электрические поля и токи, распространение электромагнитных волн в ионосфере, особенности образования и основные параметры полярной ионосферы, атмосферно-ионосферные связи.

## **7. Магнитосфера**

7.1. Структура и динамика магнитосферы Земли, солнечный ветер и межпланетное магнитное поле, взаимодействие солнечного ветра с магнитосферой Земли, электрические поля и токи в магнитосфере, электромагнитные и плазменные волны в магнитосфере, захват частиц и радиационные пояса Земли.

7.2. Границы области, захваченной радиацией, основные механизмы генерации геомагнитных пульсаций, высыпание частиц и магнитосферно-ионосферные связи, искусственные радиационные пояса.

## **Литература**

1. Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М. : Наука, 2006.
2. Жарков в.н., Трубицын ВЛ. Физика планетных недр. М.:Наука, 1980.
3. Джеффрис Г. Земля, ее происхождение, история и строение. ИЛ. 1960г.
4. Тер кот Д., Шуберт Джю. Геодинамика (в 2-х частях). М.: Мир, 1985
5. Морозов Н.Ф. Математические вопросы теории трещин. М.: Наука, 1984.
6. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных массивов. М.: Академкнига, 2007.
7. Кочарян Г.Г., Спивак А.А. Динамика деформирования блочных массивов горных пород. М.: Академкнига, 2003.
8. Взаимодействие в системе литосфера, гидросфера, атмосфера/ Л.Н. Рыкунов, Е.П. Анисимова, Н.К. Шелковников и др. М.: Недра, 1996.
9. 6. Акасофус.и., С Чепмен. Солнечно-Земная физика (в 2-х частях). М. Мир, 1975
10. Аки К, Ричарде п. Количественная сейсмология. М.: Мир. 1984
11. Родионов в.н., Сизов И.А., Цветков В.М. Основы геомеханики. М.: Недра, 1986, 301с
12. Адушкин В.В., Спивак А.А. Геомеханика крупномасштабных взрывов. М.: "Недра", 1993.
13. Шейдеггер А.Е. Физические аспекты природных катастроф. М.: "Недра", 1981. 231 с.
14. Ching I. Meng. FuroralPlyysics. Cambridge University press: 1991.
15. КочарянГ.Г., Турунтаев С.Б. Введение в геофизику месторождений углеводородов. М.: МФТИ, 2007. – 348с
16. Беляков Г.В. Физические процессы при заводнении пласта. – М.: МФТИ, 2007. 52с.
17. Спивак А.А. Массоперенос в массивах горных пород. – М.: ООО «Азбука-2000», 2007. 176 с.
18. Николаевский В.Н. Механика нефтегазоносных горных массивов. – М.: ООО «Азбука-2000», 2007. 176 с.

## Направленность 01.04.08 Физика плазмы ЧАСТЬ II

Программа ориентирована на кафедры логистических систем и технологий, тепловых процессов, физической механики.

### 1. Термодинамика и молекулярная физика

1.1. Предмет термодинамики и молекулярной физики. Два подхода теоретического изучения микроскопических свойств веществ (термодинамический и молекулярно-кинетический). Понятие о температуре. Законы идеальных газов. Уравнение состояния идеального газа.

1.2. Термодинамические процессы. Абсолютная термодинамическая шкала температур. Абсолютный нуль температуры. Внутренняя энергия как функция состояния. Первое начало термодинамики. Теплоемкость и ее зависимость от характера процесса. Зависимость между  $C_p$  и  $C_v$ , даваемая первым началом термодинамики. Внутренняя энергия идеального газа. Адиабата Пуассона. Скорость звука в газах. Энтальпия.

1.3. Второе начало термодинамики. Цикл и теорема Карно. Неравенство Клаузиуса. Верхний предел для коэффициента полезного действия тепловых машин. Энтропия. Закон возрастания энтропии. Статистическое обоснование второго начала термодинамики.

1.4. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса, Критическое состояние. Внутренняя энергия и энтропия газа Ван-дер-Ваальса. Эффект Джоуля-Томсона.

1.5. Молекулярно-кинетическая теория газов. Статистические закономерности. Понятие вероятности. Давление газа на стенку сосуда с молекулярной точки зрения. Статистический смысл температуры. Нагрев и охлаждение идеального газа при адиабатическом сжатии и расширении.

1.6. Распределение Больцмана и барометрическая формула. Закон распределения скоростей Максвелла. Средняя скорость газовых молекул. Экспериментальная проверка закона распределений Максвелла.

1.7. Теплоемкость газов и твердых тел. Закон равномерного распределения кинетической энергии теплового движения по степеням свободы. Классическая теория теплоемкостей идеальных газов и твердых тел. Элементы квантовой теории теплоемкостей. Средняя энергия гармонического осциллятора при тепловом движении. Формула Эйнштейна для теплоемкости. Интерполяционная формула Дебая.

1.8. Число столкновений и средняя длина свободного пробега молекул. Явление переноса: диффузия, теплопроводность, внутреннее трение, феноменологическое описание и молекулярно-кинетическая трактовка явлений переноса. Выражения для коэффициентов диффузии, теплопроводности и внутреннего трения через молекулярные характеристики газа. Ультразреженные газы, особенности явлений переноса в них.

1.9. Броуновское движение. Его молекулярно-кинетическая теория. Связь между коэффициентом диффузии и средним квадратом смещения броуновской частицы за определенный промежуток времени. Подвижность частицы. Связь между подвижностью и коэффициентом диффузии (формула Эйнштейна). Формула Эйнштейна для среднего квадрата смещения броуновской частицы. Определение постоянной Больцмана и числа Авогадро из наблюдений броуновского движения (опыты Перрона). Флуктуации.

1.10. Поверхностные явления в жидкостях. Поверхностная энергия. Термодинамика поверхности жидкости. Капиллярное давление.

1.11. Равновесие фаз и фазовые превращения. Примеры фазовых превращений. Кривые равновесия. Теплота перехода. Формула Клапейрона-Клаузиуса. Равновесие трех фаз. Тройная точка. Понятие о фазовых переходах второго рода. Метастабильные состояния: пересыщенный пар, перегретая и переохлажденная жидкости. Роль зародышей при образовании новой фазы.

## 2. Электричество

- 2.1. Понятие заряда и напряженности электрического поля. Закон Кулона. Принцип суперпозиции электрических полей. Электрический диполь и дипольный момент. Элементарный заряд.
- 2.2. Поток вектора. Теорема Гаусса. Примеры вычисления напряженности электрических полей.
- 2.3. Электрическое поле в веществе. Проводники в электрическом поле. Распределение электричества по поверхности проводника. Напряженность поля поверхности заряженного проводника. Поляризация диэлектрика. Вектор поляризации. Свободные и связанные заряды. Связь плотности поверхностных и объемных связанных зарядов с вектором поляризации. Вектор электрической индукции. Поляризуемость и диэлектрическая проницаемость.
- 2.4. Потенциальный характер электростатического поля. Потенциал и разность потенциалов. Связь напряженности поля с градиентом потенциала. Вычисление потенциалов простейших полей. Конденсаторы. Электрическая емкость. Вычисление емкости простейших систем.
- 2.5. Энергия электрического поля и ее локализация в пространстве.
- 2.6. Постоянный ток в металлах. Закон Ома в локальной и интегральной форме. Электропроводность и сопротивление. Сторонние силы. Электродвижущая сила. Природа носителей тока в металлах. Классическая электронная теория металлов. Закон Видемана-Франца. Термоэлектронная эмиссия. Работа выхода.
- 2.7. Магнитное поле в вакууме. Сила, действующая в магнитном поле на элемент тока (закон Ампера). Индукция магнитного поля в вакууме. Магнитный момент витка с током. Вращающий момент и силы, действующие на виток с током в магнитном поле. Закон Био-Савара. Расчет магнитных полей в простейших случаях. Магнитное поле движущихся зарядов. Сила Лоренца.
- 2.8. Теорема и циркуляции в дифференциальной и интегральной форме. Ее приложения к расчету магнитных полей. Соленоидальный характер магнитного поля.
- 2.9. Магнитное поле в веществе. Магнитная индукция и напряженность поля. Вектор намагничивания. Токи проводимости и молекулярные токи. Закон полного тока в веществе. Магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость. Пара- и диамагнетизм.
- 2.10. Электронная индукция в движущихся и неподвижных проводниках. Электродвижущая сила индукции. Принцип Ленца. Само- и взаимоиנדукция. Установление тока при включении и выключении источника. Магнитная энергия,
- 2.11. Магнитные свойства вещества. Ферромагнетизм. Кривая намагничивания. Домены в ферромагнетиках и сегнетоэлектриках. Гистерезис. Температура Кюри. Магнитные свойства сверхпроводников.
- 2.12. Токи смещения. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме. Граничные условия. Плотность потока электромагнитной энергии.
- 2.13. Элементарная теория колебаний. Кинематика и динамика свободных гармонических колебаний. Колебательный контур. Квазистационарность. Формула Томсона. Свободное затухающее колебание. Коэффициент затухания, логарифмический декремент и добротность.
- 2.14. Вынужденные колебания под действием синусоидальной силы. Амплитуда и фаза при вынужденных колебаниях. Резонанса кривые. Переменные токи. Закон Ома для переменных токов. Комплексное сопротивление (импеданс).
- 2.15. Электромагнитные волны, их поперечность и скорость распространения. Законы отражения и преломления. Показатель преломления. Опыты Герца. Электромагнитная природа света. Давление излучения.

### **3. Оптика и атомная физика**

- 3.1. Принцип суперпозиции полей, интерференции волн. Способы и условия получения интерференционных полос. Классические интерференционные опыты. Когерентность, ширина полос, влияние размеров источника света, необходимая степень монохроматичности.
- 3.2. Дифракция. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод Френеля-Кирхгофа, Дифракция на прямоугольной щели. Дифракция на круглом отверстии и круглом экране. Влияние размеров источника на четкость дифракционных полос. Понятие о голографии.
- 3.3. Дифракционная решетка. Измерение длин волн. Основные характеристики спектральных приборов: угловая дисперсия, дисперсионная область, разрешающая способность. Интерференционные спектральные приборы.
- 3.4. Дифракция на пространственных решетках. Условия Лауэ. Условие Брегга-Вульфа.
- 3.5. Поляризация плоских волн в кристаллах. Оптические оси. Двухосные и одноосные кристаллы. Обыкновенные и необыкновенные волны, их поляризация. Объяснение двойного преломления.
- 3.6. Дисперсия волн. Методы экспериментального исследования дисперсии. Нормальная и аномальная дисперсия. Основы электронной теории дисперсии. Фазовая и групповая скорость.
- 3.7. Рассеяние электромагнитных волн. Зависимость интенсивности рассеянного света от длины волны. Понятие о флуктуационной теории рассеяния. Комбинационное рассеяние.
- 3.8. Экспериментальные и физические основы специальной теории относительности. Преобразование Лоренца. Основные понятия релятивистской механики.
- 3.9. Тепловое излучение. Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана и Вина. Формула Релея-Джинса. Несостоятельность классической теории распределения энергии в спектре абсолютно черного тела. Формула Планка.
- 3.10. Фотоэлектрический эффект. Комптоновское рассеяние света.
- 3.11. Спектральные закономерности. Опыты Франка-Герца. Постулаты Бора.
- 3.12. Дифракция электронов. Волны де-Бройля. Принцип неопределенности Гейзенберга. Принцип соответствия Бора. Волновая функция. Общая логическая схема квантовой механики.
- 3.13. Уравнение Шредингера для стационарных состояний. Одномерная потенциальная яма. Потенциальный ящик. Понятие о вырождении. Нулевая энергия.
- 3.14. Вращательные уровни молекул. Одномерный осциллятор. Колебательные уровни молекул.
- 3.15. Атом водорода. Опыты Штерна и Герлаха. Спин электрона. Спектр атома водорода. Тонкая структура спектра. Понятие о сверхтонкой структуре. Атомы щелочных металлов.
- 3.16. Временное уравнение Шредингера. Правила отбора при излучении (на основе принципа соответствия).
- 3.17. Зееман-эффект. Эффект Штарка.
- 3.18. Атом гелия. Орто- и пара-гелий. Триpletное расщепление. Принцип Паули. Периодическая таблица Менделеева.
- 3.19. Природа химической связи. Молекула водорода.
- 3.20. Элементы зонной теории твердых тел. Проводники, изоляторы, полупроводники. Понятие о квазичастицах.
- 3.21. Индуцированное излучение. Вывод формулы Планка по Эйнштейну, Квантовые генераторы.

### **4. Основы физики плазмы**

- 4.1. Термодинамика плазмы. Кулоновское взаимодействие. Дебаевское экранирование. Критерий идеальности.
- 4.2. Ионизационное равновесие. Уравнение Саха. Квазинейтральность.

- 4.3. Ленгмюровские колебания и электростатическое экранирование, Диэлектрическая проницаемость. Плазменная частота.
- 4.4. Волновые свойства плазмы. Плазменные колебания, ионный звук, затухание волн, пучковая неустойчивость.
- 4.5. Излучение плазмы. Излучение в спектральных линиях, форма линии. Непрерывный спектр.
- 4.6. Элементарные процессы в плазме. Столкновение заряженных частиц, роль кулоновского дальнего действия. Столкновения электронов с атомами. Упругие и неупругие столкновения.
- 4.7. Кинетическое уравнение Больцмана. Движение электронов и ионов в газе во внешнем поле. Электропроводность плазмы. Амбиполярная диффузия.
- 4.8. Локальное термодинамическое равновесие. Уравнение баланса энергии. Температура электронов и температура атомов.
- 4.9. Возбуждение, ионизация и рекомбинация. Ионизационный коэффициент Таунсенда.
- 4.10. Электрический разряд в газах. Тлеющий разряд. Дуговой разряд.

## **5. Теория теплообмена**

- 5.1. Общие сведения. Процессы переноса энергии, количества движения и вещества. Основные процессы теплообмена. Феноменологический метод исследования в теории теплообмена. Проблемы теории теплообмена, выдвигаемые современной техникой, пути их решения.
- 5.2. Теория теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье. Начальные и граничные условия. Основные методы решения задач теплопроводности. Теплопроводность при нестационарном режиме. Теорема Дюамеля. Применение метода аналогий к расчету температурных полей. Основные уравнения динамики вязкой жидкости и конвективного теплообмена.
- 5.3. Основные уравнения динамики вязкой жидкости и конвективного теплообмена. Уравнения неразрывности, движения и энергии для сжимаемой вязкой жидкости. Начальные и граничные условия в задачах о движении жидкости и конвективном теплообмене. Уравнения движения и энергии для пограничного слоя в сжимаемой жидкости. Интегральные соотношения количества движения и энергии для пограничного слоя.
- 5.4. Методы подобия и размерности. Структура вторичных единиц измерения. Пиртеорема. Приведение математического описания процесса к безразмерному виду. Числа и критерии подобия.
- 5.5. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в трубах. Теплообмен в круглой трубе при граничных условиях первого и второго рода.
- 5.6. Теплообмен и сопротивление при ламинарном пограничном слое в несжимаемой жидкости и потоке газа высокой скорости. Продольное обтекание пластинки и тел с продольным градиентом давления. Теплоотдача пластинки и тел другой формы в вынужденном потоке. Обтекание и теплоотдача вертикальной пластинки и горизонтального цилиндра при свободной конвекции. Адиабатическая температура, теплоотдача и сопротивление трения пластинки в потоке газа высокой скорости.
- 5.7. Основа теории турбулентности. Переход ламинарного течения в турбулентное в трубах и пограничном слое. Турбулентность как случайный процесс. Осредненные уравнения неразрывности, движения и энергии для турбулентных потоков. Коэффициенты турбулентного переноса импульса и тепла, турбулентное число Прандтля. Теория пути перемещения. Универсальный профиль скорости.
- 5.8. Теплообмен и сопротивление при турбулентном движении жидкости в трубах. Теплообмен в круглых трубах при течении несжимаемой жидкости с постоянными физическими свойствами. Влияние переменных свойств на теплообмен и сопротивление.

5.9. Теплообмен и сопротивление при турбулентном пограничном слое и несжимаемой жидкости и потоке газа высокой скорости. Структура турбулентного пограничного слоя. Закон стенки, закон дефекта скорости и обобщенный закон распределения скорости. Теплоотдача и сопротивление пластинки при турбулентном пограничном слое в несжимаемой жидкости. Адиабатическая температура, теплоотдача и сопротивление пластинки в потоке газа высокой скорости.

5.10. Тепло- и массообмен в двухкомпонентных средах. Основные сведения о диффузии: перенос вещества и энергии в газовых смесях. Уравнение сохранения массы отдельных компонентов и уравнение энергии для двухкомпонентных сред. Тепло- и массоотдача. Диффузионные числа подобия и тройная аналогия. Понятие о диффузионном пограничном слое. Учет химических превращений в уравнениях сохранения. Характерные случаи тепло- и массообмена при химических превращениях.

5.11. Обтекание и теплоотдача тел в разреженном газе. Число Кнудсена. Взаимодействие молекул с твердыми поверхностями. Коэффициенты аккомодации. Критерии подобия. Режимы течения, их зависимость от  $K_{\text{v}}$ , и  $M$ . Течение при малых числах Кнудсена. Скольжение и температурный скачок. Пограничный слой с учетом скольжения и скачка температур. Течение при больших числах Кнудсена. Свободномолекулярные течения. Обтекание простейших тел. Свободномолекулярные течения в трубах. Истечение в вакуум.

5.12. Теплообмен при кипении жидкости. Механизм парообразования при пузырьковом кипения. Теплоотдача при пузырьковом кипении в условиях свободной конвекции. Критическая тепловая нагрузка. Теплообмен при пленочном кипении. Режимы течения и структура двухфазного потока при кипении в трубах. Теплоотдача при кипении жидкости в трубах. Кризис теплоотдачи при кипении в трубах.

5.13. Теплообмен при конденсации пара. Теплообмен при пленочной конденсации неподвижного пара. Теплообмен при капельной конденсации пара. Тепло- и массообмен при конденсации пара парогазовой смеси.

5.14. Основные понятия и законы теплового излучения. Тепловое излучение и его свойства. Основные характеристики теплового излучения. Закон теплового излучения.

5.15. Теплообмен излучением в системах тел. Угловые коэффициенты излучения и способы их определения. Теплообмен излучением в простейших замкнутых системах серых тел. Уравнение переноса излучения. Теплообмен излучением между газом и оболочкой.

### Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики, Т.1. - М.: Наука, 1970.
2. Савельев И.В. Курс общей физики, Т.2. - М.: Наука, 1982.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики, Т.2. - М.: Наука, 1975.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики, Т.3. - М.: Наука, 1983.
5. Сивухин Д.В. Курс общей физики. Т.4 - М.: Наука, 1980.
6. Кикоин И.К., Кикоин Л.К. Молекулярная физика. - М.: Физматгиз, 1963.
7. Тамм И.Е. Основы теории электричества. - М.: Наука, 1976.
8. Яворский Б.М., Детлярь А.А. Курс физики, Т.3. - М.: Высшая школа, 1972.
9. Шпольский Э.В. Атомная физика, Т. 1, 2. - М.: Наука, 1984.
10. Смирнов Б.М. Элементарная теория плазмы. - М.: Атомиздат, 1980.
11. Франк-Каменецкий Д.Л. Лекции по физике плазмы. - М.: Атомиздат, 1968.
12. Смирнов Б.М. Физика слабоионизированного газа. - М.: Наука, 1978.
13. Пеннинг Ф.М. Электрические разряды в газах. - М.: ИЛ, 1980.
14. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. - М.; Наука, 1969.
15. Ландау Л.Д., Лифшиц Б.М. Теоретическая физика. Т.5. - М.: Наука, 1976.
16. Базаров И.П. Термодинамика. - М.: Высшая школа, 1983.

17. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергоиздат, 1981.
18. Кириллин В.А., Шейндлин А.Е., Шпильрайн Э.Э. Термодинамика растворов. - М.: Энергия, 1980.
19. Карапетьянц Л.Х. Химическая термодинамика. - М.: Химия, 1981.

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

Программа ориентирована на кафедры **прикладной механики, космических 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 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 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.