МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

СИСТЕМЫ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ

ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЕ ТИПОВОГО РАСЧЕТА

Для подготовки магистров по направлению 210400.68 «Радиотех- ника» магистерские программы 21 «Системы и устройства передачи,

приема и обработки сигналов», 23 «Радиоэлектронные средства и системы локации, навигации и управления», 24 «Радиотехнические системы мони- торинга», 25 «Микроволновая техника и антенны радиоэлектронных сис- тем», 26 «Энергообеспечение радиотехнических систем» и 27 «Космиче- ские информационные системы» всех форм обучения.

МОСКВА 2013 г.

УДК 621.396.42 (076) ББК 32.844я75

Редактор: С.Н. Замуруев

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

д.т.н., проф. С.В. Киреев

В.Л. Захаров, В.В. Куренков, Ю.М. Фатьянов Системы радио- управления. Программа, методические указания и задание типо- вого расчета./ Федеральное государственное бюджетное образо- вательное учреждение высшего профессионального образования

«Московский государственный технический университет радио- техники, электроники и автоматики» /-М., 2013.- 19 с.

Данные методические указания предназначены для подго- товки магистров по направлению 210400.68 «Радиотехника» про- граммы 21 «Системы и устройства передачи, приема и обработки сигналов», 23 «Радиоэлектронные средства и системы локации, навигации и управления», 24 «Радиотехнические системы мони- торинга», 25 «Микроволновая техника и антенны радиоэлектрон- ных систем», 26 «Энергообеспечение радиотехнических систем» и 27 «Космические информационные системы» всех форм обуче- ния при изучении дисциплины по выбору «Системы радиоуправ- ления» М2.В.ДВ.02 вариативной части профессионального цикла ООП и выполнения ими индивидуального типового расчета.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета университета.

Нелегальное копирование и использование данного продук- та запрещено. Электронное издание, номер государственной ре- гистрации 0321300858 от 7 мая 2013г.

ISBN 978-5-7339-1101-4

© Захаров В.Л., 2013 г.

© Куренков В.В., 2013 г.

© Фатьянов Ю.М., 2013 г.

© МИРЭА, 2013 г.

# ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Системы радиоуправления» является одним из специальных предметов для магистров радиотехнических специ- альностей. Цель еѐ преподавания – подготовка студентов к само- стоятельной работе по созданию и применению радиосистем управления (РСУ), используемых в современных многофункцио- нальных радиотехнических системах (РТС) для решения задач автоматического измерения и изменения параметров используе- мых радиосигналов, включая их цифровую обработку, с целью управления состоянием и/или местоположением в пространстве и/или времени заданных подвижных объектов. Программа курса предусматривает изучение основ теории управления и принципов построения важнейших видов РСУ и их комплексов, а также спе- цифики реализованных в них средств и методов радиоуправления в зависимости от структуры применяемых сигналов.

Требования к обязательному минимуму содержания дисци- плины по выбору М2.В.ДВ.02 «Системы радиоуправления» вы- полнены в полном соответствии с ГОС дисциплины «Радиосисте- мы управления» (СД.05).

Настоящее пособие составлено в соответствии с ФГОС ВПО дисциплины по выбору М2.В.ДВ.02 «Системы радиоуправления» вариативной части профессионального цикла ООП магистров по направлению 210400.68 «Радиотехника» программы 21 «Системы и устройства передачи, приема и обработки сигналов», 23 «Ра- диоэлектронные средства и системы локации, навигации и управ- ления», 24 «Радиотехнические системы мониторинга», 25 «Мик- роволновая техника и антенны радиоэлектронных систем», 26

«Энергообеспечение радиотехнических систем» и 27 «Космиче- ские информационные системы» всех форм обучения.

Студент по дисциплине обязан прослушать курс лекций и вы- полнить по результатам проведенных практических занятий инди- видуальный типовой расчет, после чего сдает дифференцируемый зачет. На зачете студент предъявляет этот зачтенный типовой расчет

# ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «СИСТЕМЫ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ»

* 1. **Основы теории радиосистем управления (РСУ).**

Введение. Задачи и особенности курса «Системы радио- управления». Способы и методы радиоуправления: позиционное и функциональное управление. Современная классификация сис- тем радиоуправления. Энергетика радиолинии управления. Точ- ность и помехоустойчивость работы РСУ в комплексе РТС.

[1. с. 10-23; 2. с. 5-23; 3. с. 72-85; 4. с. 170-188]

# Методические указания:

Ознакомиться с историей и основами теории управления и РСУ, понимать роль советских и российских ученых в их разви- тии. Знать назначение и область применения этих систем. Разли- чать особенности позиционного и функционального управления. Изучить современную классификацию систем радиоуправления по различным отличительным признакам: – назначению и техни- ческим характеристикам; – законам и способам управления; – принципам построения; – видам траекторного движения и мето- дам наведения; – видам автономности и др. Знать принципы вы- бора рабочего диапазона частот и уметь обосновать энергетику радиолинии, точность и помехоустойчивость работы РСУ.

# Вопросы для самопроверки:

1. Расскажите о применении современных РСУ и назовите имена советских и российских ученых, внесших весомый вклад в теорию радиоуправления и технику этих систем.
2. Какие основные функции выполняют системы радио- управления? Назовите их отличительные особенности.
3. Какие способы и законы управления и в каких случаях используют в современных системах радиоуправления?
4. Назовите основные признаки классификации РСУ.
5. Какие режимы работы и когда используют в РСУ?
6. Объясните основные принципы выбора рабочего диапа- зона частот для различных систем радиоуправления.
7. Что такое энергетический потенциал радиолинии РСУ и какими физическими факторами он определяется?
8. Какие факторы определяют точность работы РСУ?
9. Дайте краткую характеристику всем воздействиям, ока- зывающим существенное влияние на контур управления РСУ.
10. От чего зависит помехоустойчивость работы РСУ?

# Основные типы радиосистем и комплексов управления.

Общая характеристика важнейших типов РСУ. Инструмен- тальные средства этих систем, их назначение и принцип работы: контур следящего управления, его основные звенья и их характе- ристики. Структурные схемы основных типов РСУ. Автопилот. Особенности систем массового радиоуправления (МРУ): исполь- зование виртуальных «облачных» технологий в управлении.

[1. с. 23-49; 2. с. 23-45; 3. с. 50-59; 4. с. 6-74]

# Методические указания:

Знать основные типы систем радиоуправления и их отличи- тельные особенности. Разобраться в инструментальных средст- вах, применяемых в РСУ и РТС. Уметь использовать обобщен- ные функциональную и структурную схемы РСУ для анализа еѐ работы. Изучить обобщенную структурную схему контура сле- дящего управления, знать его основные радиозвенья и понимать их предназначение с учетом их технических характеристик. Знать принципы построения автопилота и его функциональные задачи. Изучить особенности систем МРУ. Разобраться в принципах ра- боты таких систем и понимать важность правильной организации шкалы единого времени для них. Знать основные способы увели- чения пропускной способности (сжатие информации, увеличение числа и уплотнение каналов связи) и виды защиты информации (модуляция, кодирование и шифрование) систем МРУ.

# Вопросы для самопроверки:

1. Какие РТС входят в состав комплексов радиоуправления?
2. Какие инструментальные средства и для чего используют в современных системах радиоуправления?
3. Что собой представляют замкнутый и разомкнутый кон- туры управления? Укажите их недостатки и достоинства.
4. Дайте краткую характеристику составных частей РСУ.
5. Какие особенности имеют системы радиоуправления как замкнутые следящие системы? Из каких звеньев они состоят?
6. От каких факторов зависят параметры радиозвена?
7. Какие важные задачи решают с помощью автопилота?
8. Постройте структурную схему контура автономного радио- управления в горизонтальной плоскости.
9. Расскажите об отличительных особенностях РСУ массо- вого обслуживания. Что такое шкала единого времени системы?
10. Какие методы виртуальных «облачных» технологий, и в каких случаях используют в технических системах МРУ?

# Командное (директорное) радиоуправление.

Основные сведения о командных аналоговых и цифровых радиолиниях. Системы следящего командного радиоуправления (КРУ). Структурные схемы основных видов КРУ: разрешение ра- диосигналов, оценка точности измерений и помехоустойчивости. Командно – измерительные системы и комплексы.

[1. с. 126-195; 2. с. 170-185; 3. с. 87-113, 164-211; 4. с. 189-271]

# Методические указания:

Уметь объяснить особенности использования и разрешения аналоговых и цифровых сигналов в командных радиолиниях. Ис- пользуя обобщенную функциональную схему радиолинии КРУ, объяснить еѐ важнейшие параметры и характеристики. Знать ос- новные виды следящих систем КРУ и их структурные схемы, уметь объективно оценить потенциальные точности их измере-

ний и помехоустойчивость. Уметь формулировать отличительные особенности работы командно – измерительных комплексов, как систем массового радиоуправления.

# Вопросы для самопроверки:

1. Приведите структурную схему обобщенной системы КРУ. Объясните принцип еѐ работы.
2. Объясните причины появления ошибок в системах КРУ.
3. Сформулируйте критерий оценки качества работы систем синхронизации и демодуляции для КРУ.
4. Дайте определение командно – измерительной системы (КИС). Назовите еѐ отличительные особенности.
5. Какая ОС командных радиолиний нашла наибольшее применение в командно-измерительных системах? Почему?
6. Перечислите преимущества и недостатки командно- измерительных радиолиний с простыми, сложными ортогональ- ными и сложными противоположными сигналами.
7. Объясните методы измерения дальности (положения).
8. Объясните методы измерения радиальной скорости.
9. Объясните основные методы измерения угловых коорди- нат объектов и их производных.
10. Чем определяется диапазон однозначности при разных методах измерений дальности, скорости и угловых координат?

# Радиосистемы управления атмосферными летательны-

**ми аппаратами (ЛА).**

Объекты управления (ОУ) в трехмерном пространстве. Ос- новные элементы их конструкций: корпус, двигатели, крылья и рулевые органы. Виды рулевого управления объектами и ЛА. Измерение навигационных параметров. Радиоуправление прибо- рами и агрегатами ОУ в режиме реального времени. Особенности космических, подводных и подземных систем радиоуправления.

[1. с. 200-216; 2. с. 23-45]

# Методические указания:

Уметь конкретизировать задачу радиоуправления: вождение подвижного объекта в трехмерном пространстве. Знать основные системы координат и соответствующие навигационные парамет- ры. Ознакомиться с принципом работы основных устройств, ис- пользуемых в качестве динамических ОУ в трехмерном про- странстве, знать их регулировочные характеристики. Сформули- ровать необходимое и достаточное условие радиоуправления различными подвижными объектами в режиме реального време- ни. Знать отличительные особенности радиоуправления космиче- скими, подводными и подземными динамическими объектами.

# Вопросы для самопроверки:

1. Приведите примеры основных устройств, используемых в качестве динамических ОУ, и объясните принцип их работы.
2. Перечислите преимущества и недостатки различных ме- тодов измерения навигационных параметров.
3. Что такое вектор состояния летательного аппарата?
4. Как определяются фиксированные и нефиксированные тра- ектории движения ЛА? Что такое кинематическая траектория?
5. К каким ошибкам наведения ОУ на цель приводит воз- действие помех малого и большого уровня на КРЛ?
6. Какие бывают виды динамических ошибок наведения ОУ на цель? Объясните: что и как влияет на их величину?
7. Из каких звеньев состоит передаточная функция объекта управления для крестокрылого атмосферного ЛА?
8. Как создаѐтся нормальное ускорение при управлении ат- мосферным летательным аппаратом?
9. Перечислите особенности эксплуатации космических, подводных и подземных подвижных ОУ.
10. Приводят ли к ошибке наведения ОУ на цель разбаланс КРЛ, постоянный возмущающий аэродинамический момент, сис- тематические погрешности радиовизиров при астатизме контура следящего радиоуправления первого и второго порядков?

# Автономное радиоуправление.

Проблемы автономного радиоуправления. Общая характе- ристика важнейших измерительных устройств автономных РСУ. Системы автономного радиоуправления с распознаванием обра- зов. Полуавтономное и пассивное радиоуправление.

[1. c. 285-347; 2. с. 246-288; 3. с. 248-270; 4. с. 352-395]

# Методические указания:

Изучить современную классификацию систем автономного радиоуправления по различным отличительным признакам: – ви- дам автономности; – принципам построения; – видам извлечения информации и др. Знать основные достоинства и недостатки ав- тономных РСУ. Уметь обосновать выбор необходимого набора измерительных устройств для конкретной автономной системы. Использовать классификацию систем автономного управления с распознаванием образов для решения практических задач. Уметь строить схемы полуавтономных и пассивных систем. Изучить методы повышения качества функционирования этих систем за счет их адаптации к конкретным условиям и комплексирования.

# Вопросы для самопроверки:

1. Как классифицируют системы автономного управления?
2. Перечислите измерительные устройства, применяемые при автономном радиоуправлении, и принципы их работы.
3. Какие основные погрешности характерны для различных видов автономных радиосистем?
4. Как осуществляется автономное радиоуправление с ис- пользованием распознавания образов?
5. Дайте современную классификацию автономных радио- систем с распознаванием образов.
6. Какие принципы построения корреляционно - экстре- мальных навигационных систем Вы знаете.
7. Какие ошибки характерны для корреляционно - экстре-

мальных навигационных систем?

1. Объясните общие принципы построения и области при- менения систем полуавтономного радиоуправления.
2. Какие основные погрешности определяют точность полу- автономного спутникового радиоуправления?
3. Поясните преимущества использования дифференциаль- ного режима и фазовых измерений при полуавтономном спутни- ковом радиоуправлении.

# Радиотелеуправление и самонаведение.

Принципы построения комплексов радиотелеуправления. Наведение по лучу и его радиолиния управления. Системы ра- диотехнического и теплового самонаведения. Структурные схе- мы головок самонаведения. Визиры цели самонаведения.

[1. с. 217-274; 2. с. 185-245; 4. с. 272-351]

# Методические указания:

Сформулируйте основные принципы построения систем ра- диотеленаведения и особенности применения высокоточного на- ведения. Объясните основные отличия в реальных методах наве- дения. Дайте основные энергетические соотношения для радио- линии управления. Знать специфику работы систем радиотехни- ческого и теплового самонаведения. Изучить структурные схемы головок самонаведения и используемые в них визиры цели.

# Вопросы для самопроверки:

1. Что представляют собой системы радиотеленаведения?
2. В чем отличие двух и трѐхточечных методов наведения?
3. Как осуществляется пропорциональное наведение?
4. Как осуществляется наведение ракеты по кривой погони и параллельное сближение с целью?
5. Что такое радиозона и радиолуч системы управления?
6. Назовите основные принципы формирования радиозоны и

радиолуча для систем радиотеленаведения.

1. Зачем нужен опорный сигнал? Объясните методы переда- чи различных видов опорного сигнала на борт ОУ.
2. Дайте классификацию систем самонаведения.
3. Что такое статистический эквивалент помехи? Как он оп- ределяется на практике? Объясните: почему?
4. Сравните принципы построения систем радиотехниче- ского наведения и командного радиоуправления.

# Радиоуправление космическими аппаратами (КА).

Космические аппараты и траектории их движения. Особен- ности космических радиолиний. Системы траекторных измере- ний: их точность измерений параметров движения и орбиты КА.

[1. с. 63-124; 2. с. 46-103, 104-167; 4. с. 75-169]

# Методические указания:

Знать базовые виды опорных систем координат и траекто- рий движения КА. Сформулировать отличительные особенности управления КА. Уметь обосновывать энергетический потенциал космических радиолиний. Знать принципы работы основных сис- тем траекторных измерений. Уметь четко обосновывать требуе- мую точность измерений параметров движения КА и его орбиты.

# Вопросы для самопроверки:

1. Какие системы координат используются при анализе дви- жения КА? Назовите его отличительные особенности.
2. Какие основные виды траекторий КА существуют?
3. Что такое условные и нормальные уравнения при опреде- лении орбиты космического аппарата по результатам измерения навигационных параметров движения?
4. Какие основные пути уменьшения систематических по- грешностей измерений при определении траектории КА?
5. Перечислите важнейшие функции бортового комплекса управления КА и объясните принципы его работы.
6. Какие преимущества при управлении низкоорбитальными ИСЗ дает использование спутников-ретрансляторов, находящихся на геостационарных орбитах? Объясните: почему?
7. Для какого наклона орбиты длительность сеанса связи ИСЗ с наземным пунктом будет минимальной?
8. Приведите структурную схему посадочного радиоком- плекса КА. Назовите его отличительные особенности.
9. Какой диапазон радиоволн и почему предпочтителен для связи наземной станции, имеющей всенаправленную антенну, с неориентированным КА? Объясните: почему?
10. Перечислите преимущества и недостатки различных ме- тодов измерения дальности (координат) до КА.

# Радиотелемеханические системы и комплексы.

Назначение, особенности, структура и режимы работы ра- диотелемеханических систем и комплексов. Виды и принципы построения радиовзрывателей. Эффективность поражения цели.

[1. с. 349-372; 4. с. 396-413]

# Методические указания:

Знать назначение, важнейшие особенности, структуру и ре- жимы работы радиотелемеханических РТС и комплексов, а также их систем синхронизации работы. Ознакомиться с основными видами и принципами построения радиовзрывателей. Уметь по- строить область возможного поражения цели и выполнить анализ эффективности этого поражения для конкретных ситуаций.

# Вопросы для самопроверки:

1. Объясните назначение радиотелемеханических РТС.
2. Перечислите отличительные особенности радиотелемеха- нических РСУ и объясните общие принципы их построения.
3. Зачем нужен современный радиовзрыватель?
4. Какие особенности функционирования надо учитывать при разработке радиовзрывателей? Объясните: почему?
5. В чем суть согласования срабатывания радиовзрывателя и боевой части ракеты, какими способами оно достигается?
6. Назовите важнейшие принципы построения и методы реализации измерительных устройств радиовзрывателей.
7. Как используется эффект Доплера в радиовзрывателях?
8. Что такое область возможного поражения цели, и какими факторами определяется еѐ форма? Объясните: почему?
9. Что такое область срабатывания радиовзрывателя, и ка- кими факторами определяется еѐ форма? Объясните: почему?
10. Какими основными факторами определяется вероятность поражения цели? Объясните: почему?

# Проектирование радиосредств комплексов управления.

Анализ рабочего радиосигнала: выбор структуры и диапазо- на. Системы синхронизации работы и измерения расстояний. Проектирование РСУ с использованием имитационных моделей.

[1. с. 373-412; 2. с. 289-322; 3. с. 114-140; 4. с. 414-453]

# Методические указания:

Учитывая многофункциональность и универсальность со- временных РТС, уметь обосновывать синтез и/или оптимизацию конкретных РСУ: в зависимости от заданной потенциальной точ- ности измерений выбирать рабочий диапазон частот, структуру радиосигналов, схему и др. характеристики. Знать принципы и особенности работы систем синхронизации комплексов РСУ. По- знакомиться с основными методами определения местоположе- ния объектов в пространстве. Освоить и применять математиче- ские пакеты программ «Mathcad» и «Matlab» для компьютерной обработки радиосигналов и расчетов элементов схем РСУ.

# Вопросы для самопроверки:

1. Определите основные пути преодоления априорной неоп- ределенности при синтезе оптимального алгоритма.
2. Какие основные задачи решают имитационным модели- рованием радиоканала РТС? Объясните: почему?
3. Как формируются, передаются и принимаются информа- ционные символы полезных сообщений? Объясните: почему?
4. Как обеспечивается требуемая достоверность передачи информационных символов? Объясните: почему?
5. Как выбрать корреляционную функцию синхросигнала?
6. Как выбираются параметры для системы фазовой синхро- низации несущей? Объясните: почему?
7. Как формируется и передается сигнал синхронизации?
8. Назовите основные параметры, определяющие достижи- мую точность измерения дальности (координат) и направлений.
9. Как можно уменьшить шумовую ошибку системы слеже- ния за задержкой полезного сигнала? Объясните: почему?
10. Как имитационная модель учитывает влияние ошибок системы синхронизации, замирания амплитуды сигнала и дейст- вие аддитивных помех на достоверность передачи информации?

# ТИПОВОЙ РАСЧЕТ

Выполнение типового расчета по следующей тематике:

* Система управления атмосферными ЛА.
* Система управления наземными аппаратами.
* Система управления подземными агрегатами.
* Система управления надводными судами.
* Система управления подводными аппаратами.
* Система управления космическими аппаратами.
* Система радиотеленаведения на объект (цель).

В типовом расчете студенту надо выполнить анализ работы одной из предложенных радиосистем. Индивидуальный номер варианта исходных данных определяется студентом самостоя- тельно по последней цифре шифра своего студ. билета (зачетки).

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 диссертационной работы магистра.

# Условия заданий типового расчета

1. По заданным тактическим характеристикам радиосистемы произвести расчет еѐ важнейших 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 с указа- нием соответствующих рабочих сигналов/параметров во всех ли- ниях связи всей системы и подробную структурную схему задан- ного устройства.

1. На основе полученной структурной схемы своей систе- мы, на входе которой присутствует аддитивная смесь полезного радиосигнала uс(t) и шумов с равномерной спектральной плотно- стью мощности Sξ(f), **определить**, учитывая ω = 1/τ = 2πf = 2π/t:
   1. Режим работы системы по графическим характеристи-

кам, причем указать все ωс, ωср и ωкр и запасы устойчивости по амплитуде ±ΔА и фазе ±Δυ, переведя полученную неустойчи- вую систему в устойчивый режим работы (данный пункт вы-

полняется по предпоследней цифре шифра):

а) для цифр 0, 1, 2, 3 и 4 – по годографу ЧПФ системы;

б) для цифр 5, 6, 7, 8 и 9 – по асимптотическим логарифми- ческим характеристикам (ЛАЧХ/ЛФЧХ) системы.

* 1. Величину динамической ошибки Δλдин воспроизведения своей полученной радиосистемы.

2

* 1. Дисперсию Dфл = σ флуктуационной ошибки воспроиз-

ξ

ведения и эквивалентную шумовую полосу 2∆Fэкв системы.

# Вариант Радиотехнических систем

*«Система радиоуправления взрывателя»*.

Радиус поражения цели зарядом: – при вероятности пораже- ния 0,99 не менее 20 м и при вероятности поражения 0,95 не ме- нее 30 м. Средняя скорость движения управляемого снаряда на участке R равна V1. Дальность действия системы (поражения) по цели с ЭПР σ = 5 м2 – не менее R. Вероятность поражения не ме- нее 0,95. Количество одновременно обрабатываемых целей не менее n. Скорость движения цели не более V2. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 |
| n | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| V2, м/с | 100 | 150 | 100 | 150 | 200 | 200 | 300 | 200 | 200 | 250 |
| Схема | РЛС наведения | | | РЛС обнаружения | | | | РЛС слежения | | |

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ТИПОВОГО РАСЧЕТА

Двумя главными задачами радиотехнических систем явля- ются: – обнаружение неизвестных объектов (целей) с помощью радиосигналов и определение местоположения и параметров движения этих объектов. Выполнение типового расчета следует

начать с построения обобщенных функциональной и структурной схем полученной для анализа радиосистемы, учитывая особенно- сти каждого вида и требования индивидуального задания, с обя- зательным указанием рабочих сигналов/параметров во всех ли- ниях связи. При проектировании радиосистем синтез системы целесообразно начинать с заданных характеристик обнаружения и заданной точности измерения координат. Показателями качест- ва обнаружения являются вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги, а показателем качества измерения координат является ошибка (среднеквадратическое значение) измерения. На основе этих характеристик с учетом требований по зоне действия и уровню помех и определяются наиболее рациональные требо- вания к РПдУ, антенне, РПУ, устройствам съема информации и др. Следует отметить, что требования к отдельным устройствам с точки зрения задачи обнаружения и измерения координат при различных видах радиопомех часто противоречивы, что сущест- венно усложняет задачу синтеза.

Затем, в соответствии с полученным результатом записыва- ют ПФ в частотной области разомкнутой Wр(jω) и замкнутой Wз(jω) систем и цепи ООС Wос(jω), которые могут быть найдены как произведения ПФ соответствующих структурных звеньев системы. При выполнении числовых вычислений незаданные требуемые параметры подставляются: слагаемые в виде соответ- ствующего нуля, а сомножители – единичных значений.

* + 1. Определение режима работы системы с указанием ωс, ωср и ωкр и запасов устойчивости по амплитуде ±ΔА и фазе ±Δυ (в за- висимости от полученного индивидуального задания).

Для определения запасов устойчивости по амплитуде ±ΔА и фазе ±Δυ в этом случае надо, учитывая ω = 1/τ = 2πf = 2π/t:

а) По годографу ЧПФ полученной радиосистемы.

Для построения годографа в координатах U(ω) и V(ω) нахо- дят значения модуля А(ω) произведения ЧПФ разомкнутой сис- темы и цепи ООС (при Wос(jω) = 1,0 – только разомкнутой ЧПФ Wр(jω)) и еѐ аргумента υ(ω) для 8÷10 значений частоты ω от 0 до

+∞, а затем строят годограф и определяют условия работы систе-

мы, значения частот ωср и ωкр и запасы устойчивости по амплиту- де ±ΔА и фазе ±Δυ.

б) По асимптотическим логарифмическим характеристикам (ЛАЧХ/ЛФЧХ) полученной радиосистемы.

Для ЛАЧХ записывают выражение L(ω)=20lgA(ω), где А(ω)

– модуль произведения ЧПФ разомкнутой системы и цепи ООС (при Wос(jω) = 1,0 – только разомкнутой ЧПФ Wр(jω)), а для ЛФЧХ – еѐ аргумент υ(ω). Затем строят асимптотические ЛАЧХ и ЛФЧХ в логарифмическом масштабе и по ним определяют ус- ловия работы системы, значения частот ωср и ωкр и запасы устой- чивости по амплитуде ±ΔА и фазе ±Δυ.

* + 1. Определение динамической ошибки Δλдин воспроизведе- ния полученной радиосистемы.

Данная ошибка Δλдин системы находится с помощью задан- ной функции изменения рабочего параметра входного радиосиг- нала uс(τ) и коэффициентов ошибок, которые выражаются через коэффициенты вспомогательных полиномов числителя и знаме- нателя ПФ по динамической ошибке Wдин(jω), полученной через ПФ элементов анализируемой радиосистемы, причем размер- ность Δλдин должна всегда совпадать с размерностью отслежи-

ваемого рабочего параметра входного радиосигнала uс(τ).

2

* + 1. Определение дисперсии Dфл = σ флуктуационной ошиб-

ξ

ки и эквивалентной шумовой полосы 2∆Fэкв своей радиосистемы.

Дисперсия флуктуационной составляющей ошибки σ 2 вос-

ξ

произведения системы находится с помощью спектральной плот- ности Sξ(f) шумов, выделяемой на единичном сопротивлении, и ПФ Wξ(jω) по флуктуационной ошибке, которая выражается че- рез ПФ элементов анализируемой системы, причем размерность σξ должна соответствовать размерности отслеживаемого рабочего параметра входного радиосигнала uс(τ). Чтобы упростить вычис-

ления дисперсии σ 2, подынтегральное выражение |W (jω)|2 в

ξ ξ

формуле приводят к стандартному виду, а искомое значение ин-

теграла Jn находят через коэффициенты полиномов полученного

подынтегрального выражения (см. размерность параметров).

При вычислении эквивалентной шумовой полосы 2∆Fэкв ис- пользуются ранее полученный стандартный интеграл Jn и ПФ Wξ(jω) по флуктуационной ошибке на частоте ω = 0.

# 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. Описание конкретных реализаций полученных решений.

# Заключение

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

# 4. 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 пред- шествовать полные текст условия задания с исходными данны- ми и вывод расчетной формулы в общем виде с необходимыми пояснениями и ссылками на литературу. Заданные сравнение результатов, оценка погрешностей, полученные графики и вы- воды по каждому пункту работы должны быть представлены в отчете четко и наглядно, а все необходимые графические рабо- ты следует выполнять строго по ГОСТу. В конце типового рас- чета приводится список используемой в нем литературы.

# 5. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК: Основной

1. Радиосистемы управления / Под ред.В.А. Вейцеля, М.:

«Дрофа», 2005 г.

1. Основы Радиоуправления / Под ред.В.А. Вейцеля, М.: Ра- дио и Связь, 1995 г.
2. Коновалов Г.Ф. Радиоавтоматика, М.: Радиотехника, 2003г.
3. Основы Радиоуправления / Под ред.В.А. Вейцеля и В.Н. Типугина, М.: Советское Радио, 1973 г.

# 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. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Сколника в 4– х томах, М.: Советское Радио, 1976 – 1979 гг.
3. Куприянов А.И., Шустов Л.Н. Радиоэлектронная борьба - Основы теории, М.: «Вузовская книга», 2011 г.
4. Справочник по радиоэлектронным системам / Под ред. Б.Х. Кривицкого в 2–х томах, М.: Энергия, 1979 г.
5. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы, Минск:

«Вышэйшая школа», 1988 г.

1. Меркулов В.И. и др. Авиационные системы радиоуправ-

ления ч. 1–4, М.: Радио и Связь, 1997,1998 гг.

1. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов, Спб.:

«БХВ-Петербург», 2011 г.

1. Виницкий А.С. Автономные радиосистемы, М.: Радио и Связь, 1986 г.
2. Арсеньев Г.Н., Деркач В.В. Автоматические устройства радиоэлектронных систем, М.: Радиотехника, 2006 г.
3. Ерофеев Г.С., Прозоровский Ю.С. Радиотехнические сис- темы: Методические указания по выполнению курсовой работы, М.: МИРЭА, 1992 г.

# СОДЕРЖАНИЕ

* 1. Введение 3
  2. Программа, методические указания и контрольные во- просы по дисциплине «Системы радиоуправления» 4
  3. Задание для индивидуального типового расчета 14
  4. Указания по выполнению типового расчета 16
  5. Требования по оформлению типового расчета 19
  6. Библиографический список 20
  7. Содержание 21