МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ РАДИОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ И АВТОМАТИКИ»

ОСНОВЫ ТЕОРИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ

ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЕ ТИПОВОГО РАСЧЕТА

Для студентов специальности 210601.65 «Радиоэлектронные сис- темы и комплексы» специализация подготовки 02 «Радиоэлек- тронные системы передачи информации» всех форм обучения.

МОСКВА 2012 г.

УДК 621.396.96 (076) ББК 32.95я73

Авторы: В.Л. Захаров, В.В. Куренков, А.С. Сотникова Редактор: С.Н. Замуруев

Данные методические указания предназначены для студен- тов специальности 210601.65 «Радиоэлектронные системы и ком- плексы» специализация подготовки 02 «Радиоэлектронные сис- темы передачи информации» всех форм обучения при изучении дисциплины «Основы теории радиолокационных систем и ком- плексов» (С3.Б.20) базовой части профессионального цикла ООП и выполнения ими индивидуального типового расчета.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета университета.

Рецензенты: д.т.н., проф. В.И. Нефедов;

д.т.н., проф. Б.В. Стрелков

Нелегальное копирование и использование данного продук- та запрещено. Электронное издание, номер государственной ре- гистрации 0321203463 от 20 ноября 2012г.

ISBN 978-5-7339-1041-3

© Захаров В.Л., 2012 г.

© Куренков В.В., 2012 г.

© Сотникова А.С., 2012 г.

© МИРЭА, 2012 г.

# ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Основы теории радиолокационных систем и комплексов» является одним из специальных предметов для сту- дентов радиотехнических специальностей. Цель еѐ преподавания

– подготовка студентов к самостоятельной работе по созданию и применению радиолокационных систем (РЛС), используемых в современных многофункциональных радиотехнических системах (РТС) для решения задач автоматического обнаружения и изме- рения параметров принимаемых радиосигналов, включая их циф- ровую обработку, с целью автономного контроля состояния и из- мерения в пространстве и времени координат различных неиз- вестных подвижных объектов. Программа курса предусматривает изучение основ теории и принципов построения РЛС и комплек- сов, а также специфики реализованных в них методов локацион- ных исследований от структуры зондирующих радиосигналов.

Требования к обязательному минимуму содержания дисци- плины «Основы теории радиолокационных систем и комплексов» (С3.Б.20) выполнены в полном соответствии с ГОС дисциплины

«Радиолокационные системы» (СД.03).

Настоящее пособие составлено в соответствии с ФГОС ВПО дисциплины «Основы теории радиолокационных систем и ком- плексов» (С3.Б.20) базовой части профессионального цикла ООП подготовки студентов специальности 210601.65 «Радиоэлектрон- ные системы и комплексы» специализация 02 «Радиоэлектрон- ные системы передачи информации» всех форм обучения.

Студент по данному предмету обязан прослушать курс лекций, выполнить комплекс из четырех лабораторных работ общим объе- мом 18 учебных часов и типовой расчет, после чего сдает диффе- ренцируемый зачет. На зачете студент должен предъявить оформ- ленные отчеты о выполненных и защищенных лабораторных рабо- тах и зачтенный типовой расчет.

# 1. ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОСНОВЫ ТЕОРИИ

**РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ»**

# Физические принципы работы радиолокационных сис-

**тем (РЛС).**

Задачи, решаемые с помощью локации. Физические основы радиолокации: отражение, рассеяние и переизлучение радиоволн объектами (целями), эффект Доплера, тепловое радиоизлучение. Условия распространения различных волн. Рассеивающие свой- ства различных объектов и сред (материалов), их характеристики. Эффективная поверхность рассеивания (ЭПР) цели. Шумы ЭПР. [1. с. 13-69, 138-175; 2. с. 17-45; 3. с. 15-205; 4. т1 с. 7-25, 356-395]

# Методические указания:

Ознакомиться с работой современных РЛС и назвать имена советских и российских ученых, внесших весомый вклад в тео- рию и технику этих систем. Знать назначение и область примене- ния локации. Внимательно изучить физические основы радиоло- кации: отражение, рассеяние и переизлучение радиоволн объек- тами (целями), эффект Доплера и тепловое радиоизлучение. Ра- зобраться в особенностях распространения различных волн. Учи- тывать, что рассеивающие свойства зависят от состава среды (ма- териала) и от формы самого объекта, определяя специфику их ха- рактеристик. Понимать, что собой представляет ЭПР конкретного объекта (цели) слежения, и, используя модель «блестящих» точек отражения, уметь объяснить механизм появления шумов ЭПР.

# Вопросы для самопроверки:

* + 1. Сформулируйте основные технические задачи, которые могут быть решены с помощью локационных методов.
    2. Расскажите об основных радиотехнических положениях теории относительности Эйнштейна.
    3. В чем заключается эффект Доплера? Объясните различия радиального и поперечного эффектов; - для РЛС и СПИ.
    4. Назовите факторы, влияющие на распространение радио- волн в различных средах и их отражение различными целями.
    5. Как зависят потери при распространении радиосигнала в атмосфере от длины волны? От каких факторов они зависят?
    6. Как реализуют пассивное визирование в ИК-диапазоне?
    7. Объясните, какие основные факторы и как влияют на рас- сеивающие свойства различных объектов и материалов (сред).
    8. Дайте определение ЭПР для конкретного объекта (цели) и объясните механизм появления шумов ЭПР.
    9. Как влияет деполяризация на ЭПР объекта?
    10. Как изменяется ЭПР цели при изменении γ от 0º до 50º?

# Основы теории радиолокационных систем.

Принципы работы основных видов РЛС. Специфика приме- нения разных диапазонов различных волн. Современная класси- фикация РЛС. Импульсный объем локационного сигнала: разре- шающая способность, потенциальная точность, неоднозначность измерений. Энергетические соотношения линий радиолокации. Дальность действия и рабочая зона РЛС. Загоризонтные РЛС.

[1. с. 69-76; 2. с. 4-17; 3. с. 355-382; 4. т1 с. 26-101]

# Методические указания:

Знать основные виды и принципы работы станций первич- ной локации с пассивными ответами (РЛС). Понимать специфику применения разных диапазонов различных волн: уметь формули- ровать недостатки и достоинства каждого. Изучить современную классификацию РЛС по различным отличительным признакам: – принципам работы и построению схем; – назначению и характеру извлекаемой информации; – основным показателям и тактиче- ским характеристикам; – используемым диапазонам и видам волн; – структуре зондирующего сигнала и рабочим параметрам;

* типу носителя и степени автономности и др. Разобраться в фи-

зике формирования импульсного объема локационного сигнала. Уметь выводить основное уравнение радиолокации для разных ус- ловий и знать, как дальность действия и рабочая зона РЛС связана с еѐ параметрами и характеристиками цели. Понимать принцип и отличительные особенности работы загоризонтных РЛС.

# Вопросы для самопроверки:

1. Дайте определение радиолокационной системы, - устройст- ва, - комплекса. К какому классу РТС они относятся?
2. Дайте краткую характеристику каждого вида локации и со- ответствующих локационных систем.
3. Расскажите о специфике волн разных диапазонов и как это используется в РЛС. Укажите их недостатки и достоинства.
4. Дайте классификацию РЛС по - назначению; - виду изме- ряемого параметра; - степени автономности и т.д.
5. Что называют бистатической; - полуактивной; - многопози- ционной РЛС? Объясните: почему?
6. Дайте определение локационного элемента.
7. Приведите структурную схему активной импульсной РЛС. Поясните назначение еѐ основных элементов.
8. Объясните, как выбирают частоты сканирования для РЛС.
9. Какое уравнение называют основным уравнением радиоло- кации? Как дальность действия и рабочая зона радиолокатора свя- зана с его параметрами и характеристиками цели?
10. Объясните принцип работы загоризонтной РЛС.

# Проблемы выбора зондирующего радиосигнала.

Сигналы, помехи и шумы в каналах РЛС. Диаграмма неоп- ределенности и спектрально-корреляционная функция. Сложные шумоподобные и энергоемкие радиосигналы, их характеристики. Идентификация сигналов. Пространственно-временная обработка радиосигналов. Вейвлет анализ. Особенности цифровой обработ- ки сигналов. Компьютерное моделирование сигналов и РЛС.

[1. с. 77-105; 2. с. 89-115; 3. с. 382-406, 435-468; 4. т1 с. 104-156]

# Методические указания:

Понимать физику формирования моделей радиосигналов и помех. Дайте краткую характеристику всем воздействиям, оказы- вающим существенное влияние на работу РЛС. Разберитесь с фи- зическим смыслом спектрально-корреляционной функции неоп- ределенности, представьте внешний вид (сечения) диаграммы не- определенности (ДН) и изучите еѐ основные свойства. Уметь обосновывать выбор структуры любого зондирующего сигнала. Представлять последовательность действий: обнаружение, раз- решение, распознавание и измерение параметров отраженного сигнала. Разобраться в физике формирования пространственно- временной модели сигнала. Понимать особенности использова- ния Вейвлет анализа. Знать основные достоинства и недостатки цифровой обработки сигналов. Освоить и применять математиче- ские пакеты программ «Mathcad» и «Matlab» для компьютерной обработки радиосигналов и расчетов элементов схем РЛС.

# Вопросы для самопроверки:

1. Как формируются модели сигналов и помех? Почему форма сигнала на выходе линейной части РПУ похожа на шум?
2. Дайте определение ДН, представьте еѐ типичный внеш- ний вид (сечения) и приведите основные свойства.
3. Дайте определение информативного параметра радиосиг- нала, приведите примеры таких параметров.
4. Чем определяется площадь ДН и как она зависит от пара- метров полезного радиосигнала?
5. Что такое первичная, вторичная и третичная обработка радиосигналов? Какую это дает дополнительную информацию?
6. Представьте внешний вид ДН радиосигнала, заданного в виде последовательности δ – функций по времени; - по частоте.
7. Что происходит с ДН радиосигнала при введении внутри- импульсной линейной/нелинейной ЧМ?
8. Что такое пространственно-временной радиосигнал? Что понимают под его пространственно-временной когерентностью?
9. Объясните особенности использования Вейвлет анализа.
10. Назовите и обоснуйте основные достоинства и недостат- ки цифровой обработки радиосигналов.

# Оптимальная обработка при обнаружении радиолока-

**ционных сигналов.**

Основы статистической теории локации: обнаружение, раз- решение и оценивание параметров радиосигналов. Принципы об- наружения сигналов. Статистические критерии обнаружения и оценивания параметров сигналов. Критерии оптимального обна- ружения и их реализация. Накопители пачек радиоимпульсов.

[1. с. 106-137; 2. с. 45-89, 206-228; 3. с. 205-263; 4. т1 с. 176-217]

# Методические указания:

Разобраться в статистической природе процессов автомати- ческого обнаружения, разрешения и оценивания параметров ра- диосигналов. Понимать физический смысл, которое несет отно- шение правдоподобия, и как оно влияет на статистические крите- рии обнаружения сигналов. Различать условия применения раз- личных критериев оптимального обнаружения и реализовывать их при решении конкретных задач. Знать принципы когерентной и некогерентной обработки сигналов и уметь их реализовывать.

# Вопросы для самопроверки:

* + 1. В чем заключается задача обнаружения радиосигналов и почему она носит статистический характер?
    2. За счет чего возникают потери при обнаружении сигна- лов? Объясните причины ошибок ложная тревога/пропуск цели.
    3. Какими соотношениями связаны вероятности Рпо и Рлт в одном элементе разрешения и во всей области обзора?
    4. Как строятся характеристики или кривые обнаружения?
    5. Дайте определение отношения правдоподобия и перечис- лите основные критерии оптимального обнаружения.
    6. В чем сущность критерия минимума среднего риска и что такое априорная неопределенность?
    7. В чем различие критериев Вальда и Неймана-Пирсона?
    8. Как работают ранговый обнаружитель и обнаружитель, использующий статистику знаков (знаковый обнаружитель)?
    9. Приведите структурную схему бинарного обнаружителя, работающего в «скользящем» окне; - робастного обнаружителя.
    10. Сравните потенциальные точности оценки дальности для РЛС, использующих следующие сигналы: - простые радиоим- пульсы; - радиоимпульсы с ЛЧМ; - радиоимпульсы с ФМн.

# Современные системы определения местоположения

**объектов.**

Основные методы разрешения и измерения параметров ра- диосигналов в приемных каналах РЛС: дальности, угловых коор- динат и скорости движения объекта слежения. Устройства оцен- ки радиосигналов. Радиотехнические дальномеры, высотомеры, построители вертикали, пеленгаторы и измерители скорости.

[1. с. 210-248; 2. c. 115-147, 228-282; 3. с. 406-435; 4. т3 с. 234-276,

т4 с. 7-87]

# Методические указания:

Познакомиться с основными видами опорных систем коор- динат и методами определения местоположения объектов: даль- номерным, пеленгационным, дальномерно-пеленгационным, раз- носно и суммарно-дальномерным, радиально-скоростным и тра- версным. Понимать, как формируются линии и поверхности по- ложения объекта и от чего зависят их ошибки в пространстве и на плоскости. Изучить основные методы разрешения и оценки па- раметров радиосигналов при измерении дальности, угловых ко- ординат, радиальной скорости движения объекта слежения. Знать принцип действия основных видов дальномеров, высотомеров, построителей вертикали, пеленгаторов и измерителей скорости.

# Вопросы для самопроверки:

* + 1. Каков физический смысл потенциальной точности оценки параметров радиосигнала и структура оптимального измерителя?
    2. Какие системы координат используют при определении местоположения объектов? Что такое геометрический фактор?
    3. Как определить местоположение объекта позиционным методом? Что такое эллипсоид ошибок экстраполяции?
    4. Объясните принципы работы построителей вертикали и методы измерения высоты объекта над поверхностью Земли.
    5. Назовите и объясните основные способы определения ра- диальной скорости движения объектов: прямые и обратные.
    6. Чем определяется диапазон однозначности при измерени- ях углов (направлений), дальности и радиальной скорости?
    7. Объясните запросный/беззапросный методы измерения радиальной скорости. Укажите их достоинства и недостатки.
    8. Как выбрать оптимальный радиосигнал для определения скорости объекта по доплеровскому сдвигу частоты?
    9. Что вызывает появление динамической ошибки?
    10. Для чего производится дробно-кратное преобразование частоты в измерителе радиальной скорости активного объекта?

# Современные аспекты радиоэлектронной борьбы.

Пассивные радиопомехи и методы снижения их влияния: электромагнитная совместимость (ЭМС). Системы неумышлен- ного искажения информации: принципы и методы помехозащи- ты. Системы преднамеренного разрушения информации: задачи и методы радиоэлектронной разведки, маскировки собственных РТС и подавления РТС противника. Современная классификация радиопомех: борьба с пассивными и активными помехами. Мето- ды уменьшения ЭПР объекта как противодействие работе РЛС.

[2. с. 147-206; 3. с. 263-355; 4. т2 с. 363-395]

# Методические указания:

Разобраться в физике воздействия основных видов радио-

помех в системах неумышленного искажения информации. Озна- комиться с основными методами обеспечения ЭМС работы раз- личных РТС. Знать основные виды систем преднамеренного раз- рушения информации. Уметь формулировать задачи радиоэлек- тронной разведки, чтобы в текущем режиме времени определять характеристики РТС противника. Знать активные и пассивные методы маскировки собственных РТС и подавления РТС против- ника. Изучить современную классификацию радиопомех по раз- личным отличительным признакам: – назначению и методам формирования; – принципам работы и мерам защиты; – видам воздействий, природе и рабочим параметрам; – степени автоном- ности и др. Разобраться в факторах, влияющих на значение ЭПР произвольного объекта, и основных методах его уменьшения.

# Вопросы для самопроверки:

* + 1. Как подразделяют радиопомехи по причине их возникно- вения и по воздействию на работу РЛС?
    2. Приведите примеры основных видов пассивных естест- венных и умышленных радиопомех.
    3. Назовите причины электромагнитной несовместимости.
    4. В чем заключаются отличия сигналов пассивной радио- помехи и неподвижной или движущейся цели для РЛС?
    5. Чем различаются шумовая и импульсная радиопомехи?
    6. Что такое автокомпенсатор и как он подавляет активную радиопомеху, поставленную для РЛС?
    7. Как работают поглощающие и интерференционные про- тиворадиолокационные покрытия?
    8. Перечислите методы создания объектов (целей) «малоот- ражающей» для РЛС формы.
    9. Перечислите активные и пассивные методы противора- диолокационной маскировки различных объектов.
    10. Назовите основные элементы разведывательного РПУ и объясните их назначение?

# Основные виды специализированных радиолокацион-

**ных систем.**

Наземные и воздушные РЛС. Системы космического и мор- ского базирования. РЛС с синтезированной апертурой и подпо- верхностного зондирования. Пассивная радиолокация и еѐ осо- бенности. Методы реализации многофункциональных комплек- сов РТС: особенности эксплуатации в современных условиях. [1.с. 176-209, 249-351; 2.с. 282-295; 3.с. 468-497; 4. т4 с. 248-288]

# Методические указания:

Разобраться в механизме функционирования РЛС на приме- ре наземных и воздушных станций. Необходимо понимать, как скажется на работе системы еѐ космическое или морское базиро- вание. Знать принцип работы РЛС с синтезированной апертурой и методы его реализации. Изучить методы применения подпо- верхностного зондирования. Понимать особенности пассивной радиолокации и использовать их для решения конкретных задач. Знать основные виды радиометрических РПУ (РМРПУ) и прин- ципы их работы. Уметь проводить анализ реальной ситуации и учитывать это при эксплуатации РЛС в составе комплексов РТС.

# Вопросы для самопроверки:

* + 1. Перечислите основные физические факторы, обеспечи- вающие работу наземных и воздушных РЛС.
    2. В чем заключается специфика работы систем космическо- го, подземного и морского базирования?
    3. Как определяется и сопровождается траектория движения?
    4. В чем заключается и для каких целей применяется метод апертурного синтеза? Что такое системы суперсинтеза?
    5. Почему системы с разнесенным приемом, оценивающие угловое направление на объект слежения, называют: - фазовыми; - корреляционно-амплитудными; - корреляционно-фазовыми?
    6. Назовите и обоснуйте преимущества и недостатки аппара-

туры пассивного визирования по сравнению с активной РЛС.

* + 1. Перечислите виды РМРПУ и особенности их реализации. Изобразите функциональную схему модуляционного РМРПУ.
    2. Какие методы используют для пространственной селекции отражающих участков поверхности и как оценить еѐ качество?
    3. Поясните особенности пространственной селекции по: - угловым координатам; - частоте отраженного сигнала; - времени?
    4. Назовите и обоснуйте достоинства и недостатки кепст- ральной обработки информации в геолокации.

# Проблемы современных РЛС массового обслуживания.

Радиолокация с активным ответом. Многопозиционные и распределенные РЛС. Применение основных положений теории информации и кодирования сигналов. Основные виды глобаль- ных, региональных и местных РЛС. Типовые модели систем мас- сового обслуживания (МО). Селекция и распознавание объектов. Метки. Применение ЭВМ и локальных вычислительных сетей.

[2. с. 295-312; 3. с. 497-509; 4. т4 с. 193-215]

# Методические указания:

Ознакомиться с работой современных систем вторичной ра- диолокации (локация с активным ответом) и понимать важность решаемых ими задач. Изучить особенности систем МО. Разо- браться в принципах работы таких систем и понимать важность правильной организации шкалы единого времени для них. Знать основные способы увеличения пропускной способности (сжатие информации, увеличение числа и уплотнение каналов связи) и виды защиты информации (модуляция, кодирование и шифрова- ние) систем МО. Изучить основные разновидности многопозици- онных РЛС (МПРЛС), как частного вида радиосистем МО, и дать характеристику их составным частям. Знать принципы и особен- ности работы систем синхронизации комплексов МПРЛС. Знать принципы построения распределенных РЛС. Ознакомиться с ос- новными методами селекции и распознавания отдельных объек-

тов в составе радиосистем МО. Разобраться с принципами работы и строением систем на основе радиометок. Уточнить, что собой представляет цифровая РТС, и какие причины в настоящее время привели к широкому использованию таких систем. Понимать, ка- кие перспективы открываются при использовании локальных вы- числительных сетей в МПРЛС, учитывая специфику их работы.

# Вопросы для самопроверки:

* + 1. Укажите достоинства и недостатки локации с активным ответом. Расскажите о специфике работы радиосистем МО.
    2. Что называют многопозиционной РЛС? Какие основные разновидности МПРЛС вы знаете?
    3. Как организуют шкалу единого времени для радиосисте- мы МО? Что собой представляет база МПРЛС?
    4. Назовите основные типовые модели радиосистем МО и дайте характеристику еѐ составным частям.
    5. Какие виды объединения информации об объектах слеже- ния возможны в МПРЛС?
    6. Какие методы увеличения пропускной способности кана- лов связи и когда используют в современных радиосистемах МО?
    7. Какие принципы и виды защиты информации в каналах связи и когда используют в современных радиосистемах МО?
    8. Перечислите основные методы селекции и распознавания отдельных объектов в радиосистемах МО. Что такое радиометки?
    9. Расскажите об основных принципах построения локаль- ных вычислительных сетей с учетом специфики работы МПРЛС.
    10. Какой диапазон радиоволн надо использовать в МПРЛС для обеспечения пространственно-когерентной обработки, если известно, что Б = 15м, R >3км и Lц = 30м?

# Основные тенденции и перспективы развития совре-

**менных РЛС.**

Радиочастотный спектр и проблемы его оптимального ис- пользования. Основные требования и тенденции развития совре-

менных многофункциональных радиолокационных комплексов. [1. с. 352-375; 3. с. 509-529; 4. т3 с. 7-195]

# Методические указания:

Учитывая многофункциональность и универсальность со- временных РТС, уметь обосновывать синтез и/или оптимизацию конкретных РЛС: в зависимости от заданной потенциальной точ- ности измерений выбирать рабочий диапазон частот и структуру зондирующих сигналов, принципы работы и построения РЛС и др. еѐ характеристики. Изучить методы повышения качества функционирования этих систем за счет их адаптации к конкрет- ным условиям слежения и комплексирования.

# Вопросы для самопроверки:

* + 1. Дайте определения понятий «синтез» и «оптимизация» и их критериев для радиотехнических систем.
    2. В чем совпадают и в чем различаются задачи синтеза и оптимизации для технической РТС?
    3. Как правильно выбрать рабочий диапазон частот и струк- туру сигнала для конкретной технической РТС?
    4. Назовите особенности спектров сигналов, оптимальных для наилучшего разрешения и высокоточных измерений.
    5. Как обеспечить оптимальность выбора рабочего диапазо- на радиоволн для многофункциональных РТС?
    6. Объясните выбор рабочего диапазона радиоволн для под- водных; - космических радиосистем.
    7. Для каких радиосистем в качестве рабочего наиболее подходит метровый диапазон радиоволн? Объясните: почему?
    8. Что даѐт применение адаптации и комплексирования для работы локационных радиосистем? Объясните: почему?
    9. Перечислите основные требования к современным мно- гофункциональным радиолокационным комплексам.
    10. Расскажите об основных тенденциях развития современ- ных многофункциональных радиотехнических комплексов.

# 2. ТИПОВОЙ РАСЧЕТ

В типовом расчете студенту надо выполнить анализ работы одной из предложенных радиосистем. Индивидуальный вариант задания определяется студентом самостоятельно по последней цифре шифра своего студенческого билета (зачетки), а номер ва- рианта исходных данных – по предпоследней цифре шифра.

По согласованию с преподавателем можно индивидуально выбрать любые специализированные радиосистемы управления, автоматики, дальнометрии (локации, навигации и позиционные), электронной борьбы и иное эквивалентное задание по тематике своей будущей дипломной работы.

# Условия заданий типового расчета

По заданным тактическим характеристикам радиосистемы произвести расчет еѐ основных технических характеристик:

* вид зондирующего радиосигнала и его параметры (длину волны, среднюю и импульсную мощность, длительность, период следования, внутриимпульсную модуляцию и т.д.);
* основные параметры РПУ (полосу пропускания, чувстви- тельность, динамический диапазон сигналов, промежуточные частоты, регулировку усиления, уровень выходного сигнала, оце- нить величину потерь при обработке, элементную базу и т.д.);
* основные характеристики антенной системы (тип антенны, еѐ основные размеры, ширину диаграммы направленности в двух плоскостях, КНД, уровень боковых лепестков, оценить значение потерь в антенно-фидерном тракте и т.д.);
* тип и характеристики выходного устройства радиосисте- мы (тип и число индикаторов, тип устройства накопления (или межпериодной обработки), порогового устройства, вид кода при цифровом съеме информации и т.д.);
* вид устройства управления режимом работы системы (синхронизатора (таймера), синтезатора частот и т.д.).
* составить функциональную и структурную схемы всей системы и подробную структурную схему заданного устройства.

# Варианты Радиотехнических систем

* + - 1. «Наземная импульсная РЛС обнаружения». Дальность действия по самолету с ЭПР ζ = 10м2: – R

0

(при

отсутствии организованных помех) и – R1 (при активных радио- помехах на борту цели интенсивностью Р0). Сектор обзора: – по азимуту 360º и по углу места 0,5º÷15º. Период обзора Тобз. Веро- ятность правильного обнаружения не менее Рпо при вероятности ложной тревоги за время Тобз не более Рлт = 0,1. Ошибки измере-

ния координат за обзор: – по углам не более ζθ и по дальности не более ζR. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| R0, км | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| R1, км | 100 | 100 | 100 | 200 | 200 | 200 | 200 | 150 | 150 | 150 |
| Р0,Вт/МГц | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 0,5 |
| Рпо | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| ζ , м2  R | 20 | 20 | 40 | 40 | 60 | 60 | 20 | 20 | 40 | 40 |
| ζθ, град | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,4 |
| Тобз, с | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Схема | Антенна | | Прием-  ник | | Передат-  чик | | Нако-  питель | | Устр.  съема | |

* + - 1. «Наземная РЛС секторного обзора воздушных целей». Дальности: обнаружения самолета с ЭПР ζ = 5 м2 не менее

R0 = 200 км, действия при активных шумовых помехах интенсив- ностью Р0 – не менее 150 км, а при наличии пассивных помех ин- тенсивностью n пачек на 1км пути при ЭПР одной пачки 100 м2 – не менее 180 км. Число целей до 50. Сектор обзора Δβ×Δε. Пери- од обзора Тобз. Ошибки измерения координат: – по углам не более

ζθ и по дальности не более ζR. Вероятность правильного обнару-

жения не менее Рпо при среднем числе ложных тревог за обзор не более N. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Δβ, град | 60 | 60 | 60 | 30 | 30 | 30 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| Δε, град | 40 | 50 | 60 | 20 | 30 | 15 | 30 | 40 | 50 | 20 |
| Р0,Вт/МГц | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| n | 5 | 10 | 15 | 20 | 15 | 5 | 10 | 15 | 20 | 15 |
| Рпо | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,6 |
| N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Тобз, с | 5 | 7 | 10 | 15 | 20 | 5 | 7 | 10 | 15 | 20 |
| ζ , м2  R | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| ζθ, мин | 3 | 4 | 5 | 7 | 10 | 3 | 4 | 5 | 7 | 10 |
| Схема | Прием-  ник | | Передат-  чик | | Антенна | | Нако-  питель | | Система  СДЦ | |

* + - 1. «Корабельная импульсная РЛС кругового обзора». Назначение: обнаружение кораблей и воздушных целей.

Максимальные дальности действия по надводной цели высотой h с отражающей поверхностью ζ1 при вероятности правильного обнаружения за обзор Рпо и вероятности ложной тревоги Рлт – не менее R0; обнаружения воздушной цели с отражающей поверхно-

стью ζ2 на высоте 10 км при тех же вероятностных характеристи- ках – не менее R1, а минимальная – не более 75 м. Период обзора Тобз. Сектор обзора по углу места 15º. Разрешающая способность:

* по дальности ΔR не хуже 60 м и по азимуту Δα – не хуже 0,5º.

Исходные данные для расчета приведены в табл. 3.

Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| R0, км | 20 | 20 | 30 | 35 | 40 | 20 | 20 | 30 | 35 | 40 |
| R1, км | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Тобз, с | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| h, м | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| ζ , м2  1 | 200 | 200 | 1000 | 1000 | 1000 | 200 | 200 | 1000 | 1000 | 1000 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ζ , м2  2 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Рпо | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Рлт | 10–6 | 10–6 | 10–6 | 10–6 | 10–6 | 10–8 | 10–8 | 10–8 | 10–8 | 10–8 |
| Схема | Антенна | | Прием-  ник | | Передат-  чик | | Инди-  катор | | Устр.  съема | |

* + - 1. «РЛС автоматического сопровождения цели по дальности и направлению с коническим сканированием луча».

Дальность действия не менее R, а минимальная дальность действия не более 5 км. Сектор поиска (по целеуказанию) Δβ×Δε. Ошибки сопровождения цели с ЭПР ζ = 5 м2, движущейся рав- номерно со скоростью не более V: – по дальности не более ζR и по углам не более ζθ. Время захвата на сопровождение с вероят- ностью не менее 0,9 при вероятности ложного срабатывания не

более 10–3 – не более Т (включая время выхода на сектор). Пас-

с

сивная помеха интенсивностью n пачек с ζ = 100 м2 на 1 км пути. Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.

Таблица 4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| R, км | 200 | 300 | 400 | 500 | 100 | 150 | 200 | 300 | 400 | 500 |
| V, м/с | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 |
| ζR, м | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| ζθ, град | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Δβ×Δε | 10º×10º | | | | | 5,0º×5,0º | | | | |
| Тс, с | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Схема | Передат-  чик | | Прием-  ник | | Система  СДЦ | | Авто-  дальномер | | РЛС  слежения | |

* + - 1. «Моноимпульсная РЛС автоматического сопровождения по дальности и направлению».

Дальность действия не менее R, а минимальная дальность – 50 км. Ошибки сопровождения цели с ЭПР ζ = 5 м2, движущейся

на высоте 100÷500 км со скоростью 7 км/с: – по дальности не бо- лее ζR и по угловым координатам не более ζθ. Сектор целеуказа- ния Δβ×Δε. Исходные данные для расчета приведены в табл. 5.

Таблица 5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| R, км | 1000 | 1200 | 1500 | 1800 | 2000 | 1000 | 1200 | 1500 | 1800 | 2000 |
| ζR, м | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 |
| ζθ, мин | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 |
| Δβ×Δε | 1,0º×1,0º | | | | | 0,5º×0,5º | | | | |
| Схема | Приемник | | | Дальномер | | | РЛС сопровождения | | | |

* + - 1. «Система радиоуправления».

Дальность действия (поражения) по цели с ЭПР ζ = 5 м2 –

не менее R. Радиус поражения цели зарядом: – при вероятности поражения 0,99 не менее 20 м и при вероятности поражения 0,95 не менее 30 м. Скорость движения управляемого снаряда на уча- стке R равна V1., а цели – не более V2. Вероятность поражения не

менее 0,95. Количество одновременно обрабатываемых целей не менее n1. Исходные данные для расчета приведены в табл. 6.

Таблица 6

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| R, км | 20 | 20 | 20 | 30 | 30 | 30 | 50 | 50 | 30 | 30 |
| V1, м/с | 300 | 450 | 450 | 450 | 600 | 600 | 600 | 300 | 300 | 300 |
| V2, м/с | 100 | 150 | 100 | 150 | 200 | 200 | 300 | 200 | 200 | 250 |
| n1 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Схема | РЛС наведения | | | РЛС обнаружения | | | | РЛС слежения | | |

* + - 1. «Разностно-дальномерная радионавигационная система».

Перекрываемая площадь ΔX×ΔY км2. Ошибка определения

местоположения (по модулю) не более ΔR. Время определения местоположения с вероятностью 0,9 – не более Т0. Исходные данные для расчета приведены в табл. 7.

Таблица 7

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ΔX×ΔY | 1000×1000 | | 1200×1200 | | 1500×1500 | | 2000×2000 | | 3000×3000 | |
| ΔR, км | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 1,0 |
| То, с | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Схема | Приемник | | | Синхронизатор | | | | Передатчик | | |

* + - 1. «Пассивный радиолокатор».

Площадь охвата ΔX×ΔY км2 при ошибке определения ме-

стоположения не более |ΔR|. Диапазон частот f0. Ширина спектра полезного сигнала Δf. Отношение спектральных плотностей мощности полезного сигнала и помехи – q2. Количество целей в зоне охвата не менее n. Вероятность правильного обнаружения цели за время То не менее Рпо при вероятности ложной тревоги Рлт

= 10–6. Исходные данные для расчета приведены в табл. 8.

Таблица 8

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ΔX×ΔY | 100 × 100 км | | | | | 200 × 200 км | | | | |
| ΔR, км | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| f0, ГГц | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Δf1, МГц | 10 | 7 | 5 | 3 | 2 | 10 | 7 | 5 | 3 | 2 |
| q2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| n | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Рпо | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| То, с | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Схема | Приемник | | | Линия связи | | | Коррелятор | | | |

* + - 1. «Система радиоразведки».

Диапазон рабочих частот от fн до fв. Сектор обзора Δβ×Δε. Разрешающая способность по частоте δf, по угловым координа- там – δβ = 3º и δε = 3º. Период обзора Тобз. Вероятность обнару- жения сигналов, имеющих ширину спектра не менее Δf1, при от-

ношении их спектральной плотности к спектральной плотности фонового излучения (для ненаправленной антенны) не менее N

должна быть не менее Рпо при вероятности ложного срабатывания

Рлт

= 10–6. Исходные данные для расчета приведены в табл. 9.

Таблица 9

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| fн, ГГц | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 2,8 | 2,8 | 9,5 | 0,3 | 0,1 |
| fв, ГГц | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 3,2 | 3,2 | 10,5 | 1,0 | 0,3 |
| Δβ, град | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 60 | 45 | 360 | 360 | 360 |
| Δε, град | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 20 | 15 | 90 | 90 | 90 |
| δf, МГц | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 5 | 10 | 5 | 1,0 | 0,5 |
| Тобз, с | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 10 | 20 | 30 | 10 | 20 |
| Рпо | 0,9 | 0,95 | 0,9 | 0,95 | 0,9 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,8 | 0,9 |
| Δf1, МГц | 2,0 | 1,0 | 2,0 | 1,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 0,1 | 0,1 |
| N | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |
| Схема | Приемник | | Антенна | | Индикатор | | | Порог. Устр. | | |

* + - 1. «Система радиопротиводействия».

Расстояние между объектом защиты с отражающей поверх- ностью ζ1 и радиолокационными средствами со средней мощно- стью Р – не менее R, а между объектом защиты и системой ра- диопротиводействия R1. Диапазон частот от fн до fв. Вероятность прикрытия цели (пропуска) за временной интервал Тн – не менее

0,95. Исходные данные для расчета приведены в табл. 10.

Таблица 10

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| R, км | 50 | 60 | 70 | 80 | 100 | 50 | 60 | 70 | 80 | 100 |
| R1, км | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| fн, ГГц | 9,5 | 9,5 | 2,7 | 2,7 | 9,8 | 9,8 | 0,8 | 0,8 | 1,8 | 1,8 |
| fв, ГГц | 10,5 | 10,5 | 3,3 | 3,3 | 10,2 | 10,2 | 1,2 | 1,2 | 2,2 | 2,2 |
| ζ , м2  1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Р, кВт | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Тн, с | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 |
| Помеха | Широкополосная | | | Прицельная | | | Уводящая | | | |
| Схема | Передатчик | | | Приемник | | | Устр. управления | | | |

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ТИПОВОГО РАСЧЕТА

Двумя главными задачами радиосистем являются: – обна- ружение неизвестных объектов (целей) с помощью радиосигна- лов и определение местоположения и параметров движения этих объектов. Выполнение типового расчета следует начать с по- строения обобщенных функциональной и структурной схем по- лученной радиосистемы, учитывая особенности каждого вида и требования индивидуального задания, с обязательным указанием рабочих сигналов/параметров во всех линиях связи. При проек- тировании радиосистем еѐ синтез целесообразно начинать с за- данных характеристик обнаружения и заданной точности изме- рения координат. Показателями качества обнаружения являются вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги, а пока- зателем качества измерения координат является еѐ ошибка (сред- неквадратическое значение). На основе этих характеристик с уче- том требований по зоне действия и уровню помех и определяют- ся наиболее рациональные требования к РПдУ, антенне, РПУ, устройствам съема информации и др. Следует отметить, что тре- бования к отдельным устройствам с точки зрения задачи обнару- жения и измерения координат при различных видах помех часто противоречивы, что существенно усложняет задачу синтеза.

# ОФОРМЛЕНИЕ ТИПОВОГО РАСЧЕТА

1. Типовой расчет выполняется в полном соответствии с ин- дивидуальным заданием каждым студентом самостоятельно в тетради с полями для замечаний и пометок преподавателя.
2. В титуле работы записывают еѐ полное название с указа- нием заданного типа радиосистемы, режима еѐ работы и номера варианта числовых данных, фамилию, инициалы и шифр студен- та, а также номер его учебной группы, число и фамилию препо- давателя кафедры, подписавшего это задание.
3. При выполнении работы по каждому пункту задания расчету отдельных величин искомых параметров должны

предшествовать полные текст условия задания с исходными данными и вывод расчетной формулы в общем виде с необхо- димыми пояснениями и ссылок на литературу. Заданные срав- нение результатов, оценка погрешностей, полученные графики и выводы по каждому пункту работы должны быть представле- ны в отчете четко и наглядно, а все необходимые графические работы следует выполнять строго по ГОСТу. В конце типового расчета приводится список используемой в нем литературы.

# План изложения материала в типовом расчете

1. **Введение**
2. Анализ главных специализированных задач, стоящих пе- ред заданной радиотехнической системой.
3. Анализ решений и принципов работы, используемых для данного вида систем с учетом поставленных задач.

# Основная часть

* 1. Обоснование и анализ построения выбранной РТС на ос- нове исходных данных с акцентом на следующее:

а) обоснование используемых рабочих радиосигналов;

б) анализ выбранных функциональной и структурной схем.

* 1. Необходимые числовые вычисления.
  2. Конкретная реализация полученных решений.

# Заключение

1. Анализ основных радиотехнических недостатков, харак- терных для полученной РТС данного типа.
2. Конструктивные предложения (конкретные) по устране- нию этих недостатков.

# 5. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК: Основной

1. Баскаков А.И., Жутяева Т.С., Лукашенко Ю.И. Локацион- ные методы исследования объектов и сред / Под ред. А.И. Баска- кова, М., «Академия», 2011г.
2. Бакулев П.А. Радиолокационные системы, М., Радиотехни-

ка, 2004 г.

1. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации, М., Радио и Связь, 1983 г.
2. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Сколника в 4–х томах, М., Советское Радио, 1976 – 1979 гг.

# Дополнительный

1. Справочник «Радиоэлектронные системы» – Основы по- строения и теория / Под ред. Я.Д. Ширмана (изд. 2-е перерабо- танное и дополненное), М.: Радиотехника, 2007 г.
2. Радиолокационные системы многофункциональных самоле- тов / Под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова в 3-х томах, М., Радиотехника, 2006 г.
3. Куприянов А.И., Шустов Л.Н. Радиоэлектронная борьба – Основы теории, М., «Вузовская книга», 2011 г.
4. Пассивная радиолокация – Методы обнаружения объектов/ Под ред. Р.П. Быстрова, А.В. Соколова, М., Радиотехника, 2008 г.
5. Справочник по радиоэлектронным системам / Под ред. Б.Х. Кривицкого в 2–х томах, М., Энергия, 1979 г.
6. Виницкий А.С. Автономные радиосистемы, М., Радио и Связь, 1986 г.
7. Арсеньев Г.Н., Деркач В.В. Автоматические устройства ра- диоэлектронных систем, М., Радиотехника, 2006 г.
8. Каганов В.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Компьюте- ризованный курс, М.: Форум-Интра-М, 2005 г.
9. Неронский Л.Б., Виноградный А.В., Тимофеев Л.М. Моде- лирование преобразований сигналов в радиолокаторах с синтези- рованной апертурой, М., МИРЭА, 2003 г.
10. Бакулев П.А., Сосновский А.А. Радиолокационные системы: Лабораторный практикум, М., Радиотехника, 2007 г.
11. Ерофеев Г.С., Прозоровский Ю.С. Радиотехнические систе- мы: Методические указания по выполнению курсовой работы, М., МИРЭА, 1992 г.

# СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение 3
2. Программа, методические указания и контрольные вопросы по дисциплине «Основы теории радиолокационных систем и комплексов» 4
3. Задание для индивидуального типового расчета 16
4. Методические указания по выполнению типового расчета 23
5. Требования по оформлению типового расчета 24
6. Библиографический список 25
7. Содержание 26