

Министерство образования и науки РФ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Самарский государственный университет»

«Утверждаю»
проректор по научной работе

_____ А.Ф.Крутов

_____ 2011 г.

Рабочая программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине

РАДИОФИЗИКА

(КЭ.А.03 «Кандидатские экзамены»
основной образовательной программы подготовки аспиранта
по отрасли **физико-математические науки**,
специальность **01.04.03 – радиофизика**)

Самара 2011

Рабочая программа составлена на основании паспорта научной специальности 01.04.03 – радиофизика, в соответствии с программой-минимум кандидатского экзамена по специальности 01.04.03 – радиофизика по физико-математическим наукам, утвержденной приказом Министерства образования и науки РФ № 274 от 08.10.2007 г., и учебным планом СамГУ по основной образовательной программе подготовки аспиранта.

Составители рабочей программы: зав. кафедрой РФ и КМР, доктор физико-математических наук *Яровой Геннадий Петрович*; профессор кафедры, кандидат физико-математических наук *Зайцев Валерий Васильевич*,

Рабочая программа утверждена на заседании ученого совета физического факультета
протокол № ____ от _____

Декан физического факультета

« ____ » _____ 2011 г.

_____ В.В.Ивахник

ПРОГРАММА
кандидатского экзамена по специальности 01.04.03 «Радиофизика»

1. Теория колебаний

Линейные колебательные системы с одной степенью свободы. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабонелинейные колебательные системы.

Автоколебательная система с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах. Методы расчета автоколебательных систем.

Воздействие гармонического сигнала на автоколебательные системы. Синхронизация. Явления затягивания и гашения колебаний. Применение затягивания для стабилизации частоты.

Аналитические и качественные методы теории нелинейных колебаний. Анализ возможных движений и бифуркаций в фазовом пространстве: метод малого параметра, метод Ван-дер-Поля, метод Крылова–Боголюбова. Укороченные уравнения. Усреднение в системах, содержащих быстрые и медленные движения.

Колебательные системы с двумя и многими степенями свободы. Нормальные колебания. Вынужденные колебания. Автоколебательные системы с двумя и более степенями свободы. Взаимная синхронизация колебаний двух генераторов.

Параметрическое усиление и параметрическая генерация. Параметрические усилители и генераторы. Деление частоты.

Устойчивость стационарных режимов автономных и неавтономных колебательных систем. Временные и спектральные методы оценки устойчивости.

Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем. Собственные функции системы (моды). Разложение вынужденных колебаний по системе собственных функций.

Распределенные автоколебательные системы. Лазер как пример такой системы. Условия самовозбуждения. Одномодовый и многомодовый режимы генерации.

Хаотические колебания в динамических системах. Понятие о хаотическом (странном) аттракторе. Возможные пути потери устойчивости регулярных колебаний и перехода к хаосу.

2. Теория волн

Плоские однородные и неоднородные волны. Плоские акустические волны в вязкой теплопроводящей среде, упругие продольные и поперечные волны в твердом теле, электромагнитные волны в среде с проводимостью. Поток энергии. Поляризация.

Распространение сигнала в диспергирующей среде. Простейшие физические модели диспергирующих сред. Волновой пакет в первом и втором приближении теории дисперсии. Фазовая и групповая скорости. Параболическое уравнение для огибающей. Расплывание и компрессия импульсов. Поле в средах с временной. Дисперсионные соотношения Крамерса—Кронига и принцип причинности.

Свойства электромагнитных волн в анизотропных средах. Оптические кристаллы, уравнение Френеля, обыкновенная и необыкновенная волны. Магнитоактивные среды. Тензор диэлектрической проницаемости плазмы в магнитном поле; нормальные волны, их поляризация.

Волны в периодических структурах. Механические цепочки, акустические и оптические фононы. Полосы пропускания и непрозрачности. Электрические цепочки, сплошная среда со слабыми периодическими неоднородностями. Связанные волны.

Приближение геометрической оптики. Уравнения эйконала. Дифференциальное уравнение луча. Лучи и поле волны в слоисто-неоднородных средах.

Электромагнитные волны в металлических волноводах. Диэлектрические волноводы, световоды. Линзовые линии и открытые резонаторы. Гауссовские пучки.

Метод Кирхгофа в теории дифракции. Функции Грина. Условия излучения. Дифракция в зоне Френеля и Фраунгофера. Характеристики поля в фокусе линзы.

Волны в нелинейных средах без дисперсии. Образование разрывов. Ударные волны. Уравнение Бюргера для диссипативной среды и свойства его решений. Генерация гармоник исходного монохроматического сигнала, эффекты нелинейного поглощения, насыщения и детектирования.

Уравнение Кортевега–де–Вриза и синус – Гордона. Стационарные волны. Понятие о солитонах. Взаимодействия плоских волн в диспергирующих средах. Генерация второй гармоники. Параметрическое усиление и генерация.

Самовоздействие волновых пучков. Самофокусировка света. Приближения нелинейной квазиоптики и нелинейной геометрической оптики. Обращение волнового фронта. Интенсивные акустические пучки; параметрические излучатели звука.

3. Статистическая радиофизика

Случайные величины и процессы, способы их описания. Стационарный случайный процесс. Статистическое усреднение и усреднение во времени. Эргодичность. Измерение вероятностей и средних значений.

Корреляционные и спектральные характеристики стационарных случайных процессов. Теорема Винера–Хинчина. Белый шум и другие примеры спектров и корреляционных функций.

Модели случайных процессов: гауссовский процесс, узкополосный стационарный шум, импульсные случайные процессы, дробовой шум.

Отклик линейной системы на шумовые воздействия; функция Грина, интеграл Дюамеля. Действие шума на колебательный контур, фильтрация шума. Нелинейные преобразования (умножения частоты и амплитудное детектирование узкополосного шума).

Марковские и диффузионные процессы. Уравнение Фоккера–Планка.

Броуновское движение. Флуктуационно-диссипационная теорема. Тепловой шум; классический и квантовый варианты формулы Найквиста. Тепловое излучение абсолютно черного тела.

Случайные поля. Пространственная и временная когерентность. Дифракция случайных волн. Теорема Ван Циттерта–Цернике. Дифракция регулярной волны на случайном фазовом экране. Тепловое электромагнитное поле. Теорема взаимности.

Рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Борновское приближение, метод плавных возмущений. Рассеяние волн на шероховатой поверхности. Понятие об обратной задаче рассеяния.

Взаимодействие случайных волн. Генерация второй оптической гармоники, самофокусировка и самомодуляция частично когерентных волн. Преобразование спектров шумовых волн в нелинейных средах без дисперсии.

4. Принципы усиления, генерации и управления сигналами

Принцип работы, устройство и параметры лазеров (примеры: гелий-неоновый лазер, лазер на рубине, полупроводниковый лазер).

Оптические резонаторы. Резонатор Фабри–Перо, конфокальный и концентрический резонаторы. Неустойчивый резонатор. Продольные и поперечные типы колебаний. Спектр частот и расходимость излучения. Добротность.

Режимы работы лазеров: непрерывный режим генерации, режим модуляции добротности резонатора, режим синхронизации мод.

Сверхкороткие импульсы. Шумы лазеров, формула Таунса и предельная стабильность частоты. Оптические компрессоры и получение фемтосекундных импульсов.

Молекулярный генератор. Квантовые стандарты частоты (времени). Волноводы, длинные линии и резонаторы. Критическая частота и критическая длина волновода. ТЕ-, ТН- и ТЕМ-волны. Диэлектрические волноводы.

Периодические структуры и замедляющие системы. Волновое сопротивление.

Усилители СВЧ-диапазона (резонаторный, бегущей волны). Полоса пропускания усилителя бегущей волны.

Генерация волн в СВЧ-диапазоне. Принцип работы и устройство лампы бегущей и обратной волны, магнетрона и клистрона. Отрицательное дифференциальное сопротивление и генераторы СВЧ на полевых транзисторах, туннельных диодах, диодах Ганна и лавиннопролетных диодах. Эффект Джозефсона.

Взаимодействие волн пространственного заряда с акустическим полем, акустоэлектрический эффект. Принципы работы акустоэлектронных устройств (усилители ультразвука, линии задержки, фильтры, конвольверы, запоминающие устройства).

Взаимодействия света со звуком. Дифракция Брэгга и Рамана–Ната. Принципы работы устройств акустооптики (модуляторы и дефлекторы света, преобразователи свет-сигнал, акустооптические фильтры), анализаторы спектра и корреляторы.

Линейный электрооптический и магнитооптический эффекты и их применение для управления светом.

5. Антенны и распространение радиоволн

Вибратор Герца. Ближняя и дальняя зоны. Диаграмма направленности. Коэффициент усиления и коэффициент рассеяния антенны. Антенны для ДВ-, СВ- и СВЧ-диапазонов. Параболическая антенна. Фазированные антенные решетки. Эффективная площадь и шумовая температура приемной антенны.

Геометрическое и дифракционное приближения при анализе распространения радиоволн. Влияние неровностей земной поверхности. Земные и тропосферные радиоволны. Рассеяние и поглощение радиоволн в тропосфере. Эффект «замирания». Тропосферный волновод. Распространение радиоволн в ионосфере.

Дисперсия и поглощение радиоволн в ионосферной плазме. Ионосферная рефракция. Ход лучей в подводном звуковом канале и тропосферном радиоволноводе.

6. Выделение сигналов на фоне помех

Задачи оптимального приема сигнала. Апостериорная плотность вероятности. Функция правдоподобия. Статистическая проверка гипотез. Критерии Байеса,

Неймана–Пирсона и Вальда проверки гипотез.

Априорные сведения о сигнале и шуме. Наблюдение и сообщение. Задачи интерполяции, фильтрации и экстраполяции.

Линейная фильтрация Колмогорова–Винера на основе минимизации дисперсии ошибки. Принцип ортогональности ошибки и наблюдения. Реализуемые линейные фильтры и уравнение Винера–Хопфа. Выделение сигнала из шума. Согласованный фильтр.

Линейный фильтр Калмана–Бьюси. Стохастические уравнения для модели сообщения и шума. Дифференциальные уравнения фильтра.

Уравнение для апостериорной информации в форме уравнения Риккати. Сравнение фильтрации методом Колмогорова–Винера и Калмана–Бьюси.

7. Методы численного моделирования в радиофизике

Основные этапы процесса моделирования радиофизической системы. Физические и математические модели. Аналитические и численные методы. Численный эксперимент. Сравнение основных этапов численного и натурального экспериментов.

Основные направления применения компьютеров в физике: численный анализ (включая анализ и обработку результатов эксперимента), символьные преобразования, численное моделирование, управление физическим объектом в реальном времени.

Численные алгоритмы и компьютерные программы. Языки программирования. Системы *Mathcad*, *Maple*, *Mathlab*.

Линейные статические модели радиосистем. Типичные задачи радиофизики, приводящие к системам линейных алгебраических уравнений (СЛАУ).

Точные методы численного решения СЛАУ. Метод исключения Гаусса и LU-разложение. Вычисление определителя и обратной матрицы.

Уравнения с матрицами специального вида. Метод прогонки для уравнения с трехдиагональной матрицей.

Моделирование свободных колебаний в линейных системах. Матричная проблема собственных значений и задачи теории колебаний и волн. Обобщенная проблема собственных значений. Собственные векторы.

Расчет собственных значений симметричных матриц. Методы Гивенса и Хаусхолдера приведения матриц к трехдиагональной форме. Собственные значения трехдиагональных матриц. Метод последовательностей Штурма.

Методы вычисления собственных значений матриц общего вида. QR-метод. Приведение матрицы к форме Хессенберга.

Поиск наибольших и наименьших собственных значений. Степенной и обратный степенной методы.

Задачи устойчивости систем и корни полиномов. Характеристические уравнения для собственных частот колебаний. Метод Лина для корней полиномов.

Нелинейные статические модели радиосистем. Нелинейные алгебраические и трансцендентные уравнения. Системы нелинейных уравнений. Характерные радиофизические задачи, сводящиеся к решению нелинейных уравнений и систем.

Методы половинного деления, ложного положения, секущих и хорд. Метод Ньютона. Сходимость методов. Скорость сходимости.

Метод Ньютона для систем нелинейных уравнений. Квазиньютоновские методы. Метод Бroyдена.

Задачи оптимизации в радиофизике. Безусловная и условная оптимизация. Методы одномерного поиска экстремума функции.

Методы многомерной оптимизации. Прямые методы и градиентные методы.

Метод покоординатного спуска, симплексный метод Нелдера-Мида, метод Хука-Дживса.

Методы градиентного спуска и наискорейшего спуска. Метод Ньютона. Квазиньютоновские методы. Метод Дэвидона–Флетчера–Пауэла.

Моделирование динамических систем с сосредоточенными параметрами. Задачи теории колебаний и волн, приводящие к системам обыкновенных дифференциальных уравнений. Начальные условия. Задача Коши и динамические системы.

Общая характеристика методов численного решения задачи Коши. Одношаговые и многошаговые методы. Явные и неявные методы.

Проблема устойчивости численного решения задачи Коши. Плохая обусловленность задачи. Неустойчивость метода. Преимущества неявных методов.

Одношаговые методы Рунге-Кутты. Метод четвертого порядка. Свойства методов Рунге-Кутты.

Многошаговые явные методы Адамса-Башфорта и неявные методы Адамса-Моултона. Неявный метод второго порядка (правило трапеций).

Методы прогноза и коррекции Адамса.

Жесткие системы дифференциальных уравнений. Коэффициент жесткости. Неявные методы численного интегрирования жестких систем.

Технология моделирования динамических систем (на примере динамики автоколебательной системы).

Моделирование динамических систем в среде Simulink.

Граничные задачи теории волноведущих систем. Граничные задачи, возникающие в теории неоднородных линий. Матрица рассеяния неоднородности.

Общая характеристика методов решения граничных задач для систем обыкновенных дифференциальных уравнений.

Конечно-разностный метод.

Итерационные методы. Метод пристрелки. Алгоритмы Ньютона в методе пристрелки.

Неитерационные методы. Метод продолжения по параметру. Метод дифференциальной прогонки.

Волноводная дисперсия и дифференциальная задача на собственные значения. Дисперсия волн в направляющих системах (волноводах) и задачи на собственные значения для линейных дифференциальных операторов.

Метод конечных разностей и собственные значения разностной матрицы.

Метод пристрелки в задачах на собственные значения. Решение неявнозаданных дисперсионных уравнений методом Ньютона. Применение методов оптимизации.

Метод продолжения по параметру в задачах на собственные значения.

Метод конечных разностей для эллиптических уравнений.
Классификация уравнений в частных производных. Уравнения Лапласа, Пуассона и Гельмгольца.

Разностная аппроксимация производных. Выбор пространственной сетки. Неоднородные среды и неравномерные сетки. Аппроксимация граничных условий.

Системы разностных уравнений и методы их решения.

Итерационные методы: простой итерации (Якоби), Гаусса-Зейделя, последовательной верхней релаксации, переменных направлений.

Конечно-разностные методы для эволюционных уравнений.
Гиперболические уравнения в задачах радиофизики: уравнения переноса, волновое уравнение.

Уравнения Фоккера-Планка, диффузии и теплопроводности, нестационарное и нелинейное уравнение Шредингера – параболические уравнения радиофизики.

Явная и неявная схемы временного интегрирования. Проблема устойчивости разностных схем для эволюционных уравнений. Условия Неймана и Куранта-Фридрихса-Леви.

Разностные методы для гиперболических уравнений. Метод Лакса. Двухшаговая схема Лакса-Вендроффа.

Устойчивые разностные схемы для параболических уравнений. Неявный метод Кранка-Николсона. Явный метод Дюффорта-Франкеля.

Полудискретные методы для эволюционных уравнений. Метод линий.

Проекционные методы анализа моделей радиосистем. Определение проекционных методов. Методы взвешенных невязок. Граничные, внутренние и смешанные методы.

Методы коллокаций, подобластей и наименьших квадратов. Метод Галеркина. Метод конечных элементов. Методы Галеркина и конечных элементов в задачах на собственные значения.

Методы численного анализа интегральных моделей радиофизики. Радиофизические задачи, приводящие к интегральным уравнениям. Классификация интегральных уравнений. Интегральные уравнения Фредгольма и Вольтерра.

Решение уравнений Фредгольма второго рода методом последовательных приближений. Условие сходимости метода.

Метод моментов для уравнения Фредгольма второго рода. Система базисных. Невязка и ее минимизация.

Решение интегральных уравнений второго рода методом замены ядра на вырожденное.

Квадратурные методы для уравнений Фредгольма и Вольтерра.

Интегральные уравнения Фредгольма первого рода и некорректные задачи. Метод регуляризации по Тихонову.

Моделирование случайных величин и процессов. Моделирование случайных величин с заданным законом распределения. Алгоритмы генерации равномерно распределенных случайных чисел. Генераторы гауссовских случайных последовательностей. Алгоритм Метрополиса.

Метод Монте-Карло. Метод Монте-Карло в задачах электростатики.

Модели случайных процессов. Динамические сигналы со случайными начальными условиями.

Динамические модели хаотических процессов. Модель Лоренца. Странный аттрактор.

Метод имитационного моделирования в радиофизике.

Основная литература

1. Карлов Н.В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.
2. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. 3-е изд. М.: Наука, 2000. 560 с.
3. Кузнецов А.П., Кузнецов С.П., Рыскин Н.М. Нелинейные колебания. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 292 с.
4. Г.С.Горелик Г.С. Колебания и волны. 3-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 656 с.
5. Неганов В.А., Осипов О.В., Раевский С.Б., Яровой Г.П. Электродинамика и распространение радиоволн. 4-е изд. М.: Радиотехника, 2009. 744 с.
6. Стратонович Р.Л. Случайные процессы в динамических системах. М.–Ижевск: РХД, 2009. 592 с.
7. Штыков В.В. Квантовая радиофизика. М.: Академия, 2009. 336 с.
8. Неганов В.А., Табаков Д.П., Яровой Г.П. Современная теория и практические применения антенн. М.: Радиотехника, 2009. 720 с.
9. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. 3-е изд. СПб.: ВНУ, 2011. 768 с.
10. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. 3-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 636 с.
11. Формалев В.Ф., Ревизиков Д.Л. Численные методы. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 400 с.
12. Зализняк В.Е. Основы вычислительной физики. Часть I. Введение в конечно-разностные методы. М.: Техносфера, 2008. 224с.

Дополнительная литература

1. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Наука, 1981.
2. Мигулин В.В., Медведев В.И., Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. Основы теории колебаний. М.: Наука, 1988.
3. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М.: Наука, 1974.
4. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 1: Случайные процессы. М.: Наука, 1976.
5. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Ч. 2: Случайные поля. М.: Наука, 1978.
6. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. М.: Наука, 1981.
7. Пантелл Р., Путхоф Г. Основы квантовой электроники. М.: Мир, 1972. 384 с.
8. Звелто О. Принципы лазеров. 3-е изд. М.: Мир, 1990. 558 с.
9. Ханин Основы динамики лазеров. М.: Наука. ФИЗМАТЛИТ, 1999. 386 с.
10. Фейнберг Е. Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. М.: Наука, 1999.
11. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. 3-е изд. М.: Наука, 1989. 536 с.
12. Численные методы. Сборник задач/ Под ред. У.Г. Пирумова. М.: Дрофа, 2007. 144 с.