

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(государственный университет)»**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор

\_\_\_\_\_ О.А.Горшков

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

ФАКУЛЬТЕТ АЭРОФИЗИКИ И КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

КАФЕДРА СИСТЕМЫ, УСТРОЙСТВА И МЕТОДЫ ГЕОКОСМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

**ПРОГРАММА**

вступительных испытаний поступающих на обучение по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по специальной дисциплине

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ:**

09.06.01 Информатика и вычислительная техника

**НАПРАВЛЕННОСТЬ:**

05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Форма проведения вступительных испытаний:

Вступительные испытания проводятся в устной форме. Для подготовки ответов поступающий использует экзаменационные листы.

---

ЗАВ.КАФЕДРОЙ \_\_\_\_\_  
(подпись)

Кондранин Т.В.  
(фамилия)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2014 года.

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Программа вступительного экзамена для поступающих в аспирантуру по кафедре Системы, устройства и методы геокосмической физики ФАКИ МФТИ по специальности 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ является основным руководящим учебно-методическим документом для подготовки к сдаче вступительного экзамена. Программа включает ключевые положения профилирующих учебных дисциплин общематематического профиля, входящих в основные образовательные программы высшего профессионального образования для поступающих в аспирантуру выпускников МФТИ и других вузов по направлениям подготовки бакалавров и магистров, по которым осуществляется обучение в МФТИ, а также для поступающих в аспирантуру выпускников других вузов, по родственным направлениям и специальностям подготовки.

Исходя из содержания образовательного процесса и направлений научных исследований на кафедре СУМГФ, основными отраслями знаний по специальности 05.13.18 являются математическое моделирование космических информационных систем, в том числе систем дистанционного зондирования.

Программа вступительных испытаний включает обязательную и дополнительную части. Обязательная часть включает основные разделы, предусмотренные паспортом научной специальности 05.13.18. Дополнительная часть программы разработана с учетом ключевых направлений научных исследований, проводимых на кафедре СУМГФ, в рамках которых формируется предполагаемая тема диссертационной работы поступающего в аспирантуру по специальности 05.13.18 и включает разделы специальных дисциплин в соответствии с профилем подготовки бакалавров «Геокосмические информационные системы и управление движением» по направлению 010900 «Прикладная математика и физика» и магистерской программы 010925 – «Космические информационные системы. Связь, навигация и дистанционное зондирование».

С учетом специфики будущей диссертационной работы и на основании рекомендации научного руководителя поступающего в аспирантуру в дополнительной части программы могут быть выделаны разделы (не менее 4-х из 6-ти). Также по рекомендации научного руководителя в дополнительную программу могут быть внесены изменения/или дополнения, которые оформляются и утверждаются заведующим кафедрой СУМГФ, не позднее, чем за месяц до экзамена.

Из содержания выбранных разделов комиссия формирует и заносит в протокол не менее 3-х вопросов (один по обязательной части программы), по которым и проводятся вступительные испытания.

Экзаменуемый обязан продемонстрировать знание теоретического материала по обеим частям программы, а также умение применять теоретический материал для решения типовых задач. Вступительный экзамен проводится по усмотрению назначаемой приказом ректора (проректора по науке) экзаменационной комиссии по билетам или без билетов.

## ОБЯЗАТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ ПРОГРАММЫ

**вступительных испытаний при поступлении в аспирантуру по кафедре Системы, устройства и методы геокосмической физики ФАКИ МФТИ по специальности 05.13.18**

**Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ**

### **1. Общие вопросы математического моделирования.**

Роль и место математического моделирования в исследованиях, проектировании, испытаниях и эксплуатации космических информационных систем (связи, навигации и дистанционного зондирования). Общая постановка задач математического моделирования. Понятие о свойствах математической модели. Методические принципы математического моделирования. Классификация математических моделей. Непрерывные и дискретные модели. Линейные, нелинейные и полиномиальные модели.

### **2. Основы общематематических понятий и представлений**

#### **2.1. Основы математического анализа.**

Основы теории пределов. Основные теоремы о непрерывных функциях. Первая и вторая теоремы о среднем. Теорема о неявной функции. Формула Тейлора. Основные теоремы интегрального исчисления (замена переменных, метод интегрирования по частям, интегрирование рациональных функций). Числовые ряды (признаки сходимости знакопостоянных и знакопеременных рядов). Функциональные ряды. Степенные ряды. Ряды Фурье (вычисление коэффициентов).

#### **2.2. Основы линейной алгебры.**

Комплексные числа, поля. Метод Гаусса. Определители  $n$ -го порядка. Основные методы вычислений определителей. База и ранг системы векторов. Координаты вектора в базе. Преобразование координат векторов при смене базы пространства. Операции над матрицами. Теорема о ранге матрицы. Общее решение системы линейных уравнений. Связь решений общей и однородной систем линейных уравнений. Однородные системы (пространство решений, фундаментальные системы решений). Собственные векторы и собственные числа матрицы. Разложение на неприводимые множители. Корни полиномов. Основная теорема о многочленах с комплексными коэффициентами.

#### **2.3. Основы аналитической геометрии.**

Формулы замены координат при переходе от одной декартовой системы координат к другой. Вычисление скалярных произведений, длин отрезков, углов. Линии и поверхности 1-го и 2-го порядка.

#### **2.4. Основы обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений математической физики.**

Теоремы существования и единственности решения задачи Коши для дифференциального уравнения и нормальной системы. Линейное уравнение  $n$ -го порядка. Построение общего решения линейного уравнения. Неоднородные линейные системы. Линейные системы дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами.

Основные уравнения математической физики: уравнение теплопроводности, уравнение Лапласа и Пуассона, волновое уравнение. Уравнение переноса излучения в поглощающей, излучающей и рассеивающей среде. Постановка краевых задач. Решение однородного уравнения теплопроводности на прямой.

Общие представления о некорректно поставленных задачах. Уравнения Фредгольма I и II рода. Методы регуляризации (А.М.Обухова, А.Н.Тихонова, статистической регуляризации). Общая схема метода Фурье для ограниченных областей.

## 2.5. Основы теории вероятностей и математической статистики.

Случайные события и случайные величины. Аксиоматическое определение вероятности события. Условные вероятности. Независимость событий. Законы распределения и числовые характеристики случайных величин (дисперсия и математическое ожидание). Выборка и методы ее представления. Числовые характеристики выборочного распределения (мода, медиана, среднее, дисперсия). Неравенство Чебышева.

## 2.6. Основы теории численных методов.

Интерполяционный многочлен Лагранжа, оценка его остаточного члена. Численное дифференцирование и интегрирование. Интерполяционные квадратурные формулы, оценка их погрешности (на примерах формул прямоугольников, трапеций или Симпсона). Решение систем нелинейных уравнений (метод Ньютона или метод простой итерации), достаточные условия сходимости. Методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений (по выбору: методы Рунге-Кутты или конечно-разностные). Основные понятия теории разностных схем. Связь между аппроксимацией, устойчивостью и сходимостью. Вариационные методы решений задач математической физики (по выбору: метод Ритца или Галеркина, их вариационно-разностные варианты).

## 3. Литература к обязательной части программы

1. Бесов О.В. Лекции по математическому анализу : в 2 ч.: учеб. пособие. – М.: МФТИ (Ч. 1, 2004 – 328 с, Ч. 2, 2005 –215 с.).
2. Петровский И.Г. Лекции по теории обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: Наука, 1970 г.
3. Ипатов В. М., Пыркова О. А., Седов В. Н. Дифференциальные уравнения. Методы решений. М.: Изд. МФТИ. – 2012. 140 с.
4. Уроев В.М. Уравнения математической физики. М.: ИФ "Яуза" 1998 г. - 373 с.
5. Беклемишев Д. В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры. Изд. 12-е, испр. М.: Физматлит, 2009. — 312 с.
6. Боровков А.А. Теория вероятностей. М.: Наука, 1984.
7. Боровков А.А. Математическая статистика. М.: Наука, 1984.
8. Калиткин Н.Н. Численные методы. М.: Наука. 1978. – 512 с.
9. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. 2-е изд., испр. М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
10. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука. 1979 г. – 288 с.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА

вступительных испытаний при поступлении в аспирантуру по кафедре Системы, устройства и методы геокосмической физики ФАКИ МФТИ по специальности

**05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ**

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

1.1. 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.

1.2. 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.

1.3. Задачи дистанционного контроля и разведки объектов на поверхности Земли и в атмосфере.

1.4. Современные системы ДЗ. Системный подход к дистанционным исследованиям.

Пространственное, спектральное, радиометрическое и временное разрешение. Перспективы развития космических систем дистанционного зондирования.

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

2.1. 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.

2.2. 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.

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

2.4. 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.

2.5. 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).

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

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

3.1. 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 толща. Модели аэрозольной атмосферы. Метеорологическая дальность видимости.

3.2. 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.

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

3.4. 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.

### **4. Регистрация электромагнитного излучения.**

4.1. 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.

4.2. 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.

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

4.4. 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.

4.5. 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.

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

5.1. 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.

5.2. 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.

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

6.1. 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.

6.2. 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.

6.4. 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

6.3. 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 компонент 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. в ГИС проектах. Методы и средства векторизации растровых электронных карт.

#### **4. Основная литература к дополнительной программе**

1. Гарбук С.В., Гершензон В.Е., Космические системы дистанционного зондирования Земли, М. Изд. А и Б , 1997г.
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. Прэйт 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 стр.
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. 398с.
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. – 342с.
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.- 224с.