МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Ордена Трудового Красного Знамени
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

«УТВЕРЖДЕНО»
Проректор по научной работе
Ю.Л.Леохин
«21» декабря 2022 г.

ПРОГРАММА-МИНИМУМ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

ПО НАУЧНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

(БАЗОВАЯ ЧАСТЬ)

2.2.16 - «Радиолокация и радионавигация»

Москва, 2022

Программа составлена на основе паспорта научной специальности, согласно Номенклатуре научных специальностей, утвержденной Приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 24 февраля 2021 г. № 118

Программа разработана Московским техническим университетом связи и информатики, согласована с Московским Государственным техническим университетом им. Н. Э. Баумана, Московским энергетическим институтом (техническим университетом), Институтом радиоэлектроники РАН, УМО «ЛЭТИ» по направлению «Радиотехника» и одобрена экспертным советом по электронике, измерительной технике, радиотехнике и связи Высшей аттестационной комиссии Минобразования России.

Составитель программы: к.т.н., доц. каф. БТК Уханов Е.В.

Программа одобрена на заседании кафедры _____, протокол от «___» _____ 2022 г. № ___.

Заведующий кафедрой _____д.в.н., проф. Кубанков А.Н.

Программа утверждена на совете факультета _____, протокол от «___» _____ 2022 г. № _____.

Декан факультета КиИБ _____к.т.н., доц. Иевлев О.П.

1. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

1.1.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. Обеляющие фильтры.

Обнаружение сигналов в негауссовых помехах.

Обнаружение пространственно-временных сигналов, многоканальная схема обработки. Условия разделения пространственно-временной обработки на раздельные 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 Рао-Крамера. 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.

2. РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ.

2.1. 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. Поляризационная матрица рассеяния. Модели реальных точечных и протяженных целей. Наблюдаемость точечных целей на фоне протяженных помех (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 неследящие 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.

2.2. 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. Радиовысотомеры 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.

Комплексирование 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.

2.3.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.

2.4. Системы и устройства разрушения информации.

Область применения и задачи систем разрушения информации (Радиоэлектронная борьба (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.

2.5.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.

3. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН.

3.1.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.

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. Фазированные антенные решетки (ФАР), активные фазированные антенные решетки (АФАР).

Техническая реализация антенн в различных диапазонах радиоволн.

3.2. 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 высокодобротных 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.

3.3. Устройства приема и преобразования сигналов.

Основные типы радиоприемных устройств в РЛС и РНС. Узлы радиоприемников, их схемные решения. 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.

Рекомендуемая основная литература:

1. Радиолокация для всех. В.С. Верба, К.Ю. Гаврилов, Б.Г. Татарский и др., изд. Техносфера, Москва, 2021 г.

2. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск. Тяпкин В.Н. и др., изд. СФУ, Красноярск, 2021 г.

3. Основы радиотехнических систем. Зырянов Ю.Т., Белоусов О.А., Федюнин П.А., изд. Лань, 2021 г.

4. СВЧ – электроника в системах радиолокации и связи, Техническая энциклопедия, Кн. 1, Кн. 2, Белоус А.И., Мерданов М.К., Шведов С.В., 2021 г.

5. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. Кузьмин С.З., 2021 г.

6. Гоноровский И.С., Демин М.П. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов.–5-е изд., перераб. и доп. -М.: Радио и связь, 1994.

7. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. –М.: Радио и связь, 1991.

8. Ярлыков М.С., Миронов М.А. Марковская теория оценивания случайных процессов.–М.: Радио и связь, 1993.

9. Григорьев А.Д. Электродинамика и техника СВЧ.–М.: Высш. шк., 1990.

10. Антенны и устройства СВЧ: Учебник для вузов./ Под ред. Воскресенского Д.И.-М: Издательство МАИ, 1999.

11. Коновалов Г.Ф. Радиоавтоматика: Учебник для вузов.–М: «ИПРЖР» 2004.

12. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации: Учеб. пособие для вузов. –М.: Радио и связь, 1992.

13. Бакулев П.А., Сосновский А.А. Радиолокационные и радионавигационные системы. –М.: Радио и связь, 1994.

14. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. / Под ред. Шабшаевича В.С.-М.: Радио и связь, 1993.

15. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация. –М.: Радио и связь., 1993.

16. Основы радиоуправления: Учеб. пособие для вузов. / Под ред. Вейцеля В.А.-М.: Радио и связь, 1995.

17. Демин В.П., Куприянов А.И., Цветнов В.В. Радиоэлектронная борьба: радиоразведка и радиопротиводействие. –М.: Издательство МАИ, 1998.

18. Устройства генерирования и формирования радиосигналов. /Под ред. Уткина Г.М., Благовещенского М.В., Кулешова В.Н.–М.: Радио и связь, 1994.

19. Радиотехнические системы передачи информации. / Под ред. Калмыкова В.В.-М.: Радио и связь, 1990.

20. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. –Учебник для вузов. «Радиотехника», 2004.

Дополнительная литература:

1. Самойленко В.И., Пузырев В.А., Грубрин И.В. Техническая кибернетика: Учеб. пособие для вузов. –М: Издательство МАИ, 1994.

2. Радиотехнические системы: Учебник для вузов. / Под ред. Казаринова Ю.М.-М.: Высш. шк., 1990.

3. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей.: Пер. с англ. –М.: Радио и связь, 1993.

4. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория.: Справочник./ Под ред. Ширмаана Я.Д.–М.: ЗАО «МАКВИС», 1998.

5. Демин В.П., Куприянов А.И., Цветнов В.В. Рдиоэлектронная борьба: радиомаскировка и помехозащита. –М.: Издательство МАИ, !999.

6. Спутниковая связь и вещание./ Под ред. Кантора Л.Я. Справочное издание.–М.: Радио и связь, 1997.

7. Окунев Ю.Б. Цифровая передача информации фазоманипулированными сигналами. -М.: Радио и связь, 1991.23. Цифровые процессоры обработки сигналов.: Справочник. / Под ред. Остапенко А.Г..-М.: Радио и связь, 1994.

8. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию. – Киев: Издательство ВЦ, 2000.

9. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем. Учебное пособие.–М.: Радиотехника, 2003.

10. Перунов Ю.М., Фомичев К.И., Юдин Л.М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием./ Под ред. Ю.М. Перунова.,–М: Радиотехника. 2003.

11. Основы построения радиоэлектронных средств, А.Н. Соколов, С.Н. Ермак, А.Г. Романович и др., Минск, БГУИР, 2017 г.

12. Основы теории радиолокационных систем, Ю.Ф. Широков, Самара, 2012 г.

13. Радиолокационные системы, П.А. Бакулев, изд. Радиотехника, Москва, 2014 г.

14. Радиолокационные системы, В.П. Бердышев, изд. СФУ, Красноярск, 2012 г.

Примечание:

Основной материал программы, содержащий методы статистической теории обработки сигналов в радиосистемах и радиоустройствах, а также методы синтеза оптимальных алгоритмов и структур обработки сигналов сведен в раздел «Статистическая радиотехника». Он является общим и обязательным для всех соискателей, как теоретическая база для изучения

всех радиотехнических систем и устройств. В соответствии с тематикой диссертации разделы 2 и 3 могут изучаться в сокращенном объеме.

Материалы по электродинамике, распространению радиоволн и радиосистемам передачи информации имеют вспомогательное значение и необходимы для изучения соискателям, ведущим исследования в области радиосистем и устройств, представленных в разделах 2 и 3.