

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе



Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

Направленность (специальность) 05.12.14 Радиолокация и радионавигация

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Проектирование радиолокационных систем»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.2.1

Всего: 108 часов

Семестр 3, в том числе

6 часов – контактная работа,
84 часа – самостоятельная работа,
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, утвержденного приказом Минобрнауки России от 30 июля 2014 г. № 876, и паспорта специальности, указанной в номенклатуре специальностей научных работников 05.12.14 Радиолокация и радионавигация, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является углубленное теоретическое и практическое освоение методологии и средств радиолокации, применяемых при разработке радиолокационных систем.

Задачами дисциплины являются:

- ознакомиться с тенденциями развития теории проектирования радиолокационных систем и с перспективами создания новых образцов радиолокационных средств;
- приобретение навыков принятия и обоснования конкретных технических решений при проектировании радиолокационных систем.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- владение культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- способность разрабатывать эффективные алгоритмы решения научных задач (ПК-1);
- способность реализовать разработанные алгоритмы решения научных задач с использованием современных языков программирования (ПК-2).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- основы теории обнаружения, различения сигналов и оценивания параметров сигналов, отраженных от различных целей (УК-1);
- принципы радиолокации, методы проектирования и реализации радиолокационных устройств (УК-2);
- принципы построения оптимальных устройств обработки сигналов в радиосистемах локации (ОПК-1);

уметь:

- использовать стандартные пакеты прикладных программ для решения практических задач (ОПК-2);
- применять статистические теории обнаружения-различения сигналов, оценивания их параметров и фильтрации информационных процессов (ОПК-3);
- применять алгоритмы и способы реализации цифровой обработки сигналов (ПК-1);

владеть:

- статистическими методами анализа и синтеза радиотехнических систем и устройств (ПК-1);
- методиками расчета основных характеристик радиолокационных систем и комплексов дистанционного зондирования (ПК-2);
- основными понятиями, терминами и определениями в области радиолокационных систем (ПК-1);
- методами излучения и приема радиолокационных сигналов при наличии помех (ПК-2);
- методами реализации цифровой обработки радиолокационных сигналов (ПК-1).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Радиолокационные комплексы, как сложные системы

Структура радиолокационных комплексов (РЛК), определяемая целевыми задачами и условиями работы. Задачи, решаемые РЛК: контроль воздушного и космического пространства, контроль траекторий движения космических аппаратов, радиофизические исследования Земли и планет, океанография, метеорология и др. Принципы системной классификации и описания РЛК. Состав РЛК, требуемые в соответствии с международными нормами тактико-

технические и эксплуатационные характеристики. Основные типы и особенности современных РЛС, входящих в комплекс управления воздушным движением: трассовые обзорные РЛС, метеорологические, РЛС обзора летного поля, обзорно-посадочные и вторичные РЛС.

2. Основные этапы проектирования РЛК

Основные проблемы анализа и синтеза РЛК. Требования, предъявляемые к бортовым и наземным РЛК. Влияние условий распространения радиоволн на работу РЛК. Выбор диапазонов излучения и приема сигналов различного назначения. Особенности применения излучений миллиметрового и декаметрового диапазонов. Современные типовые радиотехнические комплексы.

3. Космические радиотехнические комплексы траекторных измерений и приема телеметрической и научной информации

Оптимизация комплексных систем траекторных измерений. Общая характеристика методов оптимизации. Целевая функция. Выбор параметров оптимизации. Особенности траекторий движения КА и ИСЗ. Определение рационального состава измеряемых параметров и взаимного расположения РЛК при оценке траектории движения объекта в пространстве. Определение методов измерения координат и параметров движения с высокой точностью. Определение параметров траекторий движения КА на основе радиолокационных измерений.

4. Выбор основных тактико-технических показателей

Энергетический расчет радиолинии при воздействии пассивных и активных помех. Проектирование устройств первичной обработки радиолокационных сигналов. Выбор вариантов технической реализации устройств первичной обработки. Проектирование систем вторичной обработки. Селекция объектов на основе вторичных признаков. Методы опознания и определения государственной принадлежности объектов.

5. Радиолокационные системы противовоздушной обороны

Проектирование систем обнаружения малозаметных летательных аппаратов. Методы уменьшения ЭПР целей. Пути повышения дальности и эффективности радиолокационного обнаружения малозаметных целей: повышение энергетического потенциала, улучшение качества обработки сигналов, оптимальный выбор диапазона рабочих частот, оптимальный выбор формы зондирующего сигнала, применение многопозиционных РЛС и РЛС космического базирования.

6. Радиолокационные системы противоракетной обороны

Дальность действия системы обнаружения баллистических ракет и космических аппаратов. Методы обеспечения повышенной пропускной способности РЛС. Особенности проектирования антенных систем, систем обзора пространства. Применение фазированных и адаптивных антенных решеток. Сочетание алгоритмов пространственной и частотно-временной обработки сигналов на фоне помех с произвольной пространственно-временной корреляционной функцией. Применение сложных вычислительных комплексов

при вычислении траектории движения и распознавания объектов. Обеспечение электромагнитной совместимости всех систем в составе РЛК.

7. Загоризонтные РЛС в декаметровом диапазоне

Основные принципы и особенности условий работ. Использование в загоризонтных РЛС поверхностных и пространственных волн. Биостатические ЗГ РЛС. Требования, предъявляемые к антенным системам. Применение фазированных решеток. Выбор формы и параметров зондирующего сигнала, требования к устройствам формирования и обработки сигналов. Адаптивные к условиям распространения и характеристикам помех алгоритмы и устройства обработки сигналов. Построение карт помех. Требования к стабильности опорных генераторов. Применение алгоритмов БПФ для сжатия сложных сигналов, режекции помех и доплеровской фильтрации. Примеры реализации ЗГ РЛС: WARF, австралийская JINDALEE. Применение ЗГ РЛС для обнаружения подводных и воздушных целей, для дистанционного наблюдения за состоянием поверхности океана, для метеорологии и геофизики.

8. Радиолокационные комплексы радиофизических исследований Земли и планет

Радиоастрономические системы. Средства пассивной и активной локации: радиометры, скаттерометры, радиовысотометры. Оценка параметров поверхности на основе радиолокационных измерений. Радиолокационные системы картографирования. Выбор параметров РЛС с синтезированной апертурой (РСА), выбор структурной схемы, проектирование и расчет характеристик устройств пространственной и временной обработки сигналов в РСА.

9. Перспективы и тенденции развития РЛК

Пути повышения качества функционирования РЛК и расширение областей их применения: повышение информативности, расширение возможностей адаптации к изменяющимся внешним условиям, повышение уровня автоматизации и завершенности обработки выходной информации. Многопозиционные РЛС.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 3 семестр - дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля

1. Принципы построения когерентно-импульсных РЛС с селекцией движущихся целей (СДЦ) на фоне пассивных помех (системы с истинной когерентностью, псевдокогерентные и с внешней когерентностью).
2. Назначение блока череспериодной компенсации (ЧПК). Частотные и скоростные характеристики одно-двухкратной системы ЧПК. Борьба со "слепыми" скоростями.

3. Расчет выигрыша M в отношении сигнал/помеха системы СДЦ с одно и двухкратной системой ЧПК. Рекурсивные системы ЧПК. Особенности реализации цифровых систем СДЦ.
4. Влияние нестабильности частоты передатчика, местного и когерентного гетеродинов в системе СДЦ с внутренней когерентностью на коэффициент подавления сигналов от пассивных помех. Каковы допустимые величины этих нестабильностей?
5. Потенциальная точность измерения дальности. Выбор оптимальной формы зондирующих сигналов. Построение оптимального измерителя дальности.
6. Фазовые радиосистемы измерения дальности. Выбор рабочих частот. Условия сопряжения шкал. Точностные характеристики фазовых дальномеров.
7. Дальномерные устройства с ЧМ. Погрешности измерения дальности. Выбор параметров анализатора спектра параллельного и последовательного типов. Погрешности измерения дальности.
8. Импульсные дальномеры. Реализация многоканального цифрового измерителя дальности. Погрешности измерения.
9. Автосопровождение по дальности. Структурные схемы, назначение входящих в нее элементов и их возможная реализация. Погрешности определения дальности.
10. Какие параметры системы АСД влияют на величину скоростной и шумовой ошибки? Как изменится величина этих ошибок, если изменить период повторения РЛС, коэффициент передачи разомкнутой системы?
11. Потенциальная точность измерения радиальной скорости. Выбор оптимальной формы зондирующего сигнала. Построение оптимального измерителя скорости.
12. Беззапросная доплеровская РЛС измерения скорости летательных аппаратов. Требования к стабильности генераторов. Точность измерения скорости.
13. Запросная доплеровская РЛС измерения скорости летательных аппаратов. Требования к стабильности генераторов. Точность измерения скорости.
14. Принципы построения цифровых измерителей частоты Доплера. Погрешности измерения скорости.
15. Радиолокационная система измерения скорости, работающая по отраженному сигналу. Погрешности измерения скорости.
16. Применение следящих фильтров в системах автосопровождения цели по скорости. Сравнение систем с ЧАП и с ФАПЧ.
17. Основные характеристики обзорных систем. Принципы построения систем с пеленгацией по центру пачки. Выбор весовых коэффициентов в случае флуктуирующей и нефлуктуирующей пачки. Потенциальная и реальная точность определения центра пачки.
18. Квазиоптимальные методы определения углового направления по центру пачки. Выбор частоты сканирования.
19. Принципы построения следящего пеленгатора с пеленгацией по центру пачки. Его достоинства и недостатки. Результирующая точность пеленгования.

20. Системы пеленгования, работающие по методу сравнения. Пеленгационная характеристика. Требования к моноимпульсным системам пеленгования. Мультипликативные и аддитивные моноимпульсные системы пеленгования.
21. Амплитудно-амплитудная и фазовая моноимпульсная система пеленгования. Требования к идентичности каналов.
22. Амплитудная суммарно-разностная моноимпульсная система с пеленгацией по азимуту и углу места.
23. Фазовая суммарно-разностная моноимпульсная система пеленгования. Погрешности моноимпульсных суммарно-разностных систем пеленгования.
24. Принципы построения мультипликативных и аддитивных моноимпульсных систем пеленгования. Пеленгование в пространстве. Точностные характеристики моноимпульсных систем определения угловых координат.
25. РЛС картографирования поверхности Земли. Реализация синтезированной апертуры антенны. Алгоритм обработки отраженных сигналов. Выбор параметров РСА.
26. РСА - фокусированный и нефокусированный режимы, оценка разрешающей способности в каждом случае. Выбор основных параметров РСА. Принципы цифровой обработки сигналов в РСА.
27. Блок-схема РСА в комплексе с бортовыми системами КА, функциональная схема ПРМ. Расчет отношения сигнал/шум.
28. Принципы цифровой обработки сигналов в РСА. Методы снижения требуемой производительности РСА.
29. Радиометрические системы обзора поверхности Земли. Понятие яркостной температуры. Выбор частотного диапазона.
30. Синтез оптимального алгоритма реализации энергетического радиометра. Оценка чувствительности радиометра.
31. Схемы компенсационного и модуляционного радиометров. Чувствительность радиометра. Расчет дальности действия радиометра для поверхностно - распределенных и сосредоточенных целей.
32. Сканирующий радиометр. Основные требования, предъявляемые к радиометру. Возможности расширения зоны обзора. Выбор числа каналов. Расчет дальности действия радиометра для поверхностно-распределенных и сосредоточенных целей.
33. Многофункциональный прецизионный радиовысотомер (ПРВ) космического базирования. Назначение и решаемые задачи. Анализ статистических характеристик отраженных сигналов.
34. Реализация скаттерометрического измерителя аэрокосмического базирования. Выбор основных характеристик.
35. Условия наблюдения радиоастрономических объектов. Характеристики излучаемых и принимаемых сигналов.
36. Методы повышения точности и разрешающей способности при наблюдении радиоастрономических объектов.

Вопросы, включенные в билеты для проведения зачетов

1. Прецизионный радиовысотомер (ПРВ) используется для исследования топографии и степени взволнованности поверхности океана из космоса. Для получения в ПРВ флуктуационной погрешности δH не более заданной требуется обеспечить отношение сигнал/шум $(P_c \text{ max} / P_{\text{ш}}) = 20 \text{ дБ}$. Рассчитать требуемую импульсную мощность ПРД, если зондирующий ЛЧМ сигнал имеет следующие параметры: $\Delta f_c = 320 \text{ МГц}$, $\tau_{\text{и}} = 5 \text{ мкс}$, $\lambda = 2 \text{ см}$, $d_a = 80 \text{ см}$, $T_{\text{ш}} = 450^\circ \text{ К}$. Высота $H = 600 \text{ км}$, состояние поверхности: $|K_0| = 0,7$; $\sigma_z = 4 \text{ м}$, $a_{\text{ш}} = 0,37$, потери в трактах ПРВ и на распространение $\eta_{\text{п}} = 10 \text{ дБ}$. Изобразить (качественно) и пояснить характер изменения флуктуационной погрешности измерения высоты от отношения сигнал/шум и высоты морских волн.

2. Рассчитать приращение входной температуры РМ при обнаружении малоразмерной цели (корабля) на фоне морской поверхности с высоты $H = 12 \text{ км}$, если длина СВЧ волны и размер антенны: $\lambda = 2 \text{ см}$, $d_a = 1,5 \text{ м}$; коэффициент рассеяния по боковым лепесткам $\beta_6 = 0,5$; к.п.д. СВЧ тракта $\eta_a = 0,6$; размеры корабля $L_{\text{ц}} = 15 \text{ м}$. Оценить требуемую чувствительность РМ для уверенного обнаружения корабля, если требуется обеспечить выходное отношение сигнал/шум не менее 5. Изобразить функциональную схему модуляционного радиометра.

3. Бортовой РМ самолета (скорость 80 м/с) способен работать в двух режимах: трассерном или сканирующим. В каком режиме работы РМ обладает большей чувствительностью и во сколько раз? Изобразить функциональную схему модуляционного РМ. Оценить требуемую чувствительность РМ в трассерном и сканирующем режиме для уверенного обнаружения автомобиля с высоты $H = 1,5 \text{ км}$, если требуется обеспечить выходное отношение сигнал/шум не менее

4. Ширина ДНА $\Delta \Theta_{\text{гл}} = 1^\circ$; коэффициент рассеяния по боковым лепесткам $\beta_6 = 0,4$; к.п.д. СВЧ тракта $\eta_a = 0,8$; размеры автомобиля $L_{\text{ц}} = 5 \text{ м}$.

4. Оценить разрешающую способность по дальности (Δy) и в азимутальном направлении (Δx) для РСА ИСЗ, если $\Delta f_c = 20 \text{ МГц}$, угол облучения $\beta = 40^\circ$, размер антенны в азимутальном направлении $d_a = 15 \text{ м}$, $\lambda = 8 \text{ см}$, время синтеза 80 мс , количество частотных каналов 16, зона обзора 70 км , $H = 400 \text{ км}$. Определить $T_{\text{п}}$, размер антенны в угломестном направлении, количество дальномерных каналов, ширину полосы обрабатываемых доплеровских частот и требуемую производительность системы обработки.

5. Оценить разрешающую способность по дальности Δy , длину синтезированной антенны $L_{\text{син}}$ и необходимое количество частотных каналов, если $\Delta f_c = 15 \text{ МГц}$, угол облучения $\beta_0 = 25^\circ$, кратность некогерентного накопления $m_0 = 4$, разрешающая способность $\Delta x = 25 \text{ м}$, размер антенны $d_a = 14 \text{ м}$, $\lambda = 10 \text{ см}$, $H = 600 \text{ км}$. Оценить время синтеза $T_{\text{син}}$ и требуемую стабильность несущей частоты. Построить (качественно) и пояснить зависимость разрешающей способности Δx от наклонной дальности для РЛС: а) с синтезированной апертурой антенны при фокусированной и не фокусированной обработке, б) при некогерентной обработке.

6. Оценить температурный контраст суша-вода, наблюдаемый РМ и приращение температуры на входе малошумящего СВЧ усилителя (МШУ), если коэффициент рассеяния по боковым лепесткам $\beta_6=0,5$, а к.п.д. тракта $\eta_a=0,7$. Изобразить функциональную схему и рассчитать выходное отношение сигнал/шум для модуляционного РМ, если он имеет следующие параметры: $T_{ш}=400^\circ\text{К}$, $\Delta f_{\text{вх}}=400\text{МГц}$, $\tau_{\text{сгл}}=1\text{с}$.

7. Прецизионный радиовысотомер (ПРВ) используется для исследования топографии и степени взволнованности поверхности океана из космоса. Из каких соображений в космическом ПРВ выбираются параметры зондирующего сигнала: Δf , $\tau_{\text{и}}$, $T_{\text{п}}$, а также характеристики СФ? Какой метод обработки в следящей системе ПРВ предпочтительней локальный или интегральный? Их достоинства и недостатки. Требуется обеспечить отношение сигнал/шум ($P_{\text{с max}}/P_{\text{ш}})=10\text{дБ}$. Рассчитать требуемую импульсную мощность ПРД зондирующего ЛЧМ сигнала, если: $\lambda=2\text{см}$, $d_a=100\text{см}$, $T_{ш}=500^\circ\text{К}$, высота $H=800\text{км}$, состояние поверхности: $|K_0|=0,7$; $\sigma_z=4\text{м}$, $a_{ш}=0,37$, потери в трактах ПРВ и на распространение $\eta_{\text{п}}=10\text{дБ}$. Параметры зондирующего сигнала выбрать: Δf с =мГц, $\tau_{\text{и}} = \dots\text{мкс}$.

8. Оценить разрешающую способность по дальности (Δy) и в азимутальном направлении (Δx) для РСА ИСЗ, если Δf с=20МГц, угол облучения $\beta=40^\circ$, размер антенны в азимутальном направлении $d_a=15\text{м}$, $\lambda=8\text{см}$, время синтеза 80мс, количество частотных каналов 16, зона обзора 70км, $H=400\text{км}$. Определить $T_{\text{п}}$, размер антенны в угломестном направлении, количество дальномерных каналов, ширину полосы обрабатываемых доплеровских частот и требуемую производительность системы обработки.

9. Бортовой РМ вертолета (скорость 20 м/с) способен работать в двух режимах: трассерном или сканирующим. В каком режиме работы РМ обладает большей чувствительностью и во сколько раз? Изобразить функциональную схему модуляционного РМ. Оценить требуемую чувствительность РМ в трассерном и сканирующем режиме для уверенного обнаружения металлической противотанковой мины с высоты $H=100\text{ м}$, если требуется обеспечить выходное отношение сигнал/шум не менее 3. Длина СВЧ волны и размер антенны: $\lambda=1\text{см}$, $d_a=1\text{м}$; коэффициент рассеяния по боковым лепесткам $\beta_6=0,4$; к.п.д. СВЧ тракта $\eta_a=0,9$; диаметр мины $L_{\text{ц}}=0,3\text{м}$.

10. Оценить температурный контраст суша-вода, наблюдаемый РМ и приращение температуры на входе малошумящего СВЧ усилителя (МШУ), если коэффициент рассеяния по боковым лепесткам $\beta_6=0,5$, а к.п.д. тракта $\eta_a=0,7$. Изобразить функциональную схему и рассчитать выходное отношение сигнал/шум для модуляционного РМ, если он имеет следующие параметры: $T_{ш}=400^\circ\text{К}$, $\Delta f_{\text{вх}}=400\text{МГц}$, $\tau_{\text{сгл}}=1\text{с}$.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Вопросы перспективной радиолокации. //Под ред. профессора А.В. Соколова. М.: Радиотехника, 2011.
2. Баскаков А.И., Жутяева Т.С., Лукашенко Ю.И., Терехов В.А. Радиолокационные и радионавигационные измерительные системы. М.: Учебное методическое пособие МЭИ, 2008.
3. Бакулев П.А.. Радиолокационные системы. М.: Радиотехника, 2007.
4. Радиотехнические системы. Учебник. Под ред. Ю.М. Казаринова. М.: Академия, 2008.
5. Баскаков А.И., Жутяева Т.С., Лукашенко Ю.И. Локационные системы исследования объектов и сред. Учебник // Под ред. проф. А.И. Баскакова. М.: Академия, 2011.
6. Вопросы подповерхностной радиолокации // Под ред. А.Ю. Гринева. М.: Радиотехника, 2005.
7. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. Учебное пособие// Под ред. проф. Г.С. Кондратенкова. М.: Радиотехника, 2005.

Дополнительная литература:

1. Баскаков А.И., Жутяева Т.С., Лукашенко Ю.И. Зондирующие радиолокационные сигналы. Учебное пособие. Издательский Дом МЭИ, 2011.
2. Объекты радиолокации. Обнаружение и распознавание. Под ред. д.т.н., проф. А.А. Соколова. М.: Радиотехника, 2011.
3. Баскаков А.И., Жутяева Т.С., Лукашенко Ю.И. Цифровые процессоры некогерентной обработки сигналов в обзорных РЛС. Методическое пособие. М.: Издательский Дом МЭИ, 2012.
4. Методы исследования радиолокационных характеристик объектов. Под ред. С.В. Ягольников. М.: Радиотехника, 2012.

Электронные образовательные ресурсы:

www.dsps.ru; www.sirenta.com; www.hittite.com