

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра радиотехнических систем

***ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ***

по дисциплине «Радиотехнические системы»  
для студентов специальности 39 01 01 «Радиотехника»  
заочной формы обучения

Минск 2003

УДК 621.396.2 (075.8)  
ББК 32.841 я 73  
П 78

Составитель  
В.В. Лущицкий

**Программа**, методические указания и контрольные задания по дисц.  
П 78 «Радиотехнические системы» для студ. спец. 39 01 01 «Радиотехника» за-  
очной формы обучения / Сост. В.В. Лущицкий. – Мн.: БГУИР, 2003. –  
26 с.

Данные методические материалы являются руководством при самостоятельном изучении дисциплины «Радиотехнические системы». В основу положены материалы программы, разработанной на кафедре РТС – протокол № 8 от 10.03.2003.

УДК 621.396.2(075.8)  
ББК 32.841 я 73

© Лущицкий В.В, составление, 2003  
© БГУИР, 2003

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

1.1. Цели преподавания дисциплины

1.2. Задачи изучения дисциплины

2. Программа изучения дисциплины

3. Методические указания

4. Контрольное задание № 1

5. Контрольное задание № 2

Литература

Библиотека БГУИР

# 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

## 1.1. Цели преподавания дисциплины

Курс РТС, интегрирующий накопленные знания, является завершающим в цикле радиотехнических дисциплин. Содержание материала предполагает, что студентами усвоены основные положения предшествующих дисциплин, и прежде всего статистической радиотехники, радиоприемные и передающие устройства, антенны, радиоавтоматика и распространение радиоволн. В курсе с обобщенных позиций на основе системного подхода определяются взаимосвязь между составными частями основных типов имеющихся в настоящее время радиосистем, требования к их параметрам. Рассматриваются различные сигналы, методы выбора структуры РТС при их разработке, методы формализации задач и обоснования критериев качества системы.

В курсе изучаются радиотехнические системы обработки координатной информации о различных объектах (их иногда называют системы «извлечения информации»). Рассматривается класс систем, в которых из сигналов, полученных в процессе отражения, переизлучения или излучения, извлекают информацию о координатах объектов.

## 1.2. Задачи изучения дисциплины

В результате изучения дисциплины студенты должны знать:

– основные методы анализа и синтеза устройств обнаружения сигналов и измерения их параметров; принципы определения координат и параметров движения объектов, принципы построения систем местоопределения; основные способы обеспечения электромагнитной совместимости устройств и систем; способы радиоуправления движущимися объектами, принципы и структуры построения систем телеуправления, самонаведения и инструментальной посадки, радиотехнических систем навигации;

должны уметь:

– определять структуру оптимальных устройств обработки сигналов, оценивать характеристики таких устройств; определять по заданным требованиям технические параметры системы, характеристики и структуру устройств, входящих в систему, производить оценку найденных решений по эффективности; составлять блок-схему алгоритма решения поставленной задачи средствами вычислительной техники; пользоваться стандартами и справочниками при проектировании РТС.

## 2. ПРОГРАММА ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### Наименования тем и их содержание

#### Тема 1. Общие сведения о системах радиолокации, радионавигации и радиоуправления

Основные определения радиосистем. Назначение систем радиолокации, радионавигации и радиоуправления. Понятие радиокомплексов (радиокомплексы искусственных спутников Земли, космических аппаратов, противовоздушной обороны).

Физические основы обнаружения объектов и определения их координат в пространстве. Функциональная схема РЛС кругового обзора. Проблема обнаружения и разрешения объектов. Виды радиообнаружения (активное, активное с активным ответом, полуактивное и пассивное). Основное уравнение дальности обнаружения. Функциональная схема радионавигационной системы. Проблема определения местоположения объектов на плоскости и в пространстве. Методы местоопределения объектов (пеленгационный, дальномерный, разно-стно-дальномерный и дальномерно-пеленгационный). Проблема определения траекторий объектов. Физические основы измерения радиальной составляющей скорости объектов. Обобщенная функциональная схема радиолокационной станции. Виды выходных устройств (индикаторные устройства, системы автоматического сопровождения и устройства сопряжения с ЭВМ).

Основные тактические параметры систем (назначение систем, пределы действия, вид и время обзора, количество определяемых координат, точность определения координат, разрешающая способность, помехозащищенность и надежность).

Основные технические параметры систем (несущая частота, вид модуляции и ее параметры, мощность генератора высокой частоты, чувствительность приемника, параметры антенн, параметры выходных устройств и др.).

Краткая история и современные тенденции развития радиосистем. Предмет и задачи курса.

#### Вопросы для самопроверки

1. Кратко опишите физические явления, обуславливающие возможность обнаружения объекта в пространстве и определения его координат.

2. В каких параметрах сигнала содержится информация об объектах и с помощью каких основных устройств она из них извлекается?

3. Объясните, почему задачи обнаружения объекта и определения его координат считают проблемными.

4. Перечислите и обоснуйте основные требования разработчика радиосистем к параметрам приемного устройства.

5. Перечислите и обоснуйте требования разработчика радиосистем к параметрам передающего устройства.
6. Обоснуйте целесообразность применения дискретной техники в современной радиосистеме.
7. Перечислите основные тактические требования к радиотехнической системе и определите влияние технических параметров системы на эти требования.
8. Опишите принцип работы разностно-дальномерной системы и обоснуйте целесообразность ее применения в радионавигации.
9. Перечислите основные факторы, обуславливающие появление радиолокационных систем.
10. Укажите основные направления развития радиотехнических систем в настоящее время.

## **Тема 2. Рассеивающие свойства объектов**

Рассеивающие свойства элементарных «точечных» объектов (шар, полуволновой вибратор, плоская поверхность). Понятие групповой цели. Рассеивающие свойства самолетов, ракет, спутников Земли, кораблей.

Законы распределения амплитуды отраженных сигналов и эффективной площади рассеяния (ЭПР). Рассеивающие свойства земной и водной поверхностей. Эффективная поверхность объемных распределенных объектов.

Автокорреляционные функции и энергетические спектры отраженных сигналов. Ширина спектра и интервал корреляции.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Поясните особенности зеркального, полудиффузного и диффузного рассеяния. Закон Ламберта. Роль высоты и периода «шероховатости».
2. Нерезонансное и резонансное вторичное излучение.
3. Основные характеристики объектов (простых и сложных, сосредоточенных и распределенных, одиночных и групповых).
4. Понятия о способах вычисления ЭПР металлического шара, дипольного отражателя, цилиндра и конуса, уголкового отражателя, металлической ленты и листа.
5. Определите, как связаны между собой плотность вероятности поверхности рассеяния и амплитуды отраженного сигнала.
6. Определите, как связана ширина спектра флюктуации отраженного сигнала с электрическим размером объекта и скоростью вращения объекта.
7. Поясните, как влияют статистические параметры ЭПР (плотность вероятности и спектр флюктуации) на характеристики обнаружения объекта.
8. Определите (качественно) влияние тех же статистических параметров на точность сопровождения.
9. Опишите физическую сущность «угловых шумов».

10. Какими параметрами следует характеризовать ЭПР облака дипольных отражателей?

11. Чем определяется ЭПР земной поверхности?

### Тема 3. Обнаружение сигналов

Проблема обнаружения сигнала. Статистическая трактовка задачи выделения сигналов на фоне помех. Функция правдоподобия. Статистические критерии обнаружения. Критерии Неймана-Пирсона. Принципы оптимальной обработки (согласованной фильтрации) одиночного радиоимпульса и структура соответствующего устройства. Характеристики обнаружения сигнала и пороговая мощность.

Оптимальная обработка пачки когерентных радиоимпульсов и структура устройства обработки. Характеристики обнаружения и пороговая мощность при нефлюктуирующих, дружно флюктуирующих и независимо флюктуирующих импульсах. Квазиоптимальная обработка пачки когерентных радиоимпульсов. Устройства для оптимальной обработки («сжатия») широкополосных сигналов.

Оптимальная обработка пачки некогерентных радиоимпульсов и структура устройства обработки. Характеристики обнаружения и пороговая мощность при нефлюктуирующих, дружно флюктуирующих и независимо флюктуирующих импульсах. Накопительные устройства видеоимпульсов и их эффективность. Рециркулятор. Накопительные устройства квантованных видеоимпульсов и их эффективность. Использование когерентно-оптических средств для согласованной фильтрации (накопления) радиосигналов.

Принципы оптимального разрешения объектов. Понятие о вторичной радиолокационной информации.

### Вопросы для самопроверки

1. От каких параметров сигнала и порогового устройства зависит вероятность правильного обнаружения?

2. Чем определяется вероятность ложной тревоги (уровень ложных тревог) и как на практике обеспечивается постоянство вероятности ложной тревоги?

3. Опишите физическую сущность согласованной фильтрации простого и широкополосного радиоимпульсов.

4. Покажите, когда для описания свойств радиосигналов следует использовать амплитудно-фазовую спектральную плотность и спектральную плотность мощности.

5. Покажите, почему плотность вероятности шумовой помехи на выходе приемного устройства (до детектора) чаще всего описывается нормальным законом.

6. Какой будет плотность вероятности шумовой помехи после линейного и квадратичного детекторов и почему?

7. Поясните, почему форма сигнала на выходе согласованного фильтра изменяется по сравнению с формой на его входе. Приведите примеры одиночного и «пачечного» сигналов.

8. Опишите структурную схему устройства, производящего цифровую обработку пачки импульсов по критерию «из». За счет чего эта обработка эффективна для пачки с дружно флюктуирующими импульсами?

9. Какая схема является оптимальной для пачки независимо флюктуирующих импульсов? Какую цифровую (логическую) схему целесообразно использовать в этом случае?

10. Опишите функциональную схему когерентного рециркулятора, его преимущества и недостатки по сравнению с оптимальными когерентными схемами и некогерентным рециркулятором.

11. Опишите функциональную схему некогерентного рециркулятора, его преимущества и недостатки. Определите импульсную характеристику и вид сигнала на его выходе.

12. Опишите, за счет чего производится накопление «пачечного» сигнала на электронно-лучевой трубке. Оцените составляющие потерь накопления.

13. Опишите работу устройств, обеспечивающих постоянство уровня ложных тревог при изменении уровня шумовой помехи.

14. Приведите методику вычисления пороговой мощности.

15. Определите, как связаны между собой коэффициент шума, шумовая температура, чувствительность и пороговая мощность приемного устройства.

16. Опишите структурную схему когерентно-оптического согласованного фильтра. Покажите в чем его преимущества и недостатки.

17. Опишите структурную схему устройства корреляционной оптической обработки, ее достоинства и недостатки.

#### **Тема 4. Измерение дальности и скорости**

Импульсный метод дальнометрии. Основные соотношения для дальнометра несledящего типа. Точность дальнометрии. Разрешающая способность дальнометрии. Импульсные системы автоматического сопровождения по дальности. Основные соотношения, динамические свойства систем. Понятие порядка астатизма системы.

Обеспечение режима поиска в системах сопровождения. Автоматическое сопровождение по дальности в обзорных РЛС. Импульсные дальнометры, сопрягаемые с цифровыми вычислительными устройствами. Импульсные разностно-дальнометрные системы. Потенциальная точность измерения дальности.

Фазовый метод дальнометрии. Основные соотношения. Точность дальнометрии. Многошкальные дальнометры. Фазовые дальнометры следящего типа. Фазовые разностно-дальнометрные системы.

Частотный метод дальнометрии. Основные соотношения для дальнометров без разрешения и с разрешением по дальности. Разрешающая способность по дальности. Частотные дальнометры следящего типа.



Дальномеры непрерывного излучения с шумовой модуляцией.

Методы определения скорости. Доплеровские системы измерения скорости несledящего типа. Преобразователи информации «частота – цифровой код». Точность измерения.

Доплеровские системы измерения скорости следящего типа. Структурные схемы систем с фазовой и частотной автоподстройками. Точность слежения по скорости. Режим поиска сигнала по частоте.

Системы измерения вектора скорости. Системы измерения путевой скорости и угла сноса.

### Вопросы для самопроверки

1. Объясните принцип определения дальности с помощью электронно-лучевого индикатора. Проведите анализ ошибок.

2. Охарактеризуйте инструментальные ошибки измерения дальности импульсной РЛС.

3. Объясните влияние нелинейностей развертки индикатора на ошибку измерения дальности.

4. Опишите работу систем автоматического измерения дальности и определите причину и характер отдельных составляющих ошибки измерения.

5. Опишите работу и определите основные принципиальные особенности работы следящего дальномера обзорной РЛС.

6. Определите возможные пути снижения динамической ошибки следящего дальномера.

7. Определите, что такое систематическая ошибка. Опишите возможные причины ее возникновения. Предложите варианты мер по снижению ошибки.

8. В чем состоят основные преимущества и недостатки цифрового дальномера?

9. Какие составляющие ошибок измерения дальности могут быть снижены при использовании цифрового дальномера и на каких составляющих эта мера практически не скажется?

10. Объясните, как выбрать количество шкал многошкального дальномера и соотношение между делениями этих шкал.

11. Опишите структурную схему фазового следящего дальномера и его принципиальные отличия от других дальномеров.

12. Опишите структурную схему частотного дальномера с разрешением по дальности. Определите предельную разрешающую способность.

13. Опишите структурную схему системы измерения скорости с частотной автоподстройкой. Покажите, чем определяется минимальное значение полосы пропускания этой системы.

14. Опишите систему измерения скорости. Оцените точность измерения.

15. Опишите особенности режима перехода на автоматическое сопровождение («захват») для различных дальномеров.

## Тема 5. Зондирующие радиолокационные сигналы

Виды зондирующих радиолокационных сигналов. Двухмерная автокорреляционная функция сигнала. Диаграмма неопределенности. Влияние свойств сигнала на точность и разрешающую способность по дальности и скорости.

Свойства широкополосных сигналов (частотно-модулированных, много-частотных, фазоманипулированных и с шумовой модуляцией).

### Вопросы для самопроверки

1. Опишите структурную схему генерирования частотно-модулированного зондирующего импульса и схему его обработки в приемном устройстве.

2. Опишите характеристики дисперсионной ультразвуковой линии задержки (ДУЛЗ), используемой для сжатия частотно-модулированных сигналов.

3. Предложите структурную схему устройства, в котором частотная модуляция зондирующего сигнала и сжатие принимаемого сигнала производятся с помощью одной ДУЛЗ («ключ–замок»).

4. Опишите структурную схему устройства генерирования и обработки фазоманипулированного сигнала.

5. Опишите вид сечения тела неопределенности по обеим осям для пачки прямоугольных радиоимпульсов.

## Тема 6. Измерение угловых координат

Виды обзора пространства и их характеристики. Амплитудные методы пеленгации (методы максимума, минимума, равносигнальный).

Точность пеленгации. Автоматическое сопровождение по направлению при круговом обзоре. Точность сопровождения. Преобразователи информации «угол–напряжение» и «угол–цифровой код».

Системы автоматического сопровождения по направлению с равносигнальным методом пеленгации. Моноимпульсный метод и метод конического сканирования. Пеленгационная характеристика. Точность пеленгации.

Фазовый и амплитудно-фазовый методы радиопеленгации. Потенциальная точность измерения угловых координат. Системы с электронным сканированием луча (фазированная антенная решетка). Электронное сканирование как средство повышения помехозащищенности и производительности РЛС.

Системы бокового обзора земной поверхности. Обработка информации когерентно-оптическими средствами при боковом обзоре.

### Вопросы для самопроверки

1. Сравните пеленгационные характеристики различных методов измерения угловых координат.

2. Охарактеризуйте амплитудный, фазовый и амплитудно-фазовый методы.

3. Опишите структурную схему РЛС с коническим сканированием луча. Объясните, почему точность у него ниже, чем у моноимпульсной РЛС.

4. Опишите структурную схему моноимпульсной РЛС. Объясните, что дает одновременное использование нескольких лучей диаграммы направленности и в чем недостатки метода.

5. Предложите схему автоматического сопровождения цели по углам при работе РЛС в режиме обзора сектора.

6. Перечислите и охарактеризуйте виды обзора пространства.

7. Покажите, что система с электронным сканированием позволяет получить больше полезной информации, чем электромеханическая.

8. Опишите схему и особенности преобразователя «вал-код».

9. Опишите, как выбираются ширина диаграммы направленности, период и скорость обзора сектора, способ обзора.

10. Опишите характер отдельных составляющих ошибки измерения угловых координат и возможные способы их снижения.

11. Покажите, что общего и чем отличаются схема когерентного накопления пачки импульсов и схема обработки сигнала при боковом обзоре.

12. Обоснуйте целесообразность использования когерентно-оптических методов для обработки сигналов при боковом обзоре.

## **Тема 7. Селекция движущихся целей (СДЦ)**

Проблема селекции движущихся целей. Статистические свойства пассивных помех. Физические основы СДЦ.

Когерентный метод СДЦ при непрерывном излучении.

Когерентно-импульсный метод СДЦ. Системы ОВД с внутренней когерентностью. Системы СДЦ с внешней когерентностью. Череспериодная компенсация с помощью ультразвуковых линий задержки и потенциалоскопов. Цифровые системы СДЦ. Проблема слепых скоростей. Двухчастотный метод СДЦ. Многократные системы ЧПК. Факторы, определяющие эффективность подавления сигналов от пассивных помех. Требования к стабильности частоты гетеродинов, влияние сканирования луча и собственного движения РЛС на эффективность подавления помех.

### **Вопросы для самопроверки**

1. В чем принципиальное различие систем определения скорости объектов и селекции движущихся целей?

2. Опишите структурную схему двукратной ЧПК и её преимущества перед однократной.

3. Опишите структурную схему ЧПК с квадратурными каналами и поясните, в чем ее достоинства.

4. Опишите возможные схемы борьбы со слепыми скоростями.

5. Опишите структурную схему двухчастотной РЛС с СДЦ, ее достоинства и недостатки.

6. Приведите вариант автоматической компенсации собственного движения в системе СДЦ.

7. Поясните, почему сканирование диаграммы направленности ведет к расширению спектра пассивной помехи.

8. В чем заключается трудность реализации системы компенсации на промежуточной частоте? Предложите вариант реализации.

9. Какие требования следует предъявить к ультразвуковой линии задержки для ЧПК?

10. Поясните, почему нестабильности частоты гетеродинов снижают эффективность СДЦ. Определите требования к стабильности.

### **Тема 8. Радиопротиводействие и методы борьбы с помехами**

Проблема радиопротиводействия. Классификация помех.

Активные помехи (непрерывные, шумовые, импульсные и ответные). Эффективность активных помех.

Пассивные помехи и их эффективность. Имитация целей. Ловушки.

Защитные покрытия (поглощающие, интерференционные и смешанные) и их эффективность.

Проблема радиоразведки. Обнаружение и перехват радиолокационных сигналов. Дальность радиоразведки.

Методы борьбы с помехами. Поимпульсная перестройка. Компенсация помех, воздействующих по боковым лепесткам диаграммы направленности.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Покажите, в чем преимущества и недостатки заградительной шумовой помехи. Определите способы борьбы с ней.

2. Опишите особенности построения средств постановки прицельной помехи. Каким образом в РЛС можно снизить ее эффективность?

3. Проанализируйте, какие преимущества наряду с защитой от прицельных шумовых помех имеет поимпульсная перестройка несущей. Определите недостатки.

4. Опишите схему создания несинхронных импульсных помех и средства защиты от них.

5. Предложите вариант схемы создания синхронных импульсных помех.

6. Что такое взаимные помехи РЛС, и какие методы защиты от них можно применить?

7. Предложите вариант функциональной схемы создания помех, уводящих по дальности.

8. Предложите вариант функциональной схемы создания помех, уводящих по угловой координате (для РЛС с коническим сканированием).

9. Опишите схему компенсации помех, воздействующих по боковому излучению.

10. Опишите схему постановки помех-ловушек для баллистических ракет и варианты борьбы с помехами.

### **Тема 9. Пассивная радиолокация**

Факторы, обуславливающие целесообразность применения. Особенности сигналов пассивной радиолокации. Характеристики собственного излучения. Приемные устройства пассивных РЛС. Угломерный и корреляционно-дальномерный (разностно-дальномерный) методы определения местоположения цели. Проблема радиолинии. Ложные цели.

#### **Вопросы для самоконтроля**

1. Покажите, почему при наличии в зоне обзора угломерной пассивной системы нескольких целей появляются ложные цели (пересечения)? Предложите способы их устранения.

2. Опишите функциональную схему корреляционно-дальномерной пассивной системы.

3. Опишите, какие требования предъявляются к радиолинии, используемой при корреляционно-дальномерном способе.

4. Покажите, что приемное устройство пассивной системы с широкой полосой обеспечивает более высокие характеристики обнаружения и большую точность измерения координат, чем узкополосный приемник.

5. Предложите схему измерения пеленга на источник излучения.

6. В каких случаях можно использовать телекамеру как пассивный локализатор? Предложите схему использования телекамеры для определения положения объекта в пространстве.

### **Тема 10. Факторы, определяющие дальность обнаружения и точность местоопределения**

Зависимость дальности активного радиообнаружения от параметров радиолокатора. Влияние Земли на дальность активного радиообнаружения. Зоны обнаружения. Влияние рефракции на дальность активного радиообнаружения и точность измерения угловых координат. Влияние рассеяния на поглощения радиоволн в атмосфере, на дальность активного радиообнаружения.

Особенности обнаружения низколетящих целей. Влияние отражений от земной поверхности на точность измерения угла места цели.

Дальность активного обнаружения с активным ответом. Дальность пассивного обнаружения.

Точность определения линии положения. Случайная и систематическая ошибки измерения. Флюктуационные, динамические и приборные ошибки измерения.

Точность местоопределения на плоскости. Обоснование целесообразности использования разностно-дальномерного способа в радионавигации и пассивной радиолокации.

Точность местоопределения в пространстве. Повышение точности измерений путем оптимизации обработки отсчетов при последовательных многократных измерениях.

### Вопросы для самопроверки

1. Покажите, что направленные свойства передающей антенны при равномерном обзоре заданного сектора за заданное время не влияют на дальность действия РЛС. Какие требования предъявляются в этом случае к средствам накопления?

2. Выведите уравнение дальности при работе по цели, несущей активную шумовую помеху на борту.

3. Каким образом и в какой степени можно уменьшить ошибку измерения угловых координат, обусловленную рефракцией?

4. Почему полеты боевых самолетов часто производятся на малых высотах?

5. Объясните, почему точность сопровождения низколетящей цели по углу места обычно бывает очень низкой.

6. Объясните, почему диаграмма направленности при малых углах места бывает изрезанной. Как это влияет на характеристики обнаружения цели?

7. Объясните природу отдельных составляющих ошибки линии положения.

8. Покажите, какой диапазон частот зондирующего сигнала является наиболее выгодным для подвижных РЛС и для стационарных РЛС большой дальности.

### Тема 11. Системы радиуправления

Основные типы управляемых объектов. Органы управления. Декартово и полярное рулевое управление.

Методы наведения и траектории полета. Формирование управляющих команд. Основные звенья контура управления, их передаточные функции. Радиозвенья. Общие требования к системам радиуправления. Эффективность систем радиуправления.

Точность управления. Источники ошибок. Динамические ошибки и метод их анализа. Флюктуационные ошибки и метод их анализа. Оптимизация систем радиуправления и потенциальная точность. Системы автономного управления. Инерциальные, астрономические и радиотехнические системы.

Системы самонаведения. Сравнительная характеристика радиотехнического, теплового и оптического самонаведения.

Системы командного самонаведения. Функциональные схемы систем командного наведения. Особенности применения шифрации при различных методах модуляции. Точность и помехозащищенность систем.

Системы управления в радиозоне и в радиолуче.

Комбинированные системы радиоуправления.

Радиокомплексы пуска баллистических ракет.

Радиокомплексы искусственных спутников Земли. Использование спутников для радионавигации.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Покажите, почему вероятность поражения цели зависит от точности наведения.
2. Опишите, каким образом рассчитываются динамические ошибки наведения.
3. Как оптимизируется система по динамическим и флюктуационным ошибкам?
4. Опишите особенности систем автономного управления.
5. Опишите особенности систем командного управления.
6. В чем состоят преимущества и недостатки системы управления в луче?
7. Поясните, каким образом можно использовать ИСЗ для целей навигации.

### **Заключение**

Основные направления развития радиосистем. Пути повышения дальности действия, помехозащищенности и надёжности. Пути снижения габаритов и весов. Общие критерии эффективности. Ближайшие проблемы, подлежащие решению.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Определите, какой вы представляете перспективу развития той отрасли радиотехники, в которой вы работаете.
2. Приведите пример эффективного применения средств цифровой техники в радиосистемах.
3. Как вы представляете работу адаптивной системы?
4. Покажите, каким образом вес, габариты, надежность, степень автоматизации влияют на экономические показатели. Предложите методику расчета повышения экономической эффективности за счет улучшения какого-либо из этих параметров.

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Материал первой темы предполагает знакомство с радиосистемами. Особое внимание необходимо обратить на классификацию радиосистем и определение основных тактических и технических характеристик (уравнение дальности радиолокации) [1].

При изучении темы 2 необходимо уяснить понятие ЭПР, статистический характер ЭПР реальных цепей. Спектральные и корреляционные характеристики отраженных сигналов определяют качество обнаружения и оценки параметров [1, 2].

Тема 3 объемная и требует глубокой проработки. Необходимо разобраться в логике теории обнаружения сигналов от критерия обнаружения к отношению правдоподобия и к пороговому правилу обнаружения; уяснить связь отношения правдоподобия с корреляционным интегралом. Способы реализации оптимального правила обнаружения основаны на использовании корреляторов и согласованных фильтров. Следует разобраться в свойствах согласованных фильтров, обеспечивающих максимизацию отношения сигнал/шум, в их реализации на линиях задержки. Рассмотреть пример согласованной фильтрации сложного сигнала с фазовой манипуляцией. Обратить внимание на сопоставление характеристик обнаружения для сигналов детерминированных (точно известных) и со случайными параметрами (фазой, амплитудой) [3, 4].

Тема 4 включает теоретические вопросы измерения дальности и скорости и способы реализации основных методов измерения. Информация о дальности содержится в задержке сигнала. Точность оценки задержки (временного положения) сигнала тем выше, чем больше отношение энергии сигнала к спектральной плотности шума и чем больше эффективная ширина спектра сигнала. Информация о радиальной составляющей скорости цепи содержится в доплеровском сдвиге частоты, а точность оценки частоты тем выше, чем больше отношение сигнал/шум и эффективнее продолжительность сигнала. Реализация измерителей возможна на основе разомкнутых (одноканальных и многоканальных) и замкнутых (следающих) систем [3, 4].

При изучении темы 5 целесообразно использовать сведения о сигналах, полученных в курсе РЦС. Обратить внимание на свойства широкополосных сигналов (шумоподобных), имеющих базу много больше единицы [3].

Тема 6, как и тема 4, включает теоретические сведения о пространственно-временной обработке и принципах измерения угловых координат: амплитудных, фазовых, комбинированных. Фазовые методы предполагают разнесенный прием сигналов. Амплитудные, как правило, основаны на формировании равносигнального направления. В следающих угломерных системах точностные характеристики определяются отношением сигнал/шум и крутизной пеленгационной характеристики [4].

Тема 7 посвящена принципам селекции движущихся целей и построению когерентно-импульсных РЛС с большой и малой скважностью импульсов. Об-



ратить внимание на особенности спектров сигналов, отраженных от подвижных целей [4].

Тема 8 позволяет познакомиться с классификацией помех, их характеристиками, способами формирования помех, по структуре и свойствам мало отличающихся от сигналов, что затрудняет их селекцию и подавление [1, 3].

Тема 9 включает вопросы пассивной радиолокации. Следует уяснить принципы обнаружения случайных (шумовых) сигналов и особенности энергетических приемников [4].

При изучении темы 10 необходимо обратить особое внимание на уравнение дальности радиолокации с учетом, в частности, активного ответа, направленных свойств антенны, отражений от Земли и т.д. [1, 3].

Системы радиоуправления (тема 11) – это замкнутые системы, поэтому основное внимание необходимо уделять циркуляции информации в таких системах и роли радиозвеньев в обеспечении точного управления [1].

Для определения перспектив и темпов развития радиосистем необходимо хорошо усвоить этапы развития радиосредств. Были отрезки времени, когда основной задачей являлось увеличение дальности действия систем, затем степени автоматизации и, наконец, помехозащищенности, что привело к их сильному усложнению и понижению надежности. Разработка новой элементной базы (микросхемы), использование цифровых средств упрощают настройку радиосистем и способствуют повышению их надежности. Приемлемо эта задача решается путем повышения мощности зондирующих сигналов и степени их стабилизации. Также возможна разработка систем, адаптирующихся к помеховой обстановке. Примерами таких систем являются системы с электронным сканированием с перестройкой несущей в широком диапазоне частот. Очевидна неоднозначность решения ставящихся задач. Для нахождения оптимального решения необходима выработка общих критериев. Таким критерием может быть минимальная стоимость системы при заданных тактических требованиях. Поэтому целесообразность использования экономических показателей становится все более очевидной в связи с неуклонным ростом стоимости систем.

#### 4. КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 1

1. Радиовысотомер имеет симметричный пилообразный закон модуляции частоты колебаний  $P_m$  с девиацией частоты  $\Delta f_m$  (табл. 1). Определить частоту биений для высоты  $H$ , минимальный и максимальный пределы измерения высоты.

Таблица 1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_m$ (Гц)	100	90	80	70	60	110	120	130	140	150
$\Delta f_m$ (МГц)	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15
$H$ (м)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

2. Рассчитать требуемое отношение сигнал/шум  $q$  и коэффициент различимости  $K_r$  для когерентно-импульсной РЛС при обнаружении цели по пачке из 1000 импульсов. Суммарная величина потерь по мощности в трактах – 4 дБ. Величины вероятностей правильного обнаружения  $P_{ПО}$  и ложной тревоги  $P_{ЛТ}$  определить по варианту (табл. 2).

Таблица 2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{ПО}$	0,99	0,99	0,99	0,95	0,95	0,95	0,92	0,92	0,89	0,89
$P_{ЛТ}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$

3. Определить чувствительность приемного устройства (пороговую мощность), если РЛС работает по пачке из  $n$  дружно флюктуирующих импульсов (табл. 3). Вероятность правильного обнаружения  $P_{ПО} = 0,8$ , вероятность ложной тревоги  $P_{ЛТ} = 10^{-6}$ , коэффициент шума приемного устройства  $K_{ш}$ , длительность импульса  $\tau_u = 1$  мкс, потери при накоплении пачки  $\eta$ , дБ.

Таблица 3

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n$	8	10	15	8	20	12	10	12	14	16
$K_{ш}$	5	6	8	10	6	8	10	12	14	16
$\eta$ (дБ)	1	–	3	4	1	2	3	1,5	2	2,5

4. Вычислить вероятность обнаружения цели по пачке из  $n$  дружно флюктуирующих импульсов при алгоритме цифровой обработки по критерию «3 из 5» и отношении сигнал/шум в импульсе  $q_1^2$ , вероятности ложной тревоги  $P_{ЛТ} = 10^{-6}$  (табл. 4).

Таблица 4

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n$	10	5	15	10	10	15	20	8	12	16
$q^2_1$ (раз)	8	10	15	20	5	8	10	6	12	20

5. Вычислить величину потерь, обусловленных цифровой обработкой пачки из  $n$  дружно флюктуирующих импульсов при накоплении по критерию «2 из 3» и вероятности правильного обнаружения  $P_{ПО}$ , вероятности ложной тревоги  $P_{ЛТ} = 10^{-8}$  (табл. 5).

Таблица 5

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n$	8	9	12	15	9	12	15	7	10	16
$P_{\Sigma}$	0,8	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,65	0,75	0,98

6. Построить зависимость потерь при обработке пачки независимо-флюктуирующих импульсов по критерию «1 из  $n$ » от числа импульсов  $n$  по сравнению с когерентным накоплением (без потерь) такой же пачки дружно флюктуирующих импульсов (табл. 6). Вероятность ложной тревоги  $P_{ЛТ}$  правильного обнаружения  $P_{ПО}$ . Интервал изменения  $n = 2 - 100$ .

Таблица 6

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{ЛТ}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-7}$	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-8}$	$10^{-7}$
$P_{ПО}$	0,65	0,5	0,8	0,9	0,95	0,7	0,98	0,5	0,8	0,9

7. Определить пороговую чувствительность приемника импульсной РЛС, работающей на волне  $\lambda$  с импульсной мощностью  $P_u$  ( $\lambda$  и  $P_u$  определяются по варианту), если цель с ЭПР  $100 \text{ м}^2$  обнаруживается на расстоянии 200 км. КНД антенны РЛС 800, потери энергии в антенно-волноводном тракте 1,5 дБ (табл. 7).

Таблица 7

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_u$ (мВт)	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
$\lambda$ (см)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

8. Импульсная РЛС с винтовым методом обзора имеет сектор обзора по углу места  $\Delta\varepsilon = 35$ , частоту повторения импульсов 800 Гц и работает на частоте 3000 МГц. Определить число импульсов, падающих в цель за время проходе-

ния луча через нее, при наличии антенного зеркала с вертикальным размером  $H = 3\text{ м}$ , горизонтальным  $A$  и периодом обзора сектора  $T_{обз}$  (табл. 8).

Таблица 8

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$A$ (м)	3	4	5	6	7	8	3	4	5	6
$T_{обз}$ (с)	20	30	40	50	60	20	30	40	50	60

9. Определить максимальную дальность обнаружения цели с  $ЭПР = 20\text{ м}^2$ , если РЛС с иглообразным лучом имеет импульсную мощность 3 МВт, длительность импульса  $\tau_u$ , длину волны  $\lambda = 10\text{ см}$ , диаметр антенны  $d$ , отношение сигнал/шум в импульсе 3, потери энергии в антенно-волноводном тракте  $K$ , потери на квазиоптимальную обработку 0,5 дБ (табл. 9).

Таблица 9

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\tau_u$ (мкс)	1	1,5	2	1	1,5	0,5	1	2	1,5	0,5
$d$ (м)	3	4	3,5	4,5	5	5,5	6	6,5	4	3
$K$ (дБ)	1	2,5	2	0,5	1	1,5	2	0,5	1	1,5

10. Определить требуемое значение отношения сигнал/шум  $q$  при обнаружении полностью известного сигнала. Вероятности правильного обнаружения  $P_{ПО}$  и ложной тревоги  $P_{ЛТ}$  определяются по варианту (табл. 10).

Таблица 10

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{ПО}$	0,9	0,9	0,9	0,93	0,93	0,95	0,95	0,98	0,98	0,99
$P_{ЛТ}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$

11. Вычислить ошибку измерения дальности, обусловленную нелинейностью развертки ЭЛТ при максимальной дальности  $D$  (табл. 11). Характер нелинейности – полупериод синусоиды с амплитудой  $P$  (%) относительно амплитуды пилообразного напряжения развертки. Построить график ошибки по дальности.

Таблица 11

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D$ (км)	400	150	200	300	100	200	250	350	400	500
$P$ (%)	5	3	2	2	3	5	4	5	2	3

12. То же, что и в предыдущей задаче, но характер нелинейности – период синусоиды.

13. Рассчитать максимальную дальность в свободном пространстве для РЛС со следующими параметрами: импульсная мощность  $P_u = 1$  МВт; длительность импульса  $\tau_u = 1$  мкс; ЭПР цели  $\delta = 10^2$ , коэффициент шума приемного устройства  $K_{ш} = 8$ ; длина волны  $\lambda = 10$  см; эффективная поверхность антенны  $S_A = 15$  м<sup>2</sup>.

Обнаружение ведется по пачке из  $n$  импульсов. Требуемая вероятность правильного обнаружения  $P_{ПО}$  (табл. 12). Потерями при обработке пренебречь. Вероятность ложной тревоги  $P_{ЛТ} = 10^{-8}$ .

Таблица 12

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n$	4	3	5	8	10	15	20	6	12	18
$P_{ПО}$	0,8	0,5	0,9	0,5	0,9	0,5	0,9	0,6	0,8	0,85

14. Для подавления РЛС прицельной по частоте шумовой помехой требуется мощность передатчика  $P_{изл.}$ . Во сколько раз возрастет мощность передатчика помех, если понадобится создать заградительную помеху при условии, что в РЛС будет применена перестройка по частоте от импульса к импульсу в диапазоне частот  $\Delta f$  (табл. 13)? Длительность зондирующего сигнала РЛС  $\tau_u$ .

Таблица 13

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta f$ (МГц)	50	100	150	200	50	10	75	125	175	80
$\tau_u$ (мкс)	1	2	0,5	1	2	3	0,8	1,2	2,5	3

15. Построить графики изменения разностной частоты радиодальномера при симметричном пилообразном законе изменения частоты излучения. Цель приближается к РЛС со скоростью  $V$ , период изменения частоты  $T = 100$  мс, девиация частоты  $\Delta f = 10^6$  Гц, длина волны  $\lambda$  (табл.14). Как обеспечить точное измерение дальности и скорости цели?

Таблица 14

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V$ (м/с)	300	600	900	300	600	900	400	800	500	700
$\lambda$ (см)	30	30	30	10	10	10	20	20	20	15

## 5. КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 2 (курсовое проектирование)

Выполнить энергетический расчет РЛС обнаружения (кругового или секторного обзора) по заданному варианту (табл. 15) и разработать ее структурную и функциональную схемы.

Исходные данные:  $R$  – максимальная дальность до цели (км);  $D$  – вероятность правильного обнаружения;  $F$  – вероятность ложной тревоги;  $\lambda$  – длина волны несущего колебания (см);  $S_{АПЧ}$  – площадь антенны передатчика помех ( $\text{м}^2$ );  $N_{оп}$  – спектральная плотность мощности помехи (Вт/Гц) на входе приемника;  $P_{доп}$  – допустимая импульсная мощность передатчика (кВт); вид цели: 1 – корабль, 2 – самолет, 3 – спутник.

$$N_{оп}/N_0 = (1 - 100),$$

где  $N_0$  – спектральная плотность мощности собственного шума приемника; определяется по заданию преподавателя.

Самостоятельно выбрать и обосновать: коэффициент шума и шумовую температуру; вид и параметры сигнала; параметры антенной системы (диаграмму направленности, коэффициент направленного действия и усиления, эффективный раскрыт, площадь и тип антенны, ее размеры); параметры обзора (время обзора, скорость вращения антенны, время облучения цели, частоту повторения и число импульсов в пачке); мощность передатчика помех (передатчик расположен на цели); коэффициенты потерь энергии.

Рассчитать: импульсную и среднюю мощность передатчика РЛС; уровень порога обнаружения и минимальное отношение сигнал/шум на входе приемника; разрешающую способность по дальности и угловым координатам (по азимуту); среднеквадратичные погрешности по дальности и азимуту; диапазон однозначного определения дальности.

На отдельных этапах расчетов необходимо уточнить ранее выбранные технические параметры (антенны, сигнала и т.д.) и провести повторный расчет с целью получения наиболее рационального варианта.

По результатам расчета составить и описать структурную и функциональную схемы РТС с указанием основных технических параметров ее узлов (блоков).

Синтезировать (по заданию преподавателя) один из узлов РТС (следающий измеритель дальности или угловых координат, оптимальный обнаружитель или различитель, схему слежения за временным положением и т.д.). Численные значения интеграла вероятности определяются из таблиц.

### **Пояснительная записка проекта:**

– оформляется на стандартной бумаге объемом 20–30 листов с соблюдением требований ГОСТов;

– содержит титульный лист, бланк-задание, содержание (с указанием страниц), введение, выбор и расчет основных тактико-технических параметров с приведением необходимых графиков и рисунков, структурную (функциональную) схему разработанной РТС с описанием, структурную (функциональную) схему синтезированного узла, заключение, список литературы.

Таблица 15

Номер РТС	Вид обнаружения	Данные РТС	Варианты									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	РЛС с когерентной обработкой сигнала	$R$ (км)	50	60	70	80	100	120	140	160	180	200
		$\lambda$ (см)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		$D$	0,9	0,99	0,999	0,9999	0,9	0,99	0,999	0,999	0,99	0,99
2	РЛС с некогерентной обработкой сигнала	$F$	0,1	0,01	0,01	0,1	0,01	0,1	0,01	0,1	0,1	0,1
		$S_{\text{АПЛ}}$ (м <sup>2</sup> )	15	15	14	13	12	11	10	9	8	7
		Вид цели	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		$P_{\text{доп}}$ (кВт)	0,01	0,1	0,01	0,1	0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	1

Продолжение табл. 15

Номер РТС	Вид обнаружения	Данные РТС	Варианты									
			11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	РЛС с когерентной обработкой сигнала	$R$ (км)	250	300	350	400	450	500	600	800	1000	2000
		$\lambda$ (см)	13	14	15	16	17	18	19	20	25	30
		$D$	0,99	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
2	РЛС с некогерентной обработкой сигнала	$F$	0,11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
		$S_{\text{АПЛ}}$ (м <sup>2</sup> )	6	5	4	3	3	3	2	2	2	1
		Вид цели	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3
		$P_{\text{доп}}$ (кВт)	1	0,1	1	10	0,1	1	10	0,1	1	1

Номер РТС	Вид обнаружения	Данные РТС	Варианты									
			21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	РЛС с когерентной обработкой сигнала	$R$ (км)	3000	320	360	380	430	475	525	575	675	675
		$\lambda$ (см)	35	10	15	20	5	7	8	9	25	30
		$D$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
		$F$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2	РЛС с некогерентной обработкой сигнала	$S_{длп}$ (м <sup>2</sup> )	1	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	2	3	1
		Вид цели	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		$P_{доп}$ (кВт)	10	2	1	5	10	7	8	6	4	3



## ЛИТЕРАТУРА

1. Дымова А.И. и др. Радиотехнические системы. – М.: Сов. радио, 1975.
2. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации. – М.: Сов. радио, 1978.
3. Васин В.В., Степанов Б.М. Справочник-задачник по радиолокации. – М.: Сов. радио, 1977.
4. Теоретические основы радиолокации / Под ред. В.Е. Дулевича. – М.: Сов. радио, 1978.
5. Радиолокационные устройства (теория и принципы построения) / Под ред. В.В. Григорина-Рябова. – М.: Сов. радио, 1970.
6. Справочник по радиолокации / Ред. М. Сокольник. Пер. К.Н. Трофимова: В 4 т. – М.: Сов. радио, 1976–1979.
7. Пестряков В.Б., Кузенков В.Д. Радиотехнические системы. – М.: Радио и связь, 1985.
8. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы. – Мн.: Выш. шк., 1988.
9. Радиотехнические системы / Под ред. Ю.М. Казаринова. – М.: Выш. шк., 1990.
10. Охрименко А.Е., Олейников О.А. Теоретические основы радиолокации. – Мн.: МВИЗРУ, 1976.
11. Охрименко А.Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. Ч. 1. Основы радиолокации. – М.: Воениздат, 1983.
12. Карпушкин Э.М., Ганкевич С.А. Методические указания к практическим занятиям и курсовому проектированию по дисциплине «Радиотехнические системы» для студентов специальности «Радиотехника». – Мн.: МРТИ, 1990.

Учебное издание

**ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ**

по дисциплине «Радиотехнические системы»  
для студентов специальности 39 01 01 «Радиотехника»  
заочной формы обучения

Составитель  
**Лущицкий Владимир Владимирович**

Редактор Н.А. Бебель  
Корректор Е.Н. Батурчик

---

Подписано в печать 23.06.2003.  
Печать ризографическая.  
Уч.-изд. л. 1,3.

Формат 60x84 1/16.  
Гарнитура «Таймс».  
Тираж 70 экз.

Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 1,74.  
Заказ 140.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».  
Лицензия ЛП № 156 от 30.12.2002.  
Лицензия ЛВ № 509 от 03.08.2001  
220013, Минск, П. Бровка, 6.