

**Акционерное общество  
«Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и  
информационных систем»**

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора  
по науке

  
\_\_\_\_\_ А.А. Романов

« 19 » мая 2018 г.

**ПРОГРАММА  
кандидатского экзамена**

**Направление подготовки:**

11.06.01. Электроника, радиотехника и системы связи

**Направленность:**

Радиолокация и радионавигация

Всего на подготовку: 36 часов

## СОДЕРЖАНИЕ

### АННОТАЦИЯ

Настоящая программа базируется на вузовских дисциплинах, соответствующих государственному образовательному стандарту по направлению «Радиотехника»: «Радиотехнические цепи и сигналы», «Электродинамика и распространение радиоволн», «Схемотехника аналоговых электронных устройств», «Цифровые устройства и микропроцессоры», «Устройства СВЧ и антенны», «Электроника», «Устройства генерирования и формирования сигналов», «Устройства приема и преобразования сигналов», «Вычислительные устройства и системы», «Радиотехнические системы», «Статистическая теория радиотехнических систем».

### ТЕМЫ

**Тема 1.** Статистическая теория обработки сигналов в радиотехнических системах. Сообщения, сигналы и помехи. Передача, извлечение и разрушение информации. Радиосигналы. Радиосигналы с амплитудной и угловой (частотной и фазовой) модуляцией и их спектры. Радиосигналы со сложной (смешанной) модуляцией и их спектры. Шумы и помехи как случайные процессы. Плотности распределения вероятностей, характеристические функции и функции распределения случайных процессов. Энергетические характеристики случайных процессов. Моментные и корреляционные функции. Спектральная плотность. Свойства корреляционных функций. Теорема Винера-Хинчина. Стационарность и эргодичность случайных процессов. Автокорреляционные и взаимные корреляционные функции. Непрерывность и дифференцируемость случайных процессов. Интегрирование случайных процессов. Гауссовский случайный процесс и его характеристики. Процессы близкие к гауссовскому. Импульсные и точечные случайные процессы. Марковские процессы. Узкополосные случайные процессы. Статистические характеристики огибающей, фазы и их производных для суммы сигнала и узкополосного шума. Выбросы случайных процессов. Критерии и решающие правила оптимального обнаружения: критерий Байеса, минимаксный критерий, критерий Неймана-Пирсона, критерий Вальда и др. Показатели качества обнаружения сигналов. Методы синтеза оптимальных обнаружителей. Обнаружение детерминированных и квазидетерминированных сигналов на фоне «белого» шума. Обнаружение пачек когерентных и некогерентных радиоимпульсов в «белом» шуме. Корреляционная, фильтровая и корреляционно-фильтровая обработка сигналов. Обнаружение детерминированных и квазидетерминированных сигналов, в том числе и многоканальное, на фоне гауссовых коррелированных помех. Обесцвечивающие фильтры. Обнаружение сигналов в негауссовых помехах. Обнаружение пространственно-временных сигналов, многоканальная схема обработки. Условия разделения пространственно-временной обработки на отдельные пространственную и временную. Пространственный фильтр и коррелятор. Реализация пространственных фильтров и корреляторов с помощью ФАР. Информативные и неинформативные параметры сигналов. Оценки параметров сигналов. Байесовские и небайесовские оценки и их свойства. Оценка максимального правдоподобия и ее свойства. Неравенство Крамера-Рао. Потенциальная точность измерения параметра. Многоканальный и следящий измерители. Оценивание энергетических и неэнергетических параметров сигнала на фоне «белого» шума. Функция рассогласования сигнала и ее связь с потенциальной точностью измерений. Оценивание времени запаздывания, частоты и фазы различных моделей сигнала. Оценивание параметров стохастических сигналов. Виды оценивания: фильтрация, интерполяция и экстраполяция. Байесовские правила оценивания. Марковская аппроксимация сигналов. Стохастическое уравнение оптимальной фильтрации (уравнение Стратоновича). Линейная

фильтрация. Непрерывный и дискретный фильтр Калмана. Нелинейная фильтрация. Синтез алгоритмов методом гауссовского приближения. Оценочно-корреляционная обработка сигналов. Параметрическая и непараметрическая априорная неопределенность. Методы синтеза алгоритмов обработки при параметрической априорной неопределенности. Адаптивные алгоритмы. Адаптивные многоканальные (в том числе двухканальные) компенсаторы помех с корреляционной обратной связью. Автокомпенсаторы коррелированных помех. Методы синтеза алгоритмов при непараметрической априорной неопределенности. Использование знаковых, порядковых и ранговых статистик для обнаружения сигналов. Робастное оценивание параметров сигнала. Оценки типа максимального правдоподобия (М-оценки). Робастное обнаружение. Адаптивно-робастное обнаружение.

Робастное оценивание времени запаздывания, частоты и фазы различных моделей сигнала. Общие сведения о разрешении и распознавании сигналов (объектов). Характеристики (признаки) объектов и сигналов, используемые для разрешения и распознавания. Взаимосвязь задач разрешения и распознавания. Показатели качества разрешения и распознавания и решающие правила. Упрощенная процедура распознавания. Алгоритмы разрешения и распознавания детерминированных и квазидетерминированных сигналов. Связь разрешающей способности с функцией рассогласования. Меры разрешающей способности. Разрешающая способность по времени запаздывания и по частоте. Цифровые методы обработки сигналов. Дискретизация сигналов по времени и квантование по уровню. Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и выбор параметров кода. Методы синтеза алгоритмов и устройств цифровой обработки сигналов. Цифровая фильтрация и цифровые фильтры. Ошибки квантования и округления. Методы расчета цифровых фильтров. Коэффициент передачи и импульсная характеристика цифровых фильтров. Цифровая фильтрация во временной и частотной областях. Цифровой спектральный анализ. Быстрое преобразование Фурье. Цифровая обработка многомерных сигналов и изображений. Искусственные нейронные сети (ИНС). Обучающиеся и самообучающиеся ИНС. Обработка сигналов с помощью ИНС. Распознавание сигналов и образов объектов с помощью ИНС.

**Тема 2.** Системы и устройства радиолокации. Области применения и задачи радиолокации. Виды радиолокации. Обзор пространства. Виды обзора, зона обзора и время обзора. Физические основы радиолокации. Эффективная площадь рассеяния (ЭПР) целей. Поляризация матрица рассеяния. Модели реальных точечных и протяженных целей. Наблюдаемость точечных целей на фоне протяженных (радиолокационный контраст). Дальность действия РЛС. Влияние атмосферы и подстилающей поверхности на дальность действия РЛС. Устройства обнаружения (обнаружители) радиолокационных сигналов. Структуры обнаружителей. Обнаружители пачек когерентных и некогерентных радиоимпульсов на фоне шума и коррелированных помех. Цифровые обнаружители. Знаковые, ранговые, робастные и адаптивные обнаружители. Методы стабилизации уровня ложных тревог. Пороговая мощность радиолокационного сигнала. Разрешающая способность по дальности, угловым координатам и скорости. Выбор зондирующего сигнала. Простые и сложные сигналы. Двумерная корреляционная функция (ДКФ) зондирующего сигнала. Функция неопределенности (ФН) и диаграмма неопределенности (ДН) радиолокационных сигналов. Методы измерения координат и параметров движения целей. Следящие и несledящие измерители. Фазовые, частотные и импульсные дальномеры. Радиодальномеры со сложными сигналами. Пределы однозначного измерения, разрешающая способность и точность радиодальномеров. Измерители радиальной скорости целей. Пределы однозначного измерения, разрешающая способность и точность измерителей скорости. Амплитудные и фазовые одноканальные пеленгаторы. Амплитудные, фазовые и суммарно-разностные моноимпульсные пеленгаторы. Пределы

однозначного измерения, разрешающая способность и точность пеленгаторов. Измерители угловых скоростей. Пассивные, активные и комбинированные помехи. Характеристики помех. Борьба с пассивными помехами. Селекция движущихся целей (СДЦ). Когерентно-импульсные РЛС. Режекция пассивных помех с помощью гребенчатых фильтров (РГФ). Цифровые РГФ. Качество подавления помех. РЛС с синтезированной апертурой (РСА). Выбор параметров РСА и структуры цифровой обработки. Радиоинтерферометры со сверхдлинной базой. Апертурный синтез. Радиовидение. Пространственно-временная обработка сигналов. Автокомпенсаторы активных помех. Вторичная обработка радиолокационной информации. Обнаружение и сопровождение траекторий. Калмановская фильтрация траекторий. Многопозиционная радиолокация. Обнаружение сигналов теплового радиоизлучения. Схемы радиометров. Методы и устройства измерения координат источников теплового радиоизлучения. Подповерхностная радиолокация. Нелинейная радиолокация.

**Тема 3.** Системы и устройства радионавигации. Методы определения местоположения объекта и способы вывода его в заданную точку пространства. Принципы радионавигации и методы технической реализации радионавигационных систем (РНС) и устройств (РНУ). Методы радиоуправления в радионавигации. Элементы теории автоматического управления объектами. Контур следящего управления и его основные звенья. Командное следящее радиоуправление, автономное радиоуправление, радиоуправление при наведении по лучу, управление космическими аппаратами. Особенности радиолиний управления объектами. Автономные РНС: системы счисления пути. Радиосистемы навигации по геофизическим полям Земли. Радиовысотометры и доплеровские измерители скорости и угла сноса летательных аппаратов (ДИС). Корреляционно-экстремальные измерители скорости. Обзорно-сравнительные радионавигационные системы. Системы навигации по рельефу и карте местности. Комплексование навигационных систем с радиотехническими и нерадиотехническими датчиками. Интегрированные РНС. Радиосистемы дальней навигации (РСДН). Построение глобальных и региональных РСДН. Фазовые и импульсно-фазовые РСДН, использующие дальномерные и разностно-дальномерные методы определения местоположения. Погрешности РСДН. Спутниковые радионавигационные системы (СРНС). Передача сведений об орбитах спутников потребителю для целей навигации. Особенности построения и функционирования СРНС. Влияние атмосферы и космической среды на характеристики СРНС. Методы определения местоположения в СРНС: доплеровский, дальномерный, разностно-дальномерный. Радиосистемы ближней навигации (РСБН). Радиосистемы посадки летательных аппаратов. Точность определения местоположения в позиционных РНС. Линии и поверхности положения. Ошибки линий положения. Ошибки определения местоположения на плоскости и в пространстве. Эллипс и эллипсоид ошибок положения. Рабочие зоны РНС. Геометрический фактор. Подсистемы управления, космически аппаратов и потребителей. Взаимодействие подсистем. Понятие о данных эфемерид и альманаха в СРНС. Структура сигналов СРНС. Несущие частоты, типы модулирующих кодов, структуры навигационных сообщений, метки времени. Методы разделения спутниковых сигналов в приемном устройстве.

Алгоритмы обработки навигационных сообщений. Вычисление поправок к шкале времени спутников. Переход со шкалы времени системы на шкалы государственных эталонов. Методы определения местоположения и составляющих векторы скорости навигационных приемников в системах ГЛОНАСС и GPS.

**Тема 4.** Особенности передачи информации в многопозиционных радиолокационных и радионавигационных системах. Задачи передачи информации. Радиолинии. Диапазон радиоволн в системах передачи информации. Виды радиосистем передачи информации (РСПИ): связные, телеметрические и командные. Канал связи и его

характеристики. Пропускная способность канала. Структура радиосигналов. Методы модуляции и кодирования. Защита информации. Критерии качества РСПИ. Цифровые РСПИ.

**Тема 5.** Системы и устройства разрушения информации. Область применения и задачи систем разрушения информации (радиоэлектронной борьбы – РЭБ). Радиотехническая разведка (РТР). Построение систем и устройств РТР. Определение параметров радиосигналов радиотехнических систем различного назначения средствами РТР. Методы определения местоположения радиоэлектронных систем (РЭС). Эффективность средств РТР. Методы и средства разрушения информации. Генераторы активных помех. Виды активных помех: заградительные, прицельные, ответные и имитационные. Радиоэлектронная маскировка. Характеристики качества радиомаскировки. Скрытность и незаметность. Общие методы маскировки объектов и уменьшения радиоконтраста РЭС. Использование широкополосных (ШПС) и сверхширокополосных сигналов (СШПС). Маскировка с помощью пассивных помех. Основные организационные методы помехозащиты. Изменение параметров радиосигнала в процессе работы, борьба с помехами с помощью устройств селекции радиосигналов. Защита РЭС от воздействия средств поражения. Эффективность средств РЭБ.

**Тема 6.** Радиолокационные устройства в биологии, медицине, метрологии и других отраслях. Задачи локационных устройств и устройств точного позиционирования в биологии, медицине, метрологии и других отраслях. Использование ультразвуковых сигналов для медицинской диагностики и дефектоскопии. Медицинские телевизионные устройства, устройства СВЧ, радиометрии, интроскопии, томографии, кардиографии и т. п.

**Тема 7.** Проектирование и конструирование радиоэлектронных средств. Зависимость технических требований к РЭС от их назначения и условий эксплуатации. Технологичность конструкции. Методы стандартизации в конструировании. Компоновка и комплексная микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Интегральная микросхемотехника, большие (БИС) и сверхбольшие (СБИС) интегральные схемы. Печатный монтаж. Ремонтопригодность РЭА. Способы защиты РЭА от воздействия окружающей среды, динамических перегрузок и электромагнитного излучения. Тепловой режим РЭА. Надежность РЭА.

**Тема 8.** Излучение, распространение и прием радиоволн. Уравнения Максвелла. Граничные условия. Энергия электромагнитного поля. Свободные электромагнитные волны и решение однородных уравнений электродинамики. Плоские волны на границе раздела однородных сред. Рефракция радиоволн в неоднородных средах. Решение электродинамической задачи рассеяния радиоволн на телах заданной формы. Распространение радиоволн в природных условиях. Явления дифракции и интерференции. Канализация радиоволн. Волноводы и фидеры. Теория цепей СВЧ. Электромагнитные резонаторы. Взаимные и невзаимные устройства СВЧ. Элементы теории антенн. Типы направляющих систем. Элементарные излучатели. Ближняя и дальняя зоны. Приемная и передающая антенны, их параметры и характеристики. Влияние вида распределения электромагнитного поля в раскрыве антенны на основные параметры антенн.

Техническая реализация антенн в различных диапазонах радиоволн.

**Тема 9.** Устройства генерирования и формирования сигналов. Генераторы и автогенераторы в РЛС и РНС. Режимы самовозбуждения, их особенности. Стабильность частоты и методы ее повышения. Стабилизация с помощью высокочастотных колебательных систем (резонаторов). Кварцевые генераторы. Квантовые эталоны частоты. Умножители частоты. Синтезаторы частот. Факторы, ограничивающие мощность

генераторов. Суммирование мощностей генераторов. Управление колебаниями (модуляция) в РЛС и РНС. Основы теории линейной и нелинейной модуляции (манипуляции). Генерация и усиление СВЧ колебаний. Основные типы генераторов и усилителей СВЧ в РЛС и РНС.

**Тема 10.** Устройства приема и преобразования сигналов. Основные типы радиоприемных устройств в РЛС и РНС. Узлы радиоприемников, их схемные решения и расчет. Преобразователи частоты сигналов, смесители и гетеродины. Частотный план радиоприемника. Детекторы сигналов: амплитудные, частотные и фазовые. Усилители различных частотных диапазонов. Автоматические регулировки в радиоприемниках. Элементная база радиоприемных устройств. Методы проектирования радиоприемников. Моделирование радиоприемников и их элементов. Вторичные источники электропитания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонов, В.И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем: Учебное пособие для вузов / В.И. Тихонов, В.Н. Харисов. Изд. 3-е – М.: Горячая линия - Телеком, 2015.
2. Воскресенский Д. И., Гостюхин В. Л., Максимов В. М., Пономарев Л. И. Антенны и устройства СВЧ: Учебник для вузов / Под ред. Д. И. Воскресенского. Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: Радиотехника, 2006.
3. Электронные устройства СВЧ. Книги 1, 2. Под ред. И.В. Лебедева. М.: Радиотехника, 2008.
4. Коновалов Г.Ф. Радиоавтоматика: Учебник для вузов. – М.: ИПРЖР, 2004.
5. Бакулев П.А., Сосновский А.А. Радионавигационные системы. – М.: Радиотехника, 2005.
6. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1992.
7. Радиосистемы передачи информации: Учебное пособие для вузов под ред. И. Б. Федорова и В. В. Калмыкова. -М.: Горячая линия - Телеком, 2005.
8. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: Учебник для вузов. – М.: Радиотехника, 2007.
9. Бакулев П.А., Сосновский А.А. Радиолокационные системы: Лабораторный практикум. – М.: Радиотехника, 2007
10. Радиотехнические системы: Учебник для вузов/Под ред. Ю.М. Казаринова. М.: Изд. Дом «Академия», 2008
11. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: Справочник / Под ред. Я. Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007.
12. Цифровые процессоры обработки сигналов: Справочник / Под ред. А.Г. Остапенко. – М.: Радио и связь, 1994.
13. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – Киев: Изд-во ВЦ, 2000.
14. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем: Учебное пособие. – М.: Радиотехника, 2003.
15. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А. И. Перова и В. Н. Харисова. Изд. 4-е, переработанное. – М.: Радиотехника, 2010.
16. Перов, А.И Основы построения спутниковых радионавигационных систем: Учебное пособие для вузов / А.И Перов. – М.: Радиотехника, 2012.
17. Липкин, И.А. Спутниковые навигационные системы / И.А. Липкин. Изд. 2-е – М.: Вузовская книга, 2012.
18. Перунов Ю.М., Фомичев К.И., Юдин Л.М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / Под ред. Ю.М. Перунова. – М.: Радиотехника, 2003.

## Дополнительная литература

1. Гоноровский И.С., Демин М.П. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1994.
2. Ярлыков М.С., Миронов М.А. Марковская теория оценивания случайных процессов. – М.: Радио и связь, 1993.
3. Григорьев А.Д. Электродинамика и техника СВЧ. – М.: Высш. шк., 1990.
4. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / Под ред. В.С. Шебшаевича. – М.: Радио и связь, 1993.
5. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993.
6. Основы радиоуправления: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.А. Вейцеля. – М.: Радио и связь, 1995.
7. Демин В.П., Куприянов А.И., Цветнов В.В. Радиоэлектронная борьба: радиоразведка и радиопротиводействие. – М.: Изд-во МАИ, 1998.
8. Устройства генерирования и формирования радиосигналов / Под ред. Г.М. Уткина, М.В. Благовещенского, В.Н. Кулешова. – М.: Радио и связь, 1994.
9. Самойленко В.И., Пузырев В.А., Грубрин И.В. Техническая кибернетика: Учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во МАИ, 1994.
10. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993.
11. Демин В.П., Куприянов А.И., Цветнов В.В. Радиоэлектронная борьба: радиомаскировка и помехозащита. – М.: Изд-во МАИ, 1999.
12. Спутниковая связь и вещание / Под ред. Л.Я. Кантора. Справочное издание. – М.: Радио и связь, 1997.
13. Окунев Ю.Б. Цифровая передача информации фазоманипулированными сигналами. – М.: Радио и связь, 1991.

Заведующий аспирантурой



А.А. Пальянов