

Министерство образования и науки Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра радиотехнических систем

Шарыгин Г.С.

СИСТЕМОТЕХНИКА

(ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ)

Учебно-методическое пособие по проведению практических занятий
для студентов специальностей:

210304 «Радиоэлектронные системы»

210403 «Защищенные системы связи»

090106 «Информационная безопасность телекоммуникационных
систем»

Томск – 2012

Г.С. Шарыгин. Системотехника (Проектирование радиотехнических систем). Учебно-методическое пособие по проведению практических занятий для студентов специальностей: 210304 «Радиоэлектронные системы»; 210403 «Защищенные системы связи»; 090106 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем». – Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2012. - 51 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для использования студентами и преподавателями при проведении практических занятий по дисциплинам «Системотехника» и «Проектирование радиотехнических систем» на 5 курсе специальностей «Радиоэлектронные системы», «защищенные системы связи» и «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники.

Содержание

| | |
|--|----|
| Рабочая программа по дисциплине «Проектирование радиотехнических систем» для специальности 210304 «Радиоэлектронные системы» ... | 3 |
| Рабочая программа по дисциплине «Организация разработки и производства нового товара» для специальности 210304 «Радиоэлектронные системы» | 9 |
| Рабочая программа по дисциплине «Системотехника» для специальности 210403 «Защищенные системы связи» | 15 |
| Рабочая программа по дисциплине «Проектирование радиотехнических систем для специальности 090106 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» | 21 |
| Содержание комплексного индивидуального задания | 25 |
| Вопросы для контрольной работы | 26 |
| Разработка радиоэлектронных устройств и систем (содержание технического задания) | 27 |
| Статистическая модель электромагнитного поля | 41 |

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
 профессионального образования
 «ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
 И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

По дисциплине «Проектирование радиотехнических систем»

для специальности 210304.65 «Радиоэлектронные системы»

Факультет Радиотехнический

Профилирующая кафедра Радиотехнических систем

Курс пятый
 Семестр девятый

Учебный план набора 2008 года

Распределение учебного времени

| | Всего часов |
|------------------------|-------------|
| Лекции | 30 часов |
| Лабораторные занятия | нет |
| Практические занятия | 14 часов |
| Курсовой проект (ауд) | 16 часов |
| Курсовая работа (ауд) | нет |
| Всего ауд. занятий | 60 часов |
| Самостоятельная работа | 52 часа |
| Общая трудоёмкость | 112 часов |

Экзамен – нет

Зачёт – 9 семестр

Диф. зачёт – 9 семестр

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

1.1. Цели преподавания дисциплины.

Цель курса "Проектирование радиотехнических систем" - ознакомить студентов с методологией и особенностями проектирования систем и привить навыки системного подхода при принятии технических решений.

Комплексный (системный) подход при выполнении исследовательских и опытно-конструкторских работ предполагает, что все технические решения, от разработки математической модели до детализации конструкции, должны приниматься исходя из необходимости оптимизации всей системы по принятым критериям эффективности.

В курсе излагается порядок, приводятся сведения об основных стадиях и этапах проектирования, содержании и особенностях отдельных этапов.

Лекции сопровождаются практическими занятиями, в процессе которых каждый студент выполняет комплексное индивидуальное задание по описанию этапов проектирования системы.

Одновременно с изучением лекционного курса студенты выполняют курсовой проект. Курсовой проект по радиотехническим системам является последним курсовым проектом, выполняемым студентами в период обучения, и непосредственно предшествует дипломному проектированию. Он выполняется одновременно с заключительной частью учебно-исследовательской работы и, как правило, на ее основе.

Курсовой проект выполняется по индивидуальным нестандартным заданиям.

1.2. Задачи изучения дисциплины.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- способы сбора, обработки, анализа и систематизации научно-технической информации;
- принципы и методику эскизного системного проектирования систем;
- основные положения теории игр;
- основные положения стандартов на выполнение НИР и ОКР.

Уметь:

- разрабатывать математические модели и использовать их для анализа и синтеза систем;
- планировать лабораторные и натурные эксперименты;
- разрабатывать структурные и функциональные схемы систем и комплексов;

Владеть:

- системным подходом при анализе и оптимальном проектировании систем.

1.3. Перечень дисциплин и разделов (тем), необходимых студентам для изучения данной дисциплины.

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору цикла общепрофессиональных дисциплин учебного плана основной образовательной программы по специальности 210304.65 «Радиоэлектронные системы».

Для изучения данной дисциплины необходимо освоение курсов «Математика 1», «Математика 3», «Статистическая радиотехника и радиофизика», «Электродинамика и распространение радиоволн», «Радиоавтоматика», «Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств», «Устройства СВЧ и антенны», «Статистическая теория радиотехнических систем», «Радиолокационные системы», «Радионавигационные системы», «Радиосистемы управления», «Радиосистемы передачи информации».

Изучение данной дисциплины необходимо для выполнения выпускной квалификационной работы и формирования необходимых компетенций специалиста.

2. Содержание дисциплины.

2.1. *Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий.*

2.1.1. Введение – 6 часов.

Предмет и содержание курса. Основные признаки современных радиотехнических систем. Основные проблемы при проектировании. Принципы проектирования. Этапы и разделы проектирования, их содержание. Заявка на разработку, техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект, изготовление опытного образца, испытания, разработка рабочей документации. Внешнее и внутреннее проектирование.

2.1.2. Внешнее проектирование систем – 15 часов.

2.1.2.1. Постановка задачи. Описание окружения, точка зрения, область допустимых или желательных решений, критерий эффективности. Требования к критерию эффективности.

2.1.2.2. Математическая модель (метод). Виды моделей: жесткие и вероятностные, аналитические и численные. Использование моделей.

2.1.2.3. Планирование эксперимента. Цель экспериментов. Источники данных: измерения, документы, беседы, личное участие. Лабораторные эксперименты и эксперименты в натуральных условиях. Особенности, учитываемые при планировании эксперимента. Репрезентативность выборки. Предварительный и основной эксперимент. Способы исключения или уменьшения систематических погрешностей. Контрольные эксперименты. Типичные ошибки при планировании эксперимента.

2.1.2.4. Обработка результатов эксперимента. Представление случайных данных. Выбор параметров аппроксимирующих функций. Способ наименьших квадратов и метод максимума правдоподобия. Проверка и критерии соответствия. Задачи дисперсионного анализа.

2.1.3. Внутреннее проектирование систем – 12 часов.

2.1.3.1. Проектирование единичной нити. Порядок проектирования. Прототип, оптимизация и детализация.

2.1.3.2. Проектирование большой нагрузки. Терминология и задачи. Обобщенная схема. Статистическое описание последовательности входов. Законы распределения времени обработки. Виды очередей. Средняя длина очереди и среднее время ожидания. Другие статистические характеристики длины очереди и времени ожидания, требуемая емкость накопителя (буферного устройства).

2.1.3.3. Составительное проектирование. Задачи составительного проектирования и основные понятия теории игр. Терминология и принятие решений применительно к радиотехническим системам. Применение принципа минимакса.

2.1.4. Заключение. Современные тенденции в методологии проектирования РТС. – 1 час.

Итого лекций 30 часов.

2.2. *Практические и семинарские занятия, их содержание и объём в часах.*

1. Описание радиотехнической системы. (Название, цель и назначение, признаки и функции системы, показатели назначения, критерий эффективности) – 2 часа.
2. Составление технического задания. (Метод реализации, описание системы в целом, укрупненная блок-схема системы, описание подсистем, тактико-технические требования) – 4 часа.
3. Окружение системы. Внешние условия. (Характеристика условий эксплуатации, основные направления, по которым необходимо проведение экспериментов) – 2 часа.
4. Математическая модель. Планирование эксперимента. (Перечень входов и выходов с их обозначениями и количественными характеристиками-размерностями, формульная связь

входов и выходов и/или их статистических характеристик, планирование эксперимента) – 2 часа.

5. Проектирование единичной нити. (Прототип, функциональная схема, недостатки функциональной схемы, предложения по ее оптимизации) – 2 часа.
6. Контрольная работа – 2 часа.

2.3. Курсовой проект, его характеристика.

Проектирование выполняется по индивидуальным заданиям и под индивидуальным руководством (как правило, не более 3 студентов на одного руководителя).

Объем аудиторных занятий по курсовому проекту 16 часов.

Примерные темы курсовых проектов.

- Радиолокационная станция дальнего обнаружения самолетов.
- Радиолокационная станция наведения и целеуказания.
- Радиолокационная станция с синтезированной апертурой антенны.
- Двухпозиционная радиолокационная система.
- Радионавигационное устройство космического аппарата.
- Дифференциальное радионавигационное устройство аппаратуры потребителя системы ГЛОНАСС.
- Корреляционно-экстремальная система навигации летательного аппарата.
- Полезная нагрузка космического аппарата мониторинга земной поверхности.
- Система ближней навигации для обеспечения посадки самолетов.
- Самолетная РЛС с АФАР.
- Система радиотехнической разведки.
- Фазовый радиопеленгатор.
- Моноимпульсный амплитудный пеленгатор.

Примерное содержание проектирования.

- Общее описание системы с характеристикой ее основных признаков: целенаправленности, выполняемым функциям, сложности, степени автоматизации, наличия помех и мешающих факторов и др.
- Постановка задачи: описание окружения системы с перечислением всех входных воздействий и определением их параметров (числовых характеристик), перечисление и описание выходов системы, задание области допустимых технических решений, выбор критерия эффективности для оптимизации системы.
- Разработка метода работы и математической модели системы.
- Планирование и проведение эксперимента (в том числе компьютерного) с целью получения недостающих для проектирования данных, обработка результатов эксперимента (выполняется при необходимости).
- Составление и обоснование функциональной схемы системы, разработка структурной схемы.
- Определение и задание технических требований к элементам структурной схемы.
- Анализ системы: расчет основных качественных показателей назначения.
- Выводы о достоинствах, недостатках и путях дальнейшего совершенствования системы.

Примерное распределение времени проектирования по разделам работы:

| Разделы работы над проектом | % времени |
|---|------------------|
| Изучение задания и общее описание системы | 5 |
| Постановка задачи разработки системы | 10 |
| Анализ литературы и поиск аналогов | 10 |
| Разработка метода и математической модели | 10 |

| | |
|--|----|
| Моделирование или эксперимент | 15 |
| Разработка функциональной и структурной схем | 10 |
| Расчеты и определение ТТ к элементам схем | 15 |
| Анализ показателей системы | 10 |
| Составление и оформление отчета | 15 |

2.4. Виды самостоятельной работы (с указанием объёма часов и форм контроля).

Самостоятельная работа в процессе изучения дисциплины включает в себя просмотр материала и подготовку к очередным лекциям (2 часа), выполнение комплексного индивидуального задания (10 часов), выполнение, оформление и защиту курсового проекта (40 часов).

Комплексное индивидуальное задание:

ЗАДАНИЕ No.1. Описание радиотехнической системы. (Название, цель и назначение, функции системы, показатели эффективности) – 2 часа.

ЗАДАНИЕ No.2. Составление технического задания. (Описание системы в целом, описание подсистем, тактико-технические требования) – 4 часа.

ЗАДАНИЕ No.3. Математическая модель. Планирование эксперимента. (Перечень входов и выходов с их обозначениями и количественными характеристиками-размерностями, формульная связь входов и выходов и/или их статистических характеристик, планирование эксперимента) – 2 часа.

ЗАДАНИЕ No.4. Проектирование единичной нити. (Прототип, функциональная схема, недостатки функциональной схемы, предложения по ее оптимизации) – 2 часа.

3. Учебно-методические материалы по дисциплине.

3.1. Основная литература.

3.1.1. Силич М.П. Системотехника: учебное пособие / М. П. Силич, Е. Н. Рыбалка ; ред. М.П. Силич; Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники. - Томск: ТУСУР, 2007.

3.2. Дополнительная литература.

3.2.1. Системотехника. Введение в проектирование больших систем / Г. Х. Гуд, Р. Э. Макол ; пер.: К. Н. Трофимов, С. Е. Жорно, И. В. Соловьев ; ред. пер. Г. Н. Поваров. - М. : Советское радио, 1962. - 383 с.: ил., табл. - Пер. с англ..

3.2.2. Апорович А.Ф. Проектирование радиотехнических систем: учебное пособие. – Минск: Вышэйшая школа, 1988. - 221 с.

3.3. Перечень методических указаний (УМП) по проведению конкретных видов учебных занятий, наглядных и других пособий, а также методических материалов к используемым в учебном процессе техническим средствам.

3.3.1. Шарыгин Г.С. Проектирование радиотехнических систем. Методические указания по курсовому проектированию для студентов специальности «Радиоэлектронные системы». [Электронный ресурс] – Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2012. – Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/humans/1832>

4. Рейтинговая система оценки качества.

4.1. Балльная раскладка отдельных элементов контроля по видам занятий.

А. Теоретический курс

Всего возможно баллов – 100, в том числе: за посещение лекций 15х2, всего максимум 30 баллов; за выполнение комплексного индивидуального задания максимум 50 баллов, за контрольную работу максимум 20 баллов.

Б. Курсовое проектирование

| Разделы работы над проектом | Максимальные баллы рейтинга |
|---|-----------------------------|
| Общее описание и постановка задачи разработки системы | 5 |
| Анализ литературы и поиск аналогов | 10 |
| Разработка метода и математической модели | 10 |
| Моделирование или эксперимент | 10 |
| Разработка функциональной и структурной схем | 10 |
| Расчеты и определение ТТ к элементам схем | 5 |
| Анализ показателей системы | 10 |
| Составление и оформление отчета | 10 |

Итого 70 баллов.

Для допуска к защите необходимо набрать 40 баллов.

Дифференцированный зачет по результатам защиты курсового проекта в комиссии – максимум 30 баллов. При этом оцениваются:

- Содержание работы, правильность расчетов и соответствие заданию – максимум 15 баллов.
- Оформление проекта – максимум 5 баллов.
- Качество ответов на вопросы на защите проекта – максимум 10 баллов.

Итого возможно максимум 100 баллов.

4.2. Методика формирования пятибалльных оценок в контрольные точки.

1 контрольная точка: всего возможно (одинаково – по теоретической части курса и по курсовому проектированию) максимум 25 баллов. Оценки: 5 – 22 балла; 4 – 17 баллов; 3 – 12 баллов; 2 – ниже 12 баллов.

2 контрольная точка: всего возможно максимум 50 баллов. Оценки: 5 – 45 баллов; 4 – 35 баллов; 3 – 25 баллов; 2 – ниже 25 баллов.

4.3. Методика формирования итоговой оценки по дисциплине.

Оценка по теоретической части курса не предусмотрена. Зачет выставляется по результатам рейтингового контроля в течение семестра. Для получения зачета необходимо набрать не менее 60 баллов при условии сдачи и приема комплексного индивидуального задания.

Итоговой оценкой дифференцированного зачета по курсовому проекту является оценка, полученная на защите проекта. Перевод баллов, полученных при защите курсового проекта в оценку дифференцированного зачета: 27-30 баллов – отлично, 20-26 баллов – хорошо, 15-19 баллов – удовлетворительно, менее 15 баллов – неудовлетворительно.

Баллы, полученные при текущем контроле в течение семестра, используются для допуска к защите проекта и при выставлении оценки не учитываются.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
 профессионального образования
 «ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
 И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

По дисциплине «Организация разработки и производства нового товара»

Для специальности 210304.65 «Радиоэлектронные системы»

Факультет Радиотехнический

Профилирующая кафедра Радиотехнических систем

Курс пятый
 Семестр девятый

Учебный план набора 2008 года

Распределение учебного времени

| | Всего часов |
|------------------------|-------------|
| Лекции | 30 часов |
| Лабораторные занятия | нет |
| Практические занятия | 14 часов |
| Курсовой проект (ауд) | 16 часов |
| Курсовая работа (ауд) | нет |
| Всего ауд. занятий | 60 часов |
| Самостоятельная работа | 52 часа |
| Общая трудоёмкость | 112 часов |

Экзамен – нет

Зачёт – 9 семестр

Диф. зачёт – 9 семестр

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

1.1. Цели преподавания дисциплины.

Цель курса "Организация разработки и производства нового товара" - ознакомить студентов с методологией и особенностями проектирования товарной продукции в области радиотехнических систем и привить навыки системного подхода при принятии технических решений.

Комплексный (системный) подход при выполнении исследовательских и опытно-конструкторских работ предполагает, что все технические решения, от разработки математической модели до детализации конструкции, должны приниматься исходя из необходимости оптимизации всей системы по принятым критериям эффективности.

В курсе излагается порядок, приводятся сведения об основных стадиях и этапах проектирования и производства, содержаниях и особенностях отдельных этапов.

Лекции сопровождаются практическими занятиями, в процессе которых каждый студент выполняет комплексное индивидуальное задание по описанию этапов проектирования и производства системы.

Одновременно с изучением лекционного курса студенты выполняют курсовой проект. Курсовой проект по радиотехническим системам является последним курсовым проектом, выполняемым студентами в период обучения, и непосредственно предшествует дипломному проектированию. Он выполняется одновременно с заключительной частью учебно-исследовательской работы и, как правило, на ее основе.

Курсовой проект выполняется по индивидуальным нестандартным заданиям.

1.2. Задачи изучения дисциплины.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- способы сбора, обработки, анализа и систематизации научно-технической информации;
- принципы и методику эскизного системного проектирования систем;
- основные положения теории игр;
- основные положения стандартов ЕСКД.

Уметь:

- разрабатывать математические модели и использовать их для анализа и синтеза систем;
- планировать лабораторные и натурные эксперименты;
- разрабатывать структурные и функциональные схемы систем и комплексов;

Владеть:

- системным подходом при анализе, оптимальном проектировании и производстве систем.

1.3. Перечень дисциплин и разделов (тем), необходимых студентам для изучения данной дисциплины.

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору цикла общепрофессиональных дисциплин учебного плана основной образовательной программы по специальности 210304.65 «Радиоэлектронные системы».

Для изучения данной дисциплины необходимо освоение курсов «Математика 1», «Математика 3», «Статистическая радиотехника и радиофизика», «Электродинамика и распространение радиоволн», «Радиоавтоматика», «Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств», «Устройства СВЧ и антенны», «Статистическая теория радиотехнических систем», «Радиолокационные системы», «Радионавигационные системы», «Радиосистемы управления», «Радиосистемы передачи информации».

Изучение данной дисциплины необходимо для выполнения выпускной квалификационной работы и формирования необходимых компетенций специалиста.

2. Содержание дисциплины.

2.1. Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий.

2.1.1. Введение – 6 часов.

Предмет и содержание курса. Основные признаки современных радиотехнических систем. Основные проблемы при проектировании. Принципы проектирования. Этапы и разделы проектирования, их содержание. Заявка на разработку, техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект, изготовление опытного образца, испытания, разработка рабочей документации. Внешнее и внутреннее проектирование.

2.1.2. Внешнее проектирование систем – 15 часов.

2.1.2.1. Постановка задачи. Описание окружения, точка зрения, область допустимых или желательных решений, критерий эффективности. Требования к критерию эффективности.

2.1.2.2. Математическая модель (метод). Виды моделей: жесткие и вероятностные, аналитические и численные. Использование моделей.

2.1.2.3. Планирование эксперимента. Цель экспериментов. Источники данных: измерения, документы, беседы, личное участие. Лабораторные эксперименты и эксперименты в натуральных условиях. Особенности, учитываемые при планировании эксперимента. Репрезентативность выборки. Предварительный и основной эксперимент. Способы исключения или уменьшения систематических погрешностей. Контрольные эксперименты. Типичные ошибки при планировании эксперимента.

2.1.2.4. Обработка результатов эксперимента. Представление случайных данных. Выбор параметров аппроксимирующих функций. Способ наименьших квадратов и метод максимума правдоподобия. Проверка и критерии соответствия. Задачи дисперсионного анализа.

2.1.3. Внутреннее проектирование систем – 12 часов.

2.1.3.1. Проектирование единичной нити. Порядок проектирования. Прототип, оптимизация и детализация.

2.1.3.2. Проектирование большой нагрузки. Терминология и задачи. Обобщенная схема. Статистическое описание последовательности входов. Законы распределения времени обработки. Виды очередей. Средняя длина очереди и среднее время ожидания. Другие статистические характеристики длины очереди и времени ожидания, требуемая емкость накопителя (буферного устройства).

2.1.3.3. Составительное проектирование. Задачи составительного проектирования и основные понятия теории игр. Терминология и принятие решений применительно к радиотехническим системам. Применение принципа минимакса.

2.1.4. Заключение. Современные тенденции в методологии проектирования РТС. – 1 час.

Итого лекций 30 часов.

2.2. Практические и семинарские занятия, их содержание и объём в часах.

1. Описание радиотехнической системы. (Название, цель и назначение, признаки и функции системы, показатели назначения, критерий эффективности) – 2 часа.
2. Составление технического задания. (Метод реализации, описание системы в целом, укрупненная блок-схема системы, описание подсистем, тактико-технические требования) – 4 часа.
3. Окружение системы. Внешние условия. (Характеристика условий эксплуатации, основные направления, по которым необходимо проведение экспериментов) – 2 часа.
4. Математическая модель. Планирование эксперимента. (Перечень входов и выходов с их обозначениями и количественными характеристиками-размерностями, формульная

связь входов и выходов и/или их статистических характеристик, планирование эксперимента) – 2 часа.

5. Проектирование единичной нити. (Прототип, функциональная схема, недостатки функциональной схемы, предложения по ее оптимизации) – 2 часа.
6. Контрольная работа – 2 часа.

2.3. Курсовой проект, его характеристика.

Проектирование выполняется по индивидуальным заданиям и под индивидуальным руководством (как правило, не более 3 студентов на одного руководителя).

Объем аудиторных занятий по курсовому проекту 16 часов.

Примерные темы курсовых проектов.

- Радиолокационная станция дальнего обнаружения самолетов.
- Радиолокационная станция наведения и целеуказания.
- Радиолокационная станция с синтезированной апертурой антенны.
- Двухпозиционная радиолокационная система.
- Радионавигационное устройство космического аппарата.
- Дифференциальное радионавигационное устройство аппаратуры потребителя системы ГЛОНАСС.
- Корреляционно-экстремальная система навигации летательного аппарата.
- Полезная нагрузка космического аппарата мониторинга земной поверхности.
- Система ближней навигации для обеспечения посадки самолетов.
- Самолетная РЛС с АФАР.
- Система радиотехнической разведки.
- Фазовый радиопеленгатор.
- Моноимпульсный амплитудный пеленгатор.

Примерное содержание проектирования.

- Общее описание системы с характеристикой ее основных признаков: целенаправленности, выполняемым функциям, сложности, степени автоматизации, наличия помех и мешающих факторов и др.
- Постановка задачи: описание окружения системы с перечислением всех входных воздействий и определением их параметров (числовых характеристик), перечисление и описание выходов системы, задание области допустимых технических решений, выбор критерия эффективности для оптимизации системы.
- Разработка метода работы и математической модели системы.
- Планирование и проведение эксперимента (в том числе компьютерного) с целью получения недостающих для проектирования данных, обработка результатов эксперимента (выполняется при необходимости).
- Составление и обоснование функциональной схемы системы, разработка структурной схемы.
- Определение и задание технических требований к элементам структурной схемы.
- Анализ системы: расчет основных качественных показателей назначения.
- Выводы о достоинствах, недостатках и путях дальнейшего совершенствования системы.

Примерное распределение времени проектирования по разделам работы:

| Разделы работы над проектом | % времени |
|---|------------------|
| Изучение задания и общее описание системы | 5 |
| Постановка задачи разработки системы | 10 |
| Анализ литературы и поиск аналогов | 10 |

| | |
|--|----|
| Разработка метода и математической модели | 10 |
| Моделирование или эксперимент | 15 |
| Разработка функциональной и структурной схем | 10 |
| Расчеты и определение ТТ к элементам схем | 15 |
| Анализ показателей системы | 10 |
| Составление и оформление отчета | 15 |

2.4. Виды самостоятельной работы (с указанием объёма часов и форм контроля).

Самостоятельная работа в процессе изучения дисциплины включает в себя просмотр материала и подготовку к очередным лекциям (всего 2 часа), выполнение комплексного индивидуального задания (10 часов), выполнение, оформление и защиту курсового проекта (40 часов).

Комплексное индивидуальное задание:

ЗАДАНИЕ No.1. Описание радиотехнической системы. (Название, цель и назначение, функции системы, показатели эффективности) – 2 часа.

ЗАДАНИЕ No.2. Составление технического задания. (Описание системы в целом, описание подсистем, тактико-технические требования) – 4 часа.

ЗАДАНИЕ No.3. Математическая модель. Планирование эксперимента. (Перечень входов и выходов с их обозначениями и количественными характеристиками-размерностями, формульная связь входов и выходов и/или их статистических характеристик, планирование эксперимента) – 2 часа.

ЗАДАНИЕ No.4. Проектирование единичной нити. (Прототип, функциональная схема, недостатки функциональной схемы, предложения по ее оптимизации) – 2 часа.

Контроль выполнения комплексного индивидуального задания производится в форме опроса на практических занятиях.

3. Учебно-методические материалы по дисциплине.

3.1. Основная литература.

3.1.1. Силич М.П. Системотехника: учебное пособие / М.П. Силич, Е.Н. Рыбалка; ред. М.П. Силич; Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники. - Томск: ТУСУР, 2007.. В библиотеке имеется 100 экз.

3.2. Дополнительная литература.

3.2.1. Системотехника. Введение в проектирование больших систем / Г.Х. Гуд, Р.Э. Макол; пер.: К.Н. Трофимов, С.Е. Жорно, И.В. Соловьев; ред. пер. Г.Н. Поваров. - М. : Советское радио, 1962. - 383 с.: ил., табл. - Пер. с англ..

3.2.2. Аповорич А.Ф. Проектирование радиотехнических систем: учебное пособие. – Минск: Вышэйшая школа, 1988. - 221 с.

3.3. Перечень методических указаний (УМП) по проведению конкретных видов учебных занятий, наглядных и других пособий, а также методических материалов к используемым в учебном процессе техническим средствам.

3.3.1. Шарыгин Г.С. Организация разработки и производства нового товара. Методические указания по курсовому проектированию для студентов специальности «Радиоэлектронные системы». [Электронный ресурс] – Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2012. – Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/humans/1832>

4. Рейтинговая система оценки качества.

4.1. Балльная раскладка отдельных элементов контроля по видам занятий.

А. Теоретический курс

Всего возможно баллов – 100, в том числе: за посещение лекций 15х2, всего максимум 30 баллов; за выполнение комплексного индивидуального задания максимум 50 баллов, за контрольную работу максимум 20 баллов.

Б. Курсовое проектирование

| Разделы работы над проектом | Максимальные баллы рейтинга |
|---|-----------------------------|
| Общее описание и постановка задачи разработки системы | 5 |
| Анализ литературы и поиск аналогов | 10 |
| Разработка метода и математической модели | 10 |
| Моделирование или эксперимент | 10 |
| Разработка функциональной и структурной схем | 10 |
| Расчеты и определение ТТ к элементам схем | 5 |
| Анализ показателей системы | 10 |
| Составление и оформление отчета | 10 |

Итого 70 баллов.

Для допуска к защите необходимо набрать 40 баллов.

Дифференцированный зачет по результатам защиты курсового проекта в комиссии – максимум 30 баллов. При этом оцениваются:

- Содержание работы, правильность расчетов и соответствие заданию – максимум 15 баллов.
- Оформление проекта – максимум 5 баллов.
- Качество ответов на вопросы на защите проекта – максимум 10 баллов.

Итого возможно максимум 100 баллов.

4.2. Методика формирования пятибалльных оценок в контрольные точки.

1 контрольная точка: всего возможно (одинаково – по теоретической части курса и по курсовому проектированию) максимум 25 баллов. Оценки: 5 – 22 балла; 4 – 17 баллов; 3 – 12 баллов; 2 – ниже 12 баллов.

2 контрольная точка: всего возможно максимум 50 баллов. Оценки: 5 – 45 баллов; 4 – 35 баллов; 3 – 25 баллов; 2 – ниже 25 баллов.

4.3. Методика формирования итоговой оценки по дисциплине.

Оценка по теоретической части курса не предусмотрена. Зачет выставляется по результатам рейтингового контроля в течение семестра. Для получения зачета необходимо набрать не менее 60 баллов при условии сдачи и приема комплексного индивидуального задания.

Итоговой оценкой дифференцированного зачета по курсовому проекту является оценка, полученная на защите проекта. Перевод баллов, полученных при защите курсового проекта в оценку дифференцированного зачета: 27-30 баллов – отлично, 20-26 баллов – хорошо, 15-19 баллов – удовлетворительно, менее 15 баллов – неудовлетворительно.

Баллы, полученные при текущем контроле в течение семестра, используются для допуска к защите проекта и при выставлении оценки не учитываются.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
 профессионального образования
 «ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
 И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

По дисциплине «Системотехника»

Для специальности 210403.65 «Защищенные системы связи»

Факультет Радиотехнический

Профилирующая кафедра Радиотехнических систем

Курс пятый
 Семестр девятый

Учебный план набора 2008 года

Распределение учебного времени

| | Всего часов |
|------------------------|-------------|
| Лекции | 30 часов |
| Лабораторные занятия | нет |
| Практические занятия | 14 часов |
| Курсовой проект (ауд) | 16 часов |
| Курсовая работа (ауд) | нет |
| Всего ауд. занятий | 60 часов |
| Самостоятельная работа | 22 часа |
| Общая трудоёмкость | 82 часов |

Экзамен – нет
 Зачёт – 9 семестр
 Диф. зачёт – 9 семестр

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

1.1.Цели преподавания дисциплины.

Цель курса "Системотехника" - ознакомить студентов с методологией и особенностями проектирования систем и привить навыки системного подхода при принятии технических решений.

Комплексный (системный) подход при выполнении исследовательских и опытно-конструкторских работ предполагает, что все технические решения, от разработки математической модели до детализации конструкции, должны приниматься исходя из необходимости оптимизации всей системы по принятым критериям эффективности.

В курсе излагается порядок, приводятся сведения об основных стадиях и этапах проектирования, содержаниях и особенностях отдельных этапов.

Лекции сопровождаются практическими занятиями, в процессе которых каждый студент выполняет комплексное индивидуальное задание по описанию этапов проектирования системы.

Одновременно с изучением лекционного курса студенты выполняют курсовой проект. Курсовой проект по радиотехническим системам является последним курсовым проектом, выполняемым студентами в период обучения, и непосредственно предшествует дипломному проектированию. Он выполняется одновременно с заключительной частью учебно-исследовательской работы и, как правило, на ее основе.

Курсовой проект выполняется по индивидуальным нестандартным заданиям.

1.2.Задачи изучения дисциплины.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- способы сбора, обработки, анализа и систематизации научно-технической информации;
- принципы и методику эскизного системного проектирования систем;
- основные положения теории игр;
- основные положения стандартов на выполнение НИР и ОКР.

Уметь:

- разрабатывать математические модели и использовать их для анализа и синтеза систем;
- планировать лабораторные и натурные эксперименты;
- разрабатывать структурные и функциональные схемы систем и комплексов;

Владеть:

- системным подходом при анализе и оптимальном проектировании систем.

1.3.Перечень дисциплин и разделов (тем), необходимых студентам для изучения данной дисциплины.

Дисциплина относится к региональным дисциплинам цикла общепрофессиональных дисциплин учебного плана основной образовательной программы по специальности 210403.65 «Защищенные системы связи».

Для изучения данной дисциплины необходимо освоение курсов «Математика 1», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Статистическая радиотехника и радиофизика», «Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства», «Основы построения телекоммуникационных систем и сетей», «Радиотехнические системы».

Изучение данной дисциплины необходимо для выполнения выпускной квалификационной работы и формирования необходимых компетенций специалиста.

2. Содержание дисциплины.

2.1. Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий.

2.1.1. Введение – 6 часов.

Предмет и содержание курса. Основные признаки современных радиотехнических систем. Основные проблемы при проектировании. Принципы проектирования. Этапы и разделы проектирования, их содержание. Заявка на разработку, техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект, изготовление опытного образца, испытания, разработка рабочей документации. Внешнее и внутреннее проектирование.

2.1.2. Внешнее проектирование систем – 15 часов.

2.1.2.1. Постановка задачи. Описание окружения, точка зрения, область допустимых или желательных решений, критерий эффективности. Требования к критерию эффективности.

2.1.2.2. Математическая модель (метод). Виды моделей: жесткие и вероятностные, аналитические и численные. Использование моделей.

2.1.2.3. Планирование эксперимента. Цель экспериментов. Источники данных: измерения, документы, беседы, личное участие. Лабораторные эксперименты и эксперименты в натуральных условиях. Особенности, учитываемые при планировании эксперимента. Репрезентативность выборки. Предварительный и основной эксперимент. Способы исключения или уменьшения систематических погрешностей. Контрольные эксперименты. Типичные ошибки при планировании эксперимента.

2.1.2.4. Обработка результатов эксперимента. Представление случайных данных. Выбор параметров аппроксимирующих функций. Способ наименьших квадратов и метод максимума правдоподобия. Проверка и критерии соответствия. Задачи дисперсионного анализа.

2.1.3. Внутреннее проектирование систем – 12 часов.

2.1.3.1. Проектирование единичной нити. Порядок проектирования. Прототип, оптимизация и детализация.

2.1.3.2. Проектирование большой нагрузки. Терминология и задачи. Обобщенная схема. Статистическое описание последовательности входов. Законы распределения времени обработки. Виды очередей. Средняя длина очереди и среднее время ожидания. Другие статистические характеристики длины очереди и времени ожидания, требуемая емкость накопителя (буферного устройства).

2.1.3.3. Составительное проектирование. Задачи составительного проектирования и основные понятия теории игр. Терминология и принятие решений применительно к радиотехническим системам. Применение принципа минимакса.

2.1.4. Заключение. Современные тенденции в методологии проектирования РТС. – 1 час.

Итого лекций 30 часов.

2.2. Практические и семинарские занятия, их содержание и объём в часах.

1. Описание радиотехнической системы. (Название, цель и назначение, признаки и функции системы, показатели назначения, критерий эффективности) – 2 часа.
2. Составление технического задания. (Метод реализации, описание системы в целом, укрупненная блок-схема системы, описание подсистем, тактико-технические требования) – 4 часа.
3. Окружение системы. Внешние условия. (Характеристика условий эксплуатации, основные направления, по которым необходимо проведение экспериментов) – 2 часа.
4. Математическая модель. Планирование эксперимента. (Перечень входов и выходов с их обозначениями и количественными характеристиками-размерностями, формульная

связь входов и выходов и/или их статистических характеристик, планирование эксперимента) – 2 часа.

5. Проектирование единичной нити. (Прототип, функциональная схема, недостатки функциональной схемы, предложения по ее оптимизации) – 2 часа.
6. Контрольная работа – 2 часа.

2.3. Курсовой проект, его характеристика.

Проектирование выполняется по индивидуальным заданиям и под индивидуальным руководством (как правило, не более 3 студентов на одного руководителя).

Объем аудиторных занятий по курсовому проекту 16 часов.

Примерные темы курсовых проектов.

1. Ретранслятор спутниковой системы связи.
2. Защищенная система передачи информации по каналу связи.
3. Система связи в контуре автоматического управления летательного аппарата.
4. Система передачи информации по линиям электропередач.
5. Криптографическая защита информации в системе связи.
6. Система распознавания и расшифровки сообщений.

Примерное содержание проектирования.

- Общее описание системы с характеристикой ее основных признаков: целенаправленности, выполняемым функциям, сложности, степени автоматизации, наличия помех и мешающих факторов и др.
- Постановка задачи: описание окружения системы с перечислением всех входных воздействий и определением их параметров (числовых характеристик), перечисление и описание выходов системы, задание области допустимых технических решений, выбор критерия эффективности для оптимизации системы.
- Разработка метода работы и математической модели системы.
- Планирование и проведение эксперимента (в том числе компьютерного) с целью получения недостающих для проектирования данных, обработка результатов эксперимента (выполняется при необходимости).
- Составление и обоснование функциональной схемы системы, разработка структурной схемы.
- Определение и задание технических требований к элементам структурной схемы.
- Анализ системы: расчет основных качественных показателей назначения.
- Выводы о достоинствах, недостатках и путях дальнейшего совершенствования системы.

Примерное распределение времени проектирования по разделам работы:

| Разделы работы над проектом | % времени |
|--|------------------|
| Изучение задания и общее описание системы | 5 |
| Постановка задачи разработки системы | 10 |
| Анализ литературы и поиск аналогов | 10 |
| Разработка метода и математической модели | 10 |
| Моделирование или эксперимент | 15 |
| Разработка функциональной и структурной схем | 10 |
| Расчеты и определение ТТ к элементам схем | 15 |
| Анализ показателей системы | 10 |
| Составление и оформление отчета | 15 |

2.4. Виды самостоятельной работы (с указанием объёма часов и форм контроля).

Самостоятельная работа в процессе изучения дисциплины включает в себя выполнение комплексного индивидуального задания (5 часов), выполнение, оформление и защиту курсового проекта (18 часов).

Комплексное индивидуальное задание:

ЗАДАНИЕ No.1. Описание радиотехнической системы. (Название, цель и назначение, функции системы, показатели эффективности) – 1 час.

ЗАДАНИЕ No.2. Составление технического задания. (Описание системы в целом, описание подсистем, тактико-технические требования) – 2 часа.

ЗАДАНИЕ No.3. Математическая модель. Планирование эксперимента. (Перечень входов и выходов с их обозначениями и количественными характеристиками-размерностями, формульная связь входов и выходов и/или их статистических характеристик, планирование эксперимента) – 1 час.

ЗАДАНИЕ No.4. Проектирование единичной нити. (Прототип, функциональная схема, недостатки функциональной схемы, предложения по ее оптимизации) – 1 час.

3. Учебно-методические материалы по дисциплине.

3.1. Основная литература.

3.1.1. Силич М.П. Системотехника: учебное пособие / М. П. Силич, Е. Н. Рыбалка ; ред. М.П. Силич; Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники. - Томск: ТУСУР, 2007.. В библиотеке имеется 100 экз.

3.2. Дополнительная литература.

3.2.1. Системотехника. Введение в проектирование больших систем / Г. Х. Гуд, Р. Э. Макол ; пер.: К. Н. Трофимов, С. Е. Жорно, И. В. Соловьев ; ред. пер. Г. Н. Поваров. - М. : Советское радио, 1962. - 383 с.: ил., табл. - Пер. с англ..

3.2.2. Апорович А.Ф. Проектирование радиотехнических систем: учебное пособие. – Минск: Вышэйшая школа, 1988. - 221 с.

3.3. Перечень методических указаний (УМП) по проведению конкретных видов учебных занятий, наглядных и других пособий, а также методических материалов к используемым в учебном процессе техническим средствам.

3.3.1. Шарыгин Г.С. Системотехника. Методические указания по курсовому проектированию для студентов специальности «Защищенные системы связи». [Электронный ресурс] – Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2012. – Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/humans/1832>

4. Рейтинговая система оценки качества.

4.1. Балльная раскладка отдельных элементов контроля по видам занятий.

А. Теоретический курс

Всего возможно баллов – 100, в том числе: за посещение лекций 15х2, всего максимум 30 баллов; за выполнение комплексного индивидуального задания максимум 50 баллов, за контрольную работу максимум 20 баллов.

Зачет – не менее 60 баллов при условии сдачи и приема комплексного индивидуального задания.

Б. Курсовое проектирование

| Разделы работы над проектом | Максимальные баллы рейтинга |
|---|------------------------------------|
| Общее описание и постановка задачи разработки системы | 5 |
| Анализ литературы и поиск аналогов | 10 |
| Разработка метода и математической модели | 10 |
| Моделирование или эксперимент | 10 |
| Разработка функциональной и структурной схем | 10 |
| Расчеты и определение ТТ к элементам схем | 5 |
| Анализ показателей системы | 10 |
| Составление и оформление отчета | 10 |

Итого 70 баллов.

Для допуска к защите необходимо набрать 40 баллов.

Дифференцированный зачет по результатам защиты курсового проекта в комиссии – максимум 30 баллов. При этом оцениваются:

- Содержание работы, правильность расчетов и соответствие заданию – максимум 15 баллов.
- Оформление проекта – максимум 5 баллов.
- Качество ответов на вопросы на защите проекта – максимум 10 баллов.

Итого возможно максимум 100 баллов.

4.2.Методика формирования пятибалльных оценок в контрольные точки.

1 контрольная точка: всего возможно (одинаково – по теоретической части курса и по курсовому проектированию) максимум 25 баллов. Оценки: 5 – 22 балла; 4 – 17 баллов; 3 – 12 баллов; 2 – ниже 12 баллов.

2 контрольная точка: всего возможно максимум 50 баллов. Оценки: 5 – 45 баллов; 4 – 35 баллов; 3 – 25 баллов; 2 – ниже 25 баллов.

4.3.Методика формирования итоговой оценки по дисциплине.

Оценка по теоретической части курса не предусмотрена. Зачет выставляется по результатам рейтингового контроля в течение семестра. Для получения зачета необходимо набрать не менее 60 баллов при условии сдачи и приема комплексного индивидуального задания.

Итоговой оценкой дифференцированного зачета по курсовому проекту является оценка, полученная на защите проекта. Перевод баллов, полученных при защите курсового проекта в оценку дифференцированного зачета: 27-30 баллов – отлично, 20-26 баллов – хорошо, 15-19 баллов – удовлетворительно, менее 15 баллов – неудовлетворительно.

Баллы, полученные при текущем контроле в течение семестра, используются для допуска к защите проекта и при выставлении оценки не учитываются.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
 профессионального образования
 «ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
 И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

По дисциплине «Проектирование радиотехнических систем»

Для специальности 090106.65 «Информационная безопасность
 телекоммуникационных систем»

Факультет Радиотехнический

Профилирующая кафедра Радиоэлектроники и защиты информации

Курс второй
 Семестр четвертый

Учебный план набора 2008 года

Распределение учебного времени

| | Всего часов |
|------------------------|-------------|
| Лекции | 36 часов |
| Лабораторные занятия | нет |
| Практические занятия | 18 часов |
| Курсовой проект (ауд) | нет |
| Курсовая работа (ауд) | нет |
| Всего ауд. занятий | 54 часа |
| Самостоятельная работа | 66 часов |
| Общая трудоёмкость | 120 часов |

Экзамен – 9 семестр

Зачёт – нет

Диф. зачёт – нет

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

1.1.Цели преподавания дисциплины.

Цель курса "Проектирование радиотехнических систем" - ознакомить студентов с методологией и особенностями проектирования систем и привить навыки системного подхода при принятии технических решений.

Комплексный (системный) подход при выполнении исследовательских и опытно-конструкторских работ предполагает, что все технические решения, от разработки математической модели до детализации конструкции, должны приниматься исходя из необходимости оптимизации всей системы по принятым критериям эффективности.

В курсе излагается порядок, приводятся сведения об основных стадиях и этапах проектирования, содержании и особенностях отдельных этапов.

Лекции сопровождаются практическими занятиями, в процессе которых каждый студент выполняет комплексное индивидуальное задание по описанию этапов проектирования системы.

Одновременно с изучением лекционного курса студенты выполняют курсовой проект. Курсовой проект по радиотехническим системам является последним курсовым проектом, выполняемым студентами в период обучения, и непосредственно предшествует дипломному проектированию. Он выполняется одновременно с заключительной частью учебно-исследовательской работы и, как правило, на ее основе.

Курсовой проект выполняется по индивидуальным нестандартным заданиям.

1.2.Задачи изучения дисциплины.

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- способы сбора, обработки, анализа и систематизации научно-технической информации;
- принципы и методику эскизного системного проектирования систем;
- основные положения теории игр;
- основные положения стандартов на выполнение НИР и ОКР.

Уметь:

- разрабатывать математические модели и использовать их для анализа и синтеза систем;
- планировать лабораторные и натурные эксперименты;
- разрабатывать структурные и функциональные схемы систем и комплексов;

Владеть:

- системным подходом при анализе и оптимальном проектировании систем.

1.3.Перечень дисциплин и разделов (тем), необходимых студентам для изучения данной дисциплины.

Дисциплина относится к региональным дисциплинам цикла дисциплин специализации учебного плана основной образовательной программы по специальности 090106.65 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

Для изучения данной дисциплины необходимо освоение курсов «Математика 1», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Статистическая радиотехника (радиофизика)», «Электродинамика и распространение радиоволн», «Криптография», «Радиотехнические (радиоэлектронные) системы».

Изучение данной дисциплины необходимо для выполнения выпускной квалификационной работы и формирования необходимых компетенций специалиста.

2. Содержание дисциплины.

2.1.Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий.

2.1.1. Введение – 6 часов.

Предмет и содержание курса. Основные признаки современных радиотехнических систем. Основные проблемы при проектировании. Принципы проектирования. Этапы и разделы проектирования, их содержание. Заявка на разработку, техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект, изготовление опытного образца, испытания, разработка рабочей документации. Внешнее и внутреннее проектирование.

2.1.2. Внешнее проектирование систем – 15 часов.

2.1.2.1. Постановка задачи. Описание окружения, точка зрения, область допустимых или желательных решений, критерий эффективности. Требования к критерию эффективности.

2.1.2.2. Математическая модель (метод). Виды моделей: жесткие и вероятностные, аналитические и численные. Использование моделей.

2.1.2.3. Планирование эксперимента. Цель экспериментов. Источники данных: измерения, документы, беседы, личное участие. Лабораторные эксперименты и эксперименты в натуральных условиях. Особенности, учитываемые при планировании эксперимента. Репрезентативность выборки. Предварительный и основной эксперимент. Способы исключения или уменьшения систематических погрешностей. Контрольные эксперименты. Типичные ошибки при планировании эксперимента.

2.1.2.4. Обработка результатов эксперимента. Представление случайных данных. Выбор параметров аппроксимирующих функций. Способ наименьших квадратов и метод максимума правдоподобия. Проверка и критерии соответствия. Задачи дисперсионного анализа.

2.1.3. Внутреннее проектирование систем – 14 часов.

2.1.3.1. Проектирование единичной нити. Порядок проектирования. Прототип, оптимизация и детализация.

2.1.3.2. Проектирование большой нагрузки. Терминология и задачи. Обобщенная схема. Статистическое описание последовательности входов. Законы распределения времени обработки. Виды очередей. Средняя длина очереди и среднее время ожидания. Другие статистические характеристики длины очереди и времени ожидания, требуемая емкость накопителя (буферного устройства).

2.1.3.3. Составляющее проектирование. Задачи составляющего проектирования и основные понятия теории игр. Терминология и принятие решений применительно к радиотехническим системам. Применение принципа минимакса.

2.1.4. Заключение. Современные тенденции в методологии проектирования РТС. – 1 час.

Итого лекций 36 часов.

2.2. Практические и семинарские занятия, их содержание и объём в часах.

1. Описание радиотехнической системы. (Название, цель и назначение, признаки и функции системы, показатели назначения, критерий эффективности) – 2 часа.
2. Составление технического задания. (Метод реализации, описание системы в целом, укрупненная блок-схема системы, описание подсистем, тактико-технические требования) – 4 часа.
3. Окружение системы. Внешние условия. (Характеристика условий эксплуатации, основные направления, по которым необходимо проведение экспериментов) – 3 часа.
4. Математическая модель. Планирование эксперимента. (Перечень входов и выходов с их обозначениями и количественными характеристиками-размерностями, формульная связь входов и выходов и/или их статистических характеристик, планирование эксперимента) – 4 часа.
5. Проектирование единичной нити. (Прототип, функциональная схема, недостатки функциональной схемы, предложения по ее оптимизации) – 3 часа.
6. Контрольная работа – 2 часа.

2.3. Виды самостоятельной работы (с указанием объёма часов и форм контроля).

Самостоятельная работа в процессе изучения дисциплины включает в себя просмотр материала и подготовку к очередным лекциям (9 часов), выполнение комплексного индивидуального задания (57 часов).

Комплексное индивидуальное задание:

ЗАДАНИЕ No.1. Описание радиотехнической системы. (Название, цель и назначение, функции системы, показатели эффективности) – 10 часов.

ЗАДАНИЕ No.2. Составление технического задания. (Описание системы в целом, описание подсистем, тактико-технические требования) – 18 часов.

ЗАДАНИЕ No.3. Математическая модель. Планирование эксперимента. (Перечень входов и выходов с их обозначениями и количественными характеристиками-размерностями, формульная связь входов и выходов и/или их статистических характеристик, планирование эксперимента) – 12 часов.

ЗАДАНИЕ No.4. Проектирование единичной нити. (Прототип, функциональная схема, недостатки функциональной схемы, предложения по ее оптимизации) – 17 часов.

3. Учебно-методические материалы по дисциплине.

3.1. Основная литература.

3.1.1. Силич М.П. Системотехника: учебное пособие / М. П. Силич, Е. Н. Рыбалка ; ред. М.П. Силич; Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники. - Томск: ТУСУР, 2007.. В библиотеке имеется 100 экз.

3.2. Дополнительная литература.

3.2.1. Системотехника. Введение в проектирование больших систем / Г. Х. Гуд, Р. Э. Макол ; пер.: К. Н. Трофимов, С. Е. Жорно, И. В. Соловьев ; ред. пер. Г. Н. Поваров. - М. : Советское радио, 1962. - 383 с.: ил., табл. - Пер. с англ..

3.2.2. Апорович А.Ф. Проектирование радиотехнических систем: учебное пособие. – Минск: Вышэйшая школа, 1988. - 221 с.

3.3. Перечень методических указаний (УМП) по проведению конкретных видов учебных занятий, наглядных и других пособий, а также методических материалов к используемым в учебном процессе техническим средствам.

3.3.1. Шарьгин Г.С. Проектирование радиотехнических систем. Методические указания по курсовому проектированию для студентов специальности «Радиоэлектронные системы». – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2002. [Электронный ресурс]

4. Рейтинговая система оценки качества.

4.1. Балльная раскладка отдельных элементов контроля по видам занятий.

Всего возможно баллов – 100, в том числе: за посещение лекций 18х1, всего максимум 18 баллов; за выполнение комплексного индивидуального задания максимум 32 балла, за контрольную работу максимум 20 баллов, экзамен – 30 баллов.

Допуск к экзамену – не менее 35 баллов.

4.2. Методика формирования пятибалльных оценок в контрольные точки.

1 контрольная точка: всего возможно максимум 22 балла. Оценки: 5 – 20 баллов; 4 – 16 баллов; 3 – 11 баллов; 2 – ниже 11 баллов.

2 контрольная точка: всего возможно максимум 46 баллов. Оценки: 5 – 42 балла; 4 – 32 балла; 3 – 22 балла; 2 – ниже 22 баллов.

4.3. Методика формирования итоговой оценки по дисциплине.

Итоговой оценкой по дисциплине является оценка, полученная при сдаче экзамена.

СОДЕРЖАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЗАДАНИЯ

Часть 1. Описание системы.

1. Название
2. Цель и назначение
3. Функции системы
4. Показатели назначения
5. Критерий эффективности
6. Метод реализации
7. Описание функционирования системы
8. Укрупненная блок-схема

Часть 2 . Составление технического задания.

Форма и пример технического задания приведены в разделе «Разработка радиоэлектронных устройств и систем настоящего учебно-методического пособия.

Часть 3. Математическая модель. Планирование эксперимента.

1. Перечень входов и выходов с их обозначениями и количественными характеристиками-размерностями
2. Формульная связь входов и выходов и/или их статистических характеристик
3. Неизвестные факторы, знание которых необходимо для проектирования системы, их количественные характеристики
4. Программа и методика исследования или эксперимента
 - Цель эксперимента
 - Место и условия проведения эксперимента
 - Краткое описание экспериментальной установки или аппаратуры, используемой для проведения эксперимента, требования к персоналу
 - Описание действий при проведении эксперимента, что измеряется, продолжительность эксперимента, каким образом регистрируются данные эксперимента
 - Краткое описание методов обработки результатов эксперимента, что получается в результате обработки

Часть 4. Проектирование единичной нити.

1. Прототипы (аналоги) системы, их краткое описание
2. Вариант(ы) функциональной схемы, составленной на основании прототипов, выбор варианта
3. Недостатки составленной функциональной схемы
4. Предложения по оптимизации функциональной схемы, исходя из принятого критерия эффективности
5. Исправленная окончательная функциональная схема
6. Технические требования к основным блокам и узлам функциональной схемы

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Первые вопросы

- Основные признаки современных РТС. Привести пример.
- Основные проблемы при проектировании РТС. Привести пример.
- Основные этапы проектирования РТС. Содержание и задачи отдельных этапов.
- Внешнее и внутреннее проектирование. Задачи (разделы) этих видов проектирования, их взаимосвязь.
- Постановка задачи при внешнем проектировании.
- Математические модели при внешнем проектировании.
- Планирование эксперимента при внешнем проектировании.
- Задачи и способы обработки эксперимента при внешнем проектировании.
- Терминология и задачи проектирования большой нагрузки.
- Основные понятия теории игр и задачи состязательного проектирования.
- Метод экспертных оценок.

Вторые вопросы

- Основные понятия теории игр.
- Зачем используются очереди при проектировании большой нагрузки? Какие бывают очереди?
- Что такое седловая точка и цена игры?
- Перечислить основные признаки современных РТС.
- Основные задачи, которые приходится решать при проектировании большой нагрузки.
- Порядок проектирования единичной нити.
- Что такое принцип минимакса в теории игр?
- Способы уменьшения систематических погрешностей при проведении эксперимента.
- Зачем нужны математические модели систем?
- Как перейти от множественного к единому критерию эффективности?

РАЗРАБОТКА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ (содержание технического задания)

Разработка радиоэлектронных систем относится к наиболее сложным и объемным видам проектирования. Как правило, любая радиоэлектронная система состоит из нескольких подсистем (устройств), которые могут являться предметами самостоятельного проектирования. Кроме того, в отдельные проекты целесообразно выделять конструкторскую и технологическую разработку системы.

Все части системы связаны единством цели и назначения, и опытно-конструкторская разработка обычно имеет одного руководителя (координатора). Помимо технических заданий для отдельных подсистем (они обычно называются частными техническими заданиями – ЧТЗ) составляется общее техническое задание на систему в целом. Может быть несколько вариантов такой структуризации работы по созданию системы, поэтому рекомендации настоящего раздела уточняются и конкретизируются в каждом конкретном случае.

2.1. Техническое задание

Форма типового ТЗ

УТВЕРЖДАЮ

_____ Должность руководителя организации

(_____)

Подпись _____ Фамилия, И.О.

« ____ » _____ 20__ г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на выполнение опытно-конструкторской работы (проекта)

1. *Наименование, шифр ОКР, основание, исполнитель и срок выполнения проекта*

1.1. Наименование системы: _____

1.2. Шифр проекта: « _____ ».

1.3. Основание для выполнения проекта: приказ от « ____ » _____ 200__ г., № _____

1.4. Исполнитель проекта: _____

Руководитель проекта (главный конструктор) - _____

ФИО, должность

Ответственный исполнитель проекта (зам. главного конструктора):

Фамилия, имя, отчество студента и номер учебной группы

1.5. Заказчик: _____

1.6. Сроки выполнения проекта: _____

2. *Цель ОКР, наименование и индекс изделия, разрабатываемого в рамках проекта*

2.1. Целью проекта является _____

2.2. Наименование изделия: _____

Сокращенное наименование изделия: _____

Индекс изделия: _____

2.3. Назначение изделия и область применения _____

3. Тактико-технические требования к изделию

3.1. Состав _____

3.2. Требования назначения _____

3.3. Требования стойкости к внешним воздействиям _____

3.4. Требования надежности _____

3.5. Требования эргономики и технической эстетики _____

3.6. Требования к эксплуатации, хранению, удобству технического обслуживания и ремонта _____

3.7. Требования транспортабельности _____

3.8. Требования безопасности _____

3.9. Требования стандартизации, унификации _____

3.10. Требования технологичности _____

3.11. Конструктивные требования _____

4. Технико-экономические требования

4.1. Предельное значение стоимости выполнения проекта устанавливается договором с заказчиком.

4.2. Источники финансирования: _____

4.3. Технико-экономическое обоснование проекта должно быть проведено на этапе _____ и содержать: _____

5. Требования к видам обеспечения

5.1. Требования к метрологическому обеспечению _____

5.2. Требования к математическому, программному и информационно-лингвистическому обеспечению _____

6. Требования к сырью, материалам и КИМП _____

7. Требования к консервации, упаковке и маркировке _____

8. Требования к учебно-тренировочным средствам _____

9. Специальные требования _____

10. Этапы выполнения проекта

| № этапа | Наименование этапа | Содержание работы | Сроки выполнения | | Чем заканчивается этап |
|---------|--------------------|-------------------|------------------|-----------|--|
| | | | Начало | Окончание | |
| 1 | | | | | Эскизный проект |
| 2 | | | | | Технический проект |
| 3 | | | | | Разработка рабочей конструкторской документации для опытного образца |
| 4 | | | | | Изготовление опытного образца и проведение испытаний |

11. Порядок выполнения и приемки этапов проекта _____

Руководитель проекта –

_____ (_____)

Дата: «__» _____ 200_ г.

Замечания по содержанию отдельных пунктов технического задания

Раздел 1 заполняется в соответствии с нормативными документами заказчика

В **разделе 2** указывается целевое эксплуатационное и функциональное назначение и перспективность изделия, а также приводится полное и сокращенное наименование изделия, индекс, присвоенный ему в организации (в подразделении).

При заполнении **раздела 3** особое внимание следует уделить пункту 3.2, в котором определяются показатели назначения (тактические требования) к изделию, характеризующие

эффективность его работы с точки зрения потребителя (потребительскую ценность) и соответствие поставленным целям проекта, например, показатели точности, быстродействия, пропускной способности, а в конечном счете – качество изделия.

В **разделе 4** указываются ограничения по стоимости разработки, определяемые заказчиком проекта. В пункте 4.3 освещаются вопросы ориентировочной экономической эффективности и срок окупаемости затрат, лимитной цены при изготовлении товарных образцов изделия, предполагаемой годовой потребности в продукции, технико-экономические преимущества разрабатываемой продукции по сравнению с аналогами.

В **разделе 6** определяются требования к применяемым при разработке сырью, материалам и комплектующим. В частности, указывают ограничения в их применении. Например, в ряде разработок разрешается применение покупных комплектующих изделий только из числа включенных в межотраслевые ограничительные перечни (комплектующие изделия межотраслевого применения КИМП) или комплектующих только отечественного производства.

В **разделе 7** даются ссылки на нормативные документы, в соответствии с которыми должны выполняться консервация, упаковка и маркировка изделий.

В **разделе 8** определяются требования к учебно-тренировочным средствам, необходимым для подготовки обслуживающего персонала.

В **разделе 9** определяются специальные требования, например, требования по уровню паразитного электромагнитного излучения, уточняются требования по проведению патентного поиска по тематике проекта, и другие требования, которые существенны для заказчика, но не нашли отражения в других разделах ТЗ.

Раздел 10 представляет собой календарный план выполнения проекта, в нем указываются наименование и содержание этапов проектирования, сроки их проведения и вид отчетности по этапам и проекту в целом. Обязательным условием является указание в календарном плане конкретных и поддающихся контролю практических результатов разработки каждого этапа: методик, программ, экспериментальных данных, макетов, результатов испытаний и т.п.

Порядок выполнения и приемки этапов проекта определяется в **разделе 11**. Рекомендуется в этом разделе указывать нормативные документы, в соответствии с которыми ведется выполнение этапов и составляется отчетная документация, а также допустимые отклонения от нормативных документов, количество изготавливаемых образцов и их состав, предъявляемый для испытаний, и другие вопросы.

Пример технического задания

Ниже приведен пример технического задания на разработку сложной радиоэлектронной системы. Пример показывает, каким может быть реальное ТЗ на опытно-конструкторскую разработку.

УТВЕРЖДАЮ

 _____ (_____)
 «__» _____ 200__ г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ **на выполнение опытно-конструкторской работы по договору № _____**

1. *Наименование, шифр проекта, основание, исполнитель и срок выполнения проекта*

- 1.1. Наименование проекта: «Автоматическая система обнаружения и определения координат грозовых разрядов и грозовых очагов».
- 1.2. Шифр проекта: «Молния-РТС».
- 1.3. Основание для выполнения проекта: приказ от 18 октября 2006 г., № 9002.
- 1.4. Исполнитель проекта: ТУСУР, кафедра РТС
 Руководитель проекта (главный конструктор) – Иванов И.И., профессор каф. РТС.
 Ответственный исполнитель проекта (зам. главного конструктора): Петров И.И., ст. научный сотрудник НИИ РТС ТУСУРа
 Место выполнения проекта: НИИ РТС ТУСУР.
- 1.5. Заказчик: _____ -.
- 1.6. Сроки выполнения проекта: октябрь 2012 г. – май 2014 г.

2. *Цель выполнения проекта, наименование и индекс изделия, разрабатываемого в рамках проекта*

- 2.1. Целью проекта является разработка автоматической системы обнаружения и определения координат отдельных грозовых разрядов и грозовых очагов по их излучению в радиодиапазоне в интересах гидрометеослужбы, Министерства по чрезвычайным ситуациям, служба охраны лесов.
- 2.2. Наименование изделия: Система определения гроз.
 Сокращенное наименование изделия: СОГ.
 Индекс изделия: С-0012-РТС.
- 2.3. Назначение изделия и область применения
- 2.3.1. Система определения гроз предназначена:
 - для обнаружения отдельных грозовых разрядов и грозовых очагов и определения их параметров;
 - для передачи информации о факте и параметрах гроз потребителям с использованием средств связи и автоматизации, указанных в п.3.1.2.3, или приданных средств связи.

Примечание: перечень потребителей информации о грозах уточняется на этапе эскизного проектирования.

Тип и порядок использования приданных средств определяются на этапе эскизного проектирования, согласуются и утверждаются на этапе технического проектирования.

- 2.4.2 Область применения системы определения гроз – в отдельных звеньях и в сети системы контроля за природными явлениями на территории.

3. Тактико-технические требования к изделию

3.1. Состав системы определения гроз.

3.1.1. Система определения гроз должна состоять из автоматических грозопеленгаторов-обнаружителей (АГПО). В зависимости от области применения и задач, решаемых звеном управления, в систему может входить до десяти АГПО.

3.1.2. В состав АГПО должны входить:

3.1.2.1. Унифицированный контейнер со средствами связи, автоматизации и поддержки климатических условий, указанными в п.п. 3.1.2.3, 3.1.2.4.

3.1.2.2 Комплект автоматической аппаратуры в составе:

- блок приема электрической E- и магнитной H - компонент;
- стойка питания аппаратуры;
- аппаратная стойка;
- вычислительное устройство;
- хранитель времени;
- средство привязки к шкале Государственного эталона времени и частоты по сигналам ГЛОНАСС/GPS;
- программное обеспечение.

3.1.2.3. Комплекс технических и программных средств автоматизации и связи в составе:

- | | |
|---|-----|
| – радиостанция КВ диапазона | - 1 |
| – радиоприемное устройство КВ диапазона | - 1 |
| – мачтовое устройство | - 2 |
| – антенна КВ диапазона | - 2 |
| – аппаратура подготовки данных | - 1 |

3.1.2.4. Комплекс обеспечения климатических условий в унифицированном контейнере.

3.1.2.5. Система электропитания.

3.1.2.6. Комплект запасного имущества и принадлежностей (ЗИП-О).

3.1.2.7. Комплект эксплуатационной документации.

Примечания:

1. Состав АГПО уточняется по результатам технического проектирования.
2. Состав, типы покупных и комплектующих изделий для комплекта ЗИП согласовываются с заказчиком.
3. Состав и объем эксплуатационной документации определяются требованиями ГОСТ РВД 2.601-96 и согласовываются с заказчиком.

3.2. Требования назначения

3.2.1. Каждый АГПО должен работать как автономно, так и в составе СОГ, и обеспечивать:

- регистрацию и измерение параметров электромагнитного импульса грозового разряда;
- установление факта наличия в тропосфере отдельных грозовых разрядов и грозовых очагов;
- прием и обработку информации, поступающей от других АГПО;
- определение времени, координат и силы грозовых очагов на основе обработки данных, полученных автономно и от других АГПО;
- хранение информации о параметрах зарегистрированных грозовых очагов;
- автоматическое формирование и передача по каналам связи информации о параметрах зарегистрированных грозовых очагов;
- автоматический прием информации о параметрах зарегистрированных другими АГПО грозовых очагов.

3.2.2. Информация о параметрах грозовых очагов, передаваемая на другие АГПО, должна содержать:

- номер АГПО;
- дата (год, месяц, число);

- время приема электромагнитного импульса отдельных грозовых разрядов (часы, минуты, секунды, миллисекунды, микросекунды, наносекунды);
- координаты центров грозовых очагов (в километрах);
- СКО значения координат центров грозовых очагов (в километрах).

Состав и структура передаваемой информации, включая протоколы информационного обмена между АГПО, согласовывается с заказчиком (кафедрой РТС) и уточняется на этапе технического проектирования.

3.2.3. Каждый АГПО должен иметь систему автоматического и ручного (запасного) контроля работоспособности. Информация о работоспособности передается в соседние АГПО для отображения о состоянии СОГ.

Примечание: периодичность опроса работоспособности АГПО и каналов связи определяется на этапе эскизного проектирования и утверждается на этапе технического проектирования.

3.2.4. АГПО должен обеспечивать выполнение следующих тактических требований:

а) точность определения (СКО):

- координат грозовых очагов - не более 20% от дальности на удалениях до 200 км;
- пеленга источника электромагнитного импульса – не более 1,5 градусов;
- времени прихода электромагнитного импульса – не более 200 нс при уровне внешних атмосферных помех до 100 мВ/м.

б) оперативность выдачи информации о грозовом очаге - не более 1 мин.;

в) разрешающая способность по времени обработки электромагнитных импульсов грозовых разрядов – не более 1 сек.;

г) время установки на рабочую позицию – 3 часа;

д) время включения – 5 минут;

3.2.5. СОГ в составе 10 АГПО должна обеспечивать выполнение следующих тактических требований:

а) точность определения (СКО) координат грозовых очагов - не более 20 км на удалениях от грозового очага до 1000 км;

б) время готовности к работе СОГ после получения сигнала о готовности АГПО – не более 10 минут.

3.3. Требования стойкости к внешним воздействиям.

Аппаратура АГПО должна быть устойчивой к воздействию климатических факторов со следующими отклонениями:

- рабочая температура окружающей среды – от -38°C до +48°C;
- пониженная предельная температура окружающей среды – -50°C;
- пониженная рабочая температура внутри контейнера – минус 15°C;
- повышенная влажность окружающей среды при температуре 35°C – до 98%.

Покупные изделия должны быть устойчивыми или стойкими в условиях, оговоренных в ТУ или эксплуатационной документации на эти покупные изделия, а конструкция АГПО должна обеспечивать соблюдение этих требований.

3.4. Требования надежности

3.4.1. Надежность должна соответствовать следующим показателям:

- коэффициент готовности изделия с учетом отказов сбойного характера – не менее 0.9;
- среднее время восстановления АГПО с использованием ЗИП-О – не более 10 минут

3.4.2. Срок службы изделия – не менее 10 лет.

3.4.3. Срок хранения изделия – не менее 5 лет

3.4.4. На этапе технического проектирования должна быть разработана «Программа обеспечения надежности при разработке» (ПОНр).

Отчет о выполнении ПОНр представляется на этапе разработки РКД.

Примечания:

1. Критерий отказа и предельного состояния изделия и его составных частей определяется на этапе технического проектирования.

2. Показатели надежности определяются и уточняются по результатам технического проектирования и испытаний.

3.5. Требования эргономики, обитаемости и технической эстетики

Требования эргономики, обитаемости и технической эстетики не предъявляются.

3.6. Требования к эксплуатации, хранению, удобству технического обслуживания и ремонта

3.6.1. Должна обеспечиваться возможность непрерывной работы АПГО не менее 2500 часов. Периодичность проведения технического обслуживания и его длительность определяются на этапе технического проектирования.

3.6.2. Для обеспечения эксплуатационного контроля и диагностики неисправностей в АПГО должны быть предусмотрены аппаратурные и программные средства, обеспечивающие индикацию состояния технических средств, обнаружение и локализацию неисправностей.

3.6.3. Диагностирование работоспособности составных частей станций СОГ С-0012-РТС должно быть автоматическим с точностью до функционального устройства (сменного блока) с достоверностью не менее 0,9 при среднем времени диагностирования не более 5 мин.

3.6.4. На этапе технического проектирования должны быть разработаны предложения по практической реализации технического обслуживания АПГО. На этапе РКД должны быть разработаны предложения по практической реализации технического обслуживания по фактическому состоянию.

3.6.5. Основным методом восстановления работоспособности средств и комплексов должна быть замена типового функционального устройства из состава ЗИП-О.

3.6.6. Составные части и АПГО должны быть обеспечены необходимым количеством КИП и комплектов ЗИП, обеспечивающих работоспособность аппаратуры в течение гарантийного срока службы в соответствии с ГОСТ В 26.441-85.

3.6.7. АПГО СОГ должны допускать хранение в неотапливаемых помещениях в условиях, установленных ГОСТ В 9.003-80.

3.6.8. Эксплуатационная и рабочая конструкторская документация на систему определения гроз С-0012-РТС должна быть выполнена в соответствии с действующими стандартами ЕСКД, ЕСПД.

3.6.9. На этапе РКД должны быть представлены рекомендации по количеству и квалификации персонала для технического обслуживания АПГО и СОГ.

3.6.10 Конструкция АПГО должна обеспечивать демонтаж и монтаж технических средств силами персонала без привлечения подъемных механизмов. При этом отдельные составные части специального оборудования АПГО должны иметь вес не более 25 кг.

3.7. Требования транспортабельности.

АПГО должны допускать возможности их транспортирования на любые расстояния любыми видами транспорта.

3.8. Требования безопасности.

3.8.1. Технические средства АПГО системы определения гроз С-0012-РТС должны обеспечивать электро- и пожаробезопасность работы обслуживающего персонала в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 20.39.309-98.

3.8.2. В конструкции АПГО и СОГ должны быть предусмотрены приспособления для надежного подключения к защитному контуру заземления объекта. Максимальное значение переходного сопротивления между соединенными металлическими деталями в аппаратуре должно соответствовать требованиям ГОСТ

3.9. Требования стандартизации, унификации.

3.9.1 АПГО должен обеспечивать модульное построение СОГ, позволяющее осуществить определение грозových очагов и передачу информации о параметрах этих гроз потребителю различных уровней.

3.9.2 Требования к значениям коэффициентов применяемости и повторяемости не предъявляются.

3.10. Требования технологичности

Требования технологичности не предъявляются.

3.11. Конструктивные требования

По конструктивным требованиям разрабатываемые СОГ должны удовлетворять требованиям ГОСТ

4. Техничко-экономические требования

4.1. Предельное значение стоимости выполнения проекта устанавливается Заказчиком по результатам 1 этапа работы.

4.2. Источник финансирования – средства НИИ РТС ТУСУР.

4.3. Техничко-экономическое обоснование проекта должно быть проведено на этапе разработки РКД и содержать:

- ориентировочную стоимость подготовки и освоения серийного производства, цену изделий и их составных частей в серийном производстве;
- предельную трудоемкость технического обслуживания изделий в процессе эксплуатации;
- среднегодовую стоимость эксплуатации изделий.

5. Требования к видам обеспечения

5.1. Требования к нормативно-техническому и диагностическому обеспечению не предъявляются.

5.2. Требования к метрологическому обеспечению

5.2.1. Метрологическое обеспечение СОГ С0012-РТС должно соответствовать требованиям ГОСТ РВ 1.1-96.

5.2.2. Выбор средств измерений должен обеспечивать возможность их проверки метрологическими органами ведомства, эксплуатирующими изделия.

5.2.3. Метрологическая экспертиза должна проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ В 8.573-2000.

5.2.4. Метрологическое обеспечение испытаний СОГ С0012-РТС должно соответствовать требованиям ГОСТ РВ 8.507-98.

5.2.5. Методы измерений и контроля параметров СОГ С0012-РТС должны соответствовать п. 9.3.2 ГОСТ РВ 20.39.309-98. Правила и нормы метрологического обеспечения должны отвечать требованиям стандартов государственной системы обеспечения единства измерений и действующей НТД.

5.3. Требования к математическому, программному и информационно-лингвистическому обеспечению

5.3.1. Программное обеспечение должно включать в себя: общее программное обеспечение (ОПО), общесистемное программное обеспечение (ОСПО), специальное программное обеспечение (СПО).

5.3.2. В состав ОПО и ОСПО СОГ С0012-РТС должны входить:

- операционная система;
- система управления базами данных (СУБД);
- геоинформационное ПО;
- телекоммуникационное ПО.

5.3.3. К специальному программному обеспечению относится ПО, разрабатываемое в рамках проекта. По назначению СПО должно подразделяться на СПО АГПО при работе в комплексе и СПО СОГ.

СПО АГПО при работе в комплексе должно решать следующие задачи:

- регистрацию сигналов электромагнитных импульсов грозовых разрядов;
- определение параметров сигналов электромагнитных импульсов грозовых разрядов;

- временную привязку характерных точек сигналов электромагнитных импульсов грозовых разрядов к шкале единого времени с погрешностью не более 100 нс;
- определение пеленга на грозовой разряд, вызвавший электромагнитный импульс;
- взаимодействие с ОПО для передачи в СОГ оперативных сообщений, а также полных сообщений с информацией о координатах и параметрах отдельных грозовых разрядов и грозовых очагов, зарегистрированных АГПО;

СПО СОГ должно решать следующие задачи:

- приём оперативных и полных сообщений о зарегистрированных сигналах;
- автоматическое взаимодействие с ОСПО для приёма оперативных и полных сообщений с информацией о координатах и параметрах отдельных грозовых разрядов и грозовых очагов, зарегистрированных АГПО;
- группирование сообщений, относящихся к одному источнику электромагнитного импульса;
- расчет координат отдельных грозовых разрядов и грозовых очагов, зарегистрированных АГПО;
- определение параметров с информацией о координатах и параметрах отдельных грозовых разрядов и грозовых очагов, зарегистрированных АГПО;
- отображение информации для использования оператором;
- автоматическое взаимодействие с ОСП для передачи информации потребителям;

5.3.4. СПО должно иметь единый интерфейс (совокупность интерфейсов) взаимодействия, как между собой, так и с ОПО и ОСПО.

5.3.5. На этапе эскизного проектирования должны быть разработаны и согласованы с заказчиком алгоритмы СПО.

5.3.6. На этапе технического проектирования должны быть разработаны макет СПО и программы его тестирования.

5.3.7. Состав макета СПО согласовывается с Заказчиком.

5.3.8. Тестирование макета СПО проводится на этапе технического проектирования.

5.3.9. По результатам тестирования макета Заказчик уточняет требования к СПО.

5.3.10. Алгоритмы СПО должны состоять из математического (формального) описания, математического метода их реализации и блок-схемы алгоритмов.

Примечание: Состав СПО определяется и уточняется на этапе эскизного проектирования.

5.3.11. Комплект программной документации разрабатывается в соответствии с ЕСПД и должен содержать:

- спецификацию (ГОСТ 19.202);
- тексты программ (ГОСТ 19.401);
- описание программ (ГОСТ 19.402);
- руководство системного программиста (ГОСТ 19.503);
- руководство программиста (ГОСТ 19.504);
- руководство оператора (ГОСТ 19.505).

5.3.12. Программная документация должна быть изготовлена в твердой копии и на оптических носителях.

6. Требования к сырью, материалам и КИМП

6.1. Требования к сырью и материалам не предъявляются.

6.2. Применение комплектующих устанавливается перечнем, утвержденным заказчиком.

7. Требования к консервации, упаковке и маркировке

7.1. Консервация и упаковка технических средств АГПО должна производиться в соответствии с требованиями ГОСТ В.20.39.308-76.

7.2. Упаковка должна разрабатываться в соответствии с требованиями ГОСТ РВ.20.39.309-98.

7.3. Маркировка вновь разрабатываемых технических средств должна выполняться в соответствии с требованиями ГОСТ РВ.20.39.309-98.

8. Требования к учебно-тренировочным средствам

Должны быть разработаны учебная документация и плакаты, поясняющие основной научно-технический замысел проекта.

9. Специальные требования

9.1. Уровень напряженности поля промышленных радиопомех, создаваемых оборудованием, должен соответствовать «Общесоюзным нормам допустимых промышленных радиопомех от оборудования и объектов» по группам: «средства электропитания приборно» и «средства автоматизации и связи приборно».

9.2. Разработчик должен провести патентно-технические исследования разрабатываемого изделия в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96 на глубину патентного поиска 15 лет по патентным материалам Российской Федерации.

9.3. Программное обеспечение, разрабатываемое в проекте, должно быть сертифицировано в системе сертификации средств защиты информации РФ по требованиям безопасности информации.

10. Этапы выполнения проекта

| № этапа | Наименование этапа | Содержание работы | Сроки выполнения | | Чем заканчивается этап |
|---------|--------------------|--|------------------|-----------|---|
| | | | Начало | Окончание | |
| 1 | Эскизный проект | <p>Разработка и согласование с Заказчиком комплектности документов по ГОСТ 2.102-68, ГОСТ3.1119-83, ГОСТ3. 1121-84, ГОСТ 19.101-77.</p> <p>Выполнение вариантов возможных решений, установление особенностей вариантов (характеристики вариантов составных частей и т.п.), их конструкторская проработка с присвоением документам литеры Э".</p> <p>Предварительное решение вопросов упаковки и транспортирования изделия.</p> <p>Изготовление и испытания макетов с целью проверки принципов работы изделия и (или) его составных частей.</p> <p>Разработка и обоснование технических решений, направленных на обеспечение показателей надежности, установленных техническим заданием.</p> <p>Оценка изделия на технологичность и правильность выбора средств и методов контроля (испытаний, анализа, измерений).</p> <p>Выбор вариантов конструкции изделия для дальнейшей разработки.</p> | 10.2012 | 12.2012 | Пояснительная записка. Акт о выполнении этапа. |

| | | | | | |
|---|--------------------|---|---------|---------|---|
| | | <p>Технологический контроль конструкторской документации.</p> <p>Оценка изделия по показателям стандартизации и унификации.</p> <p>Проверка вариантов на патентную чистоту и конкурентоспособность, оформление заявок на изобретения.</p> <p>Проверка соответствия вариантов требованиям техники безопасности и производственной санитарии.</p> <p>Сравнительная оценка рассматриваемых вариантов.</p> <p>Вопросы метрологического обеспечения разрабатываемого изделия (возможности выбора методов и средств измерения).</p> <p>Выбор оптимального варианта (вариантов) изделия, обоснование выбора; принятие принципиальных решений; уточнение предъявляемых к изделию требований (технических характеристик, показателей качества и др.), установленных техническим заданием, и определение технико-экономических характеристик и показателей, не установленных техническим заданием.</p> <p>Составление перечня работ, которые следует провести на последующей стадии разработки, в дополнение или уточнение работ, предусмотренных техническим заданием.</p> <p>Проведение патентных исследований по ГОСТ 15.011-96.</p> | | | |
| 2 | Технический проект | <p>Разработка конструктивных решений изделия и его основных составных частей с присвоением документам литеры "Т".</p> <p>Выполнение необходимых расчетов, в том числе подтверждающих технико-экономические показатели, установленные техническим заданием.</p> <p>Выполнение необходимых принципиальных схем, схем соединений и др.</p> <p>Разработка и обоснование технических решений, обеспечивающих показатели надежности, установленные техническим заданием на этапе эскизного проекта.</p> <p>Выявление возможности применения покупных, стандартных, унифицированных или освоенных производством составных частей изделия.</p> <p>Принятие основных принципиальных решений при производстве, эксплуатации и</p> | 01.2013 | 05.2013 | Промежуточный отчет, включая программу, методику и результаты эксперимента. Акт о выполнении этапа. |

| | | | | | |
|---|--|--|---------|---------|--|
| | | <p>ремонте, выпуск необходимой технологической документации (ТД) с присвоением ей литеры «П»;</p> <p>Технологический контроль конструкторской документации.</p> <p>Разработка метрологического обеспечения (выбор методов и средств измерения);</p> <p>Разработка, изготовление и испытание макетов.</p> <p>Оценка изделия в отношении его соответствия требованиям экономики.</p> <p>Оценка возможности транспортирования, хранения, а также монтажа изделия на месте его применения;</p> <p>Оценка эксплуатационных данных изделия (взаимозаменяемости, удобства обслуживания, ремонтпригодности, устойчивости против воздействия внешней среды, возможности быстрого устранения отказов, контроля качества работы изделия, обеспеченность средствами контроля технического состояния и др.).</p> <p>Проверка изделия на патентную чистоту и конкурентоспособность, оформление заявок на изобретения.</p> <p>Выявление номенклатуры покупных изделий, согласование применения покупных изделий.</p> <p>Согласование габаритных, установочных и присоединительных размеров с заказчиком или основным потребителем.</p> <p>Оценка технического уровня и качества изделия.</p> <p>Проверка соответствия применяемых решений требованиям техники безопасности и производственной санитарии.</p> <p>Составление перечня работ, которые следует провести на стадии разработки рабочей документации, в дополнение и (или) уточнение работ, предусмотренных техническим заданием и эскизным проектом.</p> <p>Проведение дополнительных патентных исследований.</p> | | | |
| 3 | <p>Разработка рабочей конструкторской документации для изготовления опытного образца</p> | <p>Разработка конструкторской и технологической документации, предназначенной для изготовления и испытания опытного образца (опытной партии), без присвоения литеры, в том числе проекта ТУ, эксплуатационной документации (ЭД) и рабочей ТД.</p> <p>Проведение метрологической экспертизы КД.</p> <p>Установление экономически целесообразных методов получения</p> | 09.2013 | 12.2013 | <p>Пояснительная записка.</p> <p>Комплект конструкторской документации.</p> <p>Акт о выполнении этапа.</p> |

| | | | | | |
|---|--|--|---------|---------|---|
| | | заготовок. Поэлементная обработка конструкции деталей и сборочных единиц на технологичность; Проверка соответствия технологичности конструкции требованиям ремонтпригодности и транспортабельности. Технологический контроль конструкторской документации. Проведение дополнительных патентных исследований. | | | |
| 4 | Изготовление опытного образца и проведение испытаний | Изготовление опытного образца (опытной партии). Проведение дополнительных патентных исследований. Проведение испытаний | 01.2014 | 05.2014 | Опытный образец. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Протоколы испытаний. Акт о выполнении работы |

11. Порядок выполнения и приемки этапов ОКР

11.1. Выполнение и приемка этапов проекта осуществляется в соответствии с требованиями, установленными в ГОСТ РВ 15.203.

11.2. Необходимые руководящие документы для выполнения проекта представляются Заказчиком.

11.3. Для проведения испытаний разрабатывается два опытных образца изделия АГПО.

11.4. Проведение испытаний проводится на базе исполнителя.

11.5. Номенклатура или вид средств эксплуатационного обеспечения испытаний, вид ЗИП, состав и комплектность документации, предъявляемых на испытания, определяются совместным решением заказчика и главного конструктора проекта на соответствующих этапах выполнения проекта.

11.6. Разработка, согласование и утверждение плана работ по выполнению проекта (единого сквозного плана, сетевого плана-графика, плана-графика или другого планирующего документа) выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 15.203 и ГОСТ В 15.208.

11.7. Порядок разработки, согласования и утверждения программы метрологического обеспечения, программы обеспечения надежности, программы эргономического обеспечения устанавливаются в соответствии с требованиями ГОСТ РВ 1.1, ГОСТ В 15.206 и ГОСТ В 29.00.002.

11.8. «Инструкции по транспортированию образца» разрабатывается, согласуется головным исполнителем проекта и утверждается заказчиком на этапе разработки рабочей конструкторской документации для изготовления опытного образца изделия.

Руководитель проекта –

_____ (_____)

Дата: «__» _____ 20__ г.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЕКТОРНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА

Построение модели поля сводится к принятию ряда предположений о законах распределения его составляющих. Знание законов распределения позволяет связать статистические характеристики при различных способах описания поля, а также получить недостающие моменты составляющих и параметры законов распределения по имеющимся (как правило, весьма ограниченным) опытными данным.

Реальное электромагнитное поле радиолокационного сигнала представляет собой случайную векторную функцию векторного же аргумента. Эта функция имеет две ортогональные составляющие в выбранном поляризованном базисе. Напряженность поля поперечной волны

$$\vec{\varepsilon} = \vec{x}_m E_m \operatorname{Re}(e^{j\omega t} e^{j\varphi_m}) + \vec{x}_c E_c \operatorname{Re}(e^{j\omega t} e^{j\varphi_c}). \quad (1)$$

Здесь \vec{x}_m и \vec{x}_c - орты составляющих соответственно основной и кросс-поляризации сигнала, перпендикулярные направлению распространения волны. В качестве \vec{x}_m и \vec{x}_c могут рассматриваться орты любых двух ортогональных составляющих поля.

Вектор комплексных амплитуд составляющих

$$\vec{\dot{E}} = \begin{bmatrix} \dot{E}_m \\ \dot{E}_c \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $\dot{E}_m = E_m e^{j\varphi_m}$; $\dot{E}_c = E_c e^{j\varphi_c}$ - узкополосные во времени процессы, поскольку ширина временного спектра флуктуаций, возникающих при распространении и отражении сигнала, значительно меньше частоты ω .

В большинстве реальных случаев (в частности, при приеме радиоимпульсов) сигнал дополнительно модулирован по амплитуде. Кроме того, зондирующие радиолокационные сигналы могут быть модулированы по частоте или пространству (например, при использовании РЛС с ЧМ или при наличии протяженных или движущихся источников). Однако в случае, когда период этой модуляции значительно меньше времени корреляции флуктуаций, возникающих в радиолокационном канале, а среда является линейной, сигнал можно считать немодулированным, относя результаты анализа структуры поля к определенному уровню модуляции. Таким образом, будем считать источник излучения точечным, неподвижным и монохроматическим. Такое приближение допустимо, если величина, обратная ширине спектра модуляции сигнала, составляет не более 30-40% радиуса корреляции передаточной функции радиолокационного канала по соответствующему аргументу.

Векторный аргумент случайного поля \vec{r} включает в себя, прежде всего, пространственные координаты точки наблюдения x , y , z и время t . Кроме этого, в число аргументов могут быть включены аналогичные величины, характеризующие свойства излучателя, а также частота f . Могут быть использованы и такие аргументы, как ширина диаграммы направленности передающей и/или приемной антенн, их ориентация и др.

Примем следующие предположения для рассматриваемой модели поля:

- поле является аддитивной смесью регулярной и случайной составляющих,
- случайная составляющая поля является гауссовой функцией с нулевым средним, стационарной по всем своим аргументам.

Известно [1], что при сделанных предположениях ортогональные квадратурные компоненты аналитических сигналов \dot{E} распределены по нормальному закону, имеют равные дисперсии и некоррелированы при совпадающих значениях аргументов, амплитуды распределены по обобщенному закону Рэлея, а фазы случайных составляющих равномерны в интервале $\pm\pi$.

Рассматриваемая модель поля, которая может быть названа нормальной моделью, хорошо согласуется с представлением об отражении сигнала от большинства реальных радиолокационных целей, имеющих сложную структуру и размеры, существенно превышающие длину волны. При этих условиях цель обычно рассматривается как совокупность многих независимых «светящихся» точек, и в силу центральной предельной теоремы теории вероятностей распределение суммы сигналов от этих точек можно считать гауссовым. В то же время выделение регулярной составляющей открывает возможность применения модели в случае, когда один из отражателей (рассеивателей) является преобладающим.

Сделанные предположения дополнительно оправдываются следующим обстоятельством. Применение условных функций распределения и использование регулярной составляющей поля в качестве параметра этих распределений часто позволяет ограничиться обоснованием сделанных предположений только для быстрых и мелкомасштабных флуктуаций поля, периоды которых не превышают интервалов измерений в реальных радиотехнических системах: во времени - нескольких секунд и в пространстве - нескольких метров или десятков метров.

Таким образом, напряженность поля

$$\begin{aligned}
 \vec{\varepsilon} &= \vec{x}_m E_m \cos(\omega t + \varphi_m) + \vec{x}_c E_c \cos(\omega t + \varphi_c) = \\
 &= \vec{x}_m (E_{m \cos} \cos \omega t - E_{m \sin} \sin \omega t) + \vec{x}_c (E_{c \cos} \cos \omega t - E_{c \sin} \sin \omega t) = \\
 &= \vec{x}_m (\varepsilon_{m \text{reg}} + \varepsilon_{m \text{ran}}) + \vec{x}_c (\varepsilon_{c \text{reg}} + \varepsilon_{c \text{ran}}) = \\
 &= \vec{x}_m \left[E_{m \text{reg}} \cos(\omega t + \varphi_{m \text{reg}}) + E_{m \text{ran}} \cos(\omega t + \varphi_{m \text{ran}}) \right] + \\
 &+ \vec{x}_c \left[E_{c \text{reg}} \cos(\omega t + \varphi_{c \text{reg}}) + E_{c \text{ran}} \cos(\omega t + \varphi_{c \text{ran}}) \right] = \\
 &= \vec{x}_m \left[(E_{m \text{reg} \cos} + E_{m \text{ran} \cos}) \cos \omega t - (E_{m \text{reg} \sin} + E_{m \text{ran} \sin}) \sin \omega t \right] + \\
 &+ \vec{x}_c \left[(E_{c \text{reg} \cos} + E_{c \text{ran} \cos}) \cos \omega t - (E_{c \text{reg} \sin} + E_{c \text{ran} \sin}) \sin \omega t \right].
 \end{aligned} \tag{3}$$

Здесь для каждой из составляющих, обозначенных индексами m - main (основная поляризация) и c - cross (кросс-поляризация) применены обозначения:

$$\begin{aligned}
 E_{\cos} &= E \cos \varphi = E_{\text{reg} \cos} + E_{\text{ran} \cos}; E_{\sin} = E \sin \varphi = E_{\text{reg} \sin} + E_{\text{ran} \sin}; \\
 E_{\text{reg} \cos} &= E_{\text{reg}} \cos \varphi_{\text{reg}}; E_{\text{reg} \sin} = E_{\text{reg}} \sin \varphi_{\text{reg}}; E_{\text{ran} \cos} = E_{\text{ran}} \cos \varphi_{\text{ran}}; E_{\text{ran} \sin} = E_{\text{ran}} \sin \varphi_{\text{ran}}; \\
 E &= \sqrt{E_{\cos}^2 + E_{\sin}^2} = \sqrt{(E_{\text{reg} \cos} + E_{\text{ran} \cos})^2 + (E_{\text{reg} \sin} + E_{\text{ran} \sin})^2} = \\
 &= \sqrt{E_{\text{reg}}^2 + E_{\text{ran}}^2 + E_{\text{reg}} E_{\text{ran}} \cos(\varphi_{\text{reg}} - \varphi_{\text{ran}})}; \\
 \varphi &= \arctg \frac{E_{\sin}}{E_{\cos}} = \arctg \frac{E_{\text{reg} \sin} + E_{\text{ran} \sin}}{E_{\text{reg} \cos} + E_{\text{ran} \cos}} = \arctg \frac{E_{\text{reg}} \sin \varphi_{\text{reg}} + E_{\text{ran}} \sin \varphi_{\text{ran}}}{E_{\text{reg}} \cos \varphi_{\text{reg}} + E_{\text{ran}} \cos \varphi_{\text{ran}}}.
 \end{aligned}$$

Все величины E и φ с различными индексами являются функциями векторного аргумента $\vec{r} = \{t, x, y, z, f, \dots\}$.

Нормальное стационарное векторное поле полностью определяется своей двумерной плотностью вероятности, а она, в свою очередь, - регулярной составляющей и матрицей ковариантных функций

$$B_\varepsilon(\Delta\vec{r}) = \begin{vmatrix} B_{\varepsilon m}(\Delta\vec{r}) & B_{\varepsilon mc}(\Delta\vec{r}) \\ B_{\varepsilon cm}(\Delta\vec{r}) & B_{\varepsilon c}(\Delta\vec{r}) \end{vmatrix} = \\ = \begin{vmatrix} f_{\varepsilon m}(\Delta\vec{r}) \cos[\vec{\omega}\Delta\vec{r} + \alpha_{\varepsilon m}(\Delta\vec{r})] & f_{\varepsilon mc}(\Delta\vec{r}) \cos[\vec{\omega}\Delta\vec{r} + \alpha_{\varepsilon mc}(\Delta\vec{r})] \\ f_{\varepsilon mc}(-\Delta\vec{r}) \cos[-\vec{\omega}\Delta\vec{r} + \alpha_{\varepsilon mc}(-\Delta\vec{r})] & f_{\varepsilon c}(\Delta\vec{r}) \cos[\vec{\omega}\Delta\vec{r} + \alpha_{\varepsilon c}(\Delta\vec{r})] \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Здесь f и α - соответственно модуль и фаза ковариантных функций: отдельных составляющих (с индексами m и c) и взаимной ковариантной функции (с индексом mc). Под вектором $\Delta\vec{r}$ понимается совокупность приращений аргументов поля $\{\Delta t, \Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta f, \dots\}$. Векторная частота $\vec{\omega}$ представляет собой совокупность аргументов кратного преобразования Фурье поля по всем переменным, то есть спектральной плотности поля, а скалярное произведение $\vec{\omega}\Delta\vec{r} = \omega_t \Delta t + \omega_x \Delta x + \dots$

Двумерная плотность распределения квадратурных составляющих

$$W(\vec{E}, \vec{r}, \Delta\vec{r}) = \frac{\exp\left[-(\vec{E} - \vec{M}_E) B_E^{-1} (\vec{E} - \vec{M}_E) / 2\right]}{(2\pi)^4 (\det B_E)^{1/2}}, \quad (5)$$

где

$$\vec{E} = \begin{bmatrix} E_{m \cos}(\vec{r}) \\ E_{m \sin}(\vec{r}) \\ E_{m \cos}(\vec{r} + \Delta\vec{r}) \\ E_{m \sin}(\vec{r} + \Delta\vec{r}) \\ E_{c \cos}(\vec{r}) \\ E_{c \sin}(\vec{r}) \\ E_{c \cos}(\vec{r} + \Delta\vec{r}) \\ E_{c \sin}(\vec{r} + \Delta\vec{r}) \end{bmatrix}; \quad \vec{M}_E = \begin{bmatrix} E_{m \text{reg} \cos}(\vec{r}) \\ E_{m \text{reg} \sin}(\vec{r}) \\ E_{m \text{reg} \cos}(\vec{r} + \Delta\vec{r}) \\ E_{m \text{reg} \sin}(\vec{r} + \Delta\vec{r}) \\ E_{c \text{reg} \cos}(\vec{r}) \\ E_{c \text{reg} \sin}(\vec{r}) \\ E_{c \text{reg} \cos}(\vec{r} + \Delta\vec{r}) \\ E_{c \text{reg} \sin}(\vec{r} + \Delta\vec{r}) \end{bmatrix}; \quad (6)$$

$$\vec{B}_E = \sigma^2 \begin{vmatrix} 1 & 0 & \rho_m(\Delta\vec{r}) & \lambda_m(\Delta\vec{r}) & \eta\rho_{mc}(0) & \eta\lambda_{mc}(0) & \eta\rho_{mc}(\Delta\vec{r}) & \eta\lambda_{mc}(\Delta\vec{r}) \\ 0 & 1 & -\lambda_m(\Delta\vec{r}) & \rho_m(\Delta\vec{r}) & -\eta\lambda_{mc}(0) & \eta\rho_{mc}(0) & -\eta\lambda_{mc}(\Delta\vec{r}) & \eta\rho_{mc}(\Delta\vec{r}) \\ \rho_m(\Delta\vec{r}) & -\lambda_m(\Delta\vec{r}) & 1 & 0 & \eta\rho_{mc}(-\Delta\vec{r}) & \eta\lambda_{mc}(-\Delta\vec{r}) & \eta\rho_{mc}(0) & \eta\lambda_{mc}(0) \\ \lambda_m(\Delta\vec{r}) & \rho_m(\Delta\vec{r}) & 0 & 1 & -\eta\lambda_{mc}(-\Delta\vec{r}) & \eta\rho_{mc}(-\Delta\vec{r}) & -\eta\lambda_{mc}(0) & \eta\rho_{mc}(0) \\ \eta\rho_{mc}(0) & -\eta\lambda_{mc}(0) & \eta\rho_{mc}(-\Delta\vec{r}) & -\eta\lambda_{mc}(-\Delta\vec{r}) & \eta^2 & 0 & \eta^2\rho_c(\Delta\vec{r}) & \eta^2\lambda_c(\Delta\vec{r}) \\ \eta\lambda_{mc}(0) & \eta\rho_{mc}(0) & \eta\lambda_{mc}(-\Delta\vec{r}) & \eta\rho_{mc}(-\Delta\vec{r}) & 0 & \eta^2 & -\eta^2\lambda_c(\Delta\vec{r}) & \eta^2\rho_c(\Delta\vec{r}) \\ \eta\rho_{mc}(\Delta\vec{r}) & -\eta\lambda_{mc}(\Delta\vec{r}) & \eta\rho_{mc}(0) & -\eta\lambda_{mc}(0) & \eta^2\rho_c(\Delta\vec{r}) & -\eta^2\lambda_c(\Delta\vec{r}) & \eta^2 & 0 \\ \eta\lambda_{mc}(\Delta\vec{r}) & \eta\rho_{mc}(\Delta\vec{r}) & \eta\lambda_{mc}(0) & \eta\rho_{mc}(0) & \eta^2\lambda_c(\Delta\vec{r}) & \eta^2\rho_c(\Delta\vec{r}) & 0 & \eta^2 \end{vmatrix}. \quad (7)$$

Здесь $\sigma^2 = \sigma_{m \cos}^2 = \sigma_{m \sin}^2 = \overline{E_{m \text{ran} \cos}^2} = \overline{E_{m \text{ran} \sin}^2}$ - дисперсия квадратурных компонентов напряженности поля основной поляризации;

$\sigma_{c \cos}^2 = \sigma_{c \sin}^2 = \overline{E_{c \text{ran} \cos}^2} = \overline{E_{c \text{ran} \sin}^2}$ - дисперсия квадратурных компонентов напряженности поля кросс-поляризации;

$$\eta^2 = \sigma_{c \cos}^2 / \sigma_{m \cos}^2 = \sigma_{c \sin}^2 / \sigma_{m \sin}^2;$$

$\rho_m, \lambda_m, \rho_c, \lambda_c, \rho_{mc}, \lambda_{mc}$ - нормированные авто- и взаимные ковариантные функции составляющих вектора напряженности поля, определяемые равенствами:

$$\begin{aligned}
\rho_m(\Delta\vec{r}) &= \frac{1}{\sigma^2} \overline{E_{mran\cos}(\vec{r})E_{mran\cos}(\vec{r} + \Delta\vec{r})} = \frac{1}{\sigma^2} \overline{E_{mran\sin}(\vec{r})E_{mran\sin}(\vec{r} + \Delta\vec{r})}; \\
\lambda_m(\Delta\vec{r}) &= \frac{1}{\sigma^2} \overline{E_{mran\cos}(\vec{r})E_{mran\sin}(\vec{r} + \Delta\vec{r})} = -\frac{1}{\sigma^2} \overline{E_{mran\sin}(\vec{r})E_{mran\cos}(\vec{r} + \Delta\vec{r})}; \\
\rho_c(\Delta\vec{r}) &= \frac{1}{\eta^2\sigma^2} \overline{E_{cran\cos}(\vec{r})E_{cran\cos}(\vec{r} + \Delta\vec{r})} = \frac{1}{\eta^2\sigma^2} \overline{E_{cran\sin}(\vec{r})E_{cran\sin}(\vec{r} + \Delta\vec{r})}; \\
\lambda_c(\Delta\vec{r}) &= \frac{1}{\eta^2\sigma^2} \overline{E_{cran\cos}(\vec{r})E_{cran\sin}(\vec{r} + \Delta\vec{r})} = -\frac{1}{\eta^2\sigma^2} \overline{E_{cran\sin}(\vec{r})E_{cran\cos}(\vec{r} + \Delta\vec{r})}; \\
\rho_{mc}(\Delta\vec{r}) &= \frac{1}{\eta\sigma^2} \overline{E_{mran\cos}(\vec{r})E_{cran\cos}(\vec{r} + \Delta\vec{r})} = \frac{1}{\eta\sigma^2} \overline{E_{mran\sin}(\vec{r})E_{cran\sin}(\vec{r} + \Delta\vec{r})}; \\
\lambda_{mc}(\Delta\vec{r}) &= \frac{1}{\eta\sigma^2} \overline{E_{mran\cos}(\vec{r})E_{cran\sin}(\vec{r} + \Delta\vec{r})} = -\frac{1}{\eta\sigma^2} \overline{E_{mran\sin}(\vec{r})E_{cran\cos}(\vec{r} + \Delta\vec{r})}; \\
\rho_m(0) &= \rho_c(0) = 1; \lambda_m(0) = \lambda_c(0) = 0.
\end{aligned}$$

Учитывая эти соотношения, легко показать, что в матрице (4)

$$\begin{aligned}
f_{em} &= \sigma^2 \sqrt{\rho_m^2 + \lambda_m^2}; \alpha_{em} = \arctg(\lambda_m / \rho_m); \\
f_{ec} &= \sigma^2 \eta^2 \sqrt{\rho_c^2 + \lambda_c^2}; \alpha_{ec} = \arctg(\lambda_c / \rho_c); \\
f_{emc} &= \sigma^2 \eta \sqrt{\rho_{mc}^2 + \lambda_{mc}^2}; \alpha_{emc} = \arctg(\lambda_{mc} / \rho_{mc})
\end{aligned} \tag{8}$$

и, следовательно,

$$\begin{aligned}
\rho_m &= \frac{1}{\sigma^2} f_{em} \cos \alpha_{em}; \lambda_m = \frac{1}{\sigma^2} f_{em} \sin \alpha_{em}; \\
\rho_c &= \frac{1}{\sigma^2 \eta^2} f_{ec} \cos \alpha_{ec}; \lambda_c = \frac{1}{\sigma^2 \eta^2} f_{ec} \sin \alpha_{ec}; \\
\rho_{mc} &= \frac{1}{\sigma^2 \eta} f_{emc} \cos \alpha_{emc}; \lambda_{mc} = \frac{1}{\sigma^2 \eta} f_{emc} \sin \alpha_{emc}.
\end{aligned} \tag{9}$$

Таким образом, для полной характеристики векторного поля должны использоваться следующие его параметры.

1. Мощность $P = (E_{mreg}^2 / 2) + \sigma^2$, характеризующая общую мощность (энергию) поля сигналов основной поляризации. Эту величину можно считать не зависящей от \vec{r} .

2. Отношение мощности регулярной и случайной составляющих поля основной поляризации $g^2 = E_{mreg}^2 / (2\sigma^2)$. Эту важную величину, которая может в значительной степени характеризовать когерентность сигнала, также можно считать не зависящей от \vec{r} .

3. Фаза регулярной составляющей поля основной поляризации $\varphi_{mreg}(\vec{r})$. В наиболее интересном случае плоской волны регулярной составляющей вместо $\varphi_{mreg}(\vec{r})$ целесообразно использовать величину разности фаз

$$\Delta\varphi_{mreg}(\Delta\vec{r}) = \varphi_{mreg}(\vec{r} + \Delta\vec{r}) - \varphi_{mreg}(\vec{r}) = \frac{2\pi}{\lambda} (\Delta x \sin \alpha_m \cos \beta_m + \Delta y \cos \alpha_m \cos \beta_m + \Delta z \sin \beta_m). \tag{10}$$

Здесь α_m и β_m - углы прихода плоской волны основной поляризации в горизонтальной и вертикальной плоскостях: α_m - азимут относительно оси y , β_m - угол места относительно плоскости xOy ; Δx , Δy , Δz - разнесение точек приема по осям координат.

4. Отношение мощности регулярных составляющих кросс- и основной поляризации $\xi^2 = E_{creg}^2 / E_{mreg}^2$, η^2 - то же для случайных составляющих.

5. Фаза регулярной составляющей кросс-поляризации $\varphi_{creg}(\vec{r})$ и связанные с ней величины $\Delta\varphi_{creg}$, α_c и β_c . Обычно можно считать, что углы прихода регулярных

составляющих основной и кросс-поляризации одинаковы: $\alpha_m = \alpha_c = \alpha$; $\beta_m = \beta_c = \beta$. В этом случае $\Delta\varphi_{mreg}(\Delta\vec{r}) = \Delta\varphi_{creg}(\Delta\vec{r})$. Однако, в общем случае следует считаться с тем, что углы прихода могут быть различными.

6. Разность фаз регулярных составляющих основной и кросс-поляризации при совпадающих значениях аргументов $\psi = \varphi_{mreg}(\vec{r}) - \varphi_{creg}(\vec{r})$. При $\alpha_m \neq \alpha_c$ и $\beta_m \neq \beta_c$ величина ψ зависит от \vec{r} и поле, вообще говоря, нельзя считать стационарным. Однако, если нестационарность вызвана только этим обстоятельством, то поле может иметь стационарные приращения и рассматриваемая модель остается справедливой (см. также далее, п. 10). При проведении практических расчетов следует либо принимать $\psi = 0$, либо считать эту величину для любой точки наблюдения (например, для $\vec{r} = 0$) равновероятной в интервале $\pm\pi$ с нулевым средним, а в других точках вычислять $\psi(\vec{r})$ по формуле, полученной вычитанием двух выражений (10), в первое из которых подставляются величины α_m, β_m , а в другое - α_c, β_c .

7. Модули нормированных коэффициентов корреляции случайных составляющих основной и кросс-поляризации

$$f_m(\Delta\vec{r}) = f_{em}(\Delta\vec{r}) / \sigma^2; f_c(\Delta\vec{r}) = f_{ec}(\Delta\vec{r}) / (\sigma^2 \eta^2).$$

Будем полагать, что корреляционные функции факторизуются и могут быть аппроксимированы произведениями гауссовых кривых по отдельным аргументам. При $\alpha_m = \alpha_c = \beta_m = \beta_c = 0$

$$\begin{aligned} f_m(\Delta\vec{r}) &= \exp\left[-\left(\frac{\Delta x}{d_{0m}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z}{z_{0m}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{\tau_{0m}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f}{f_{0m}}\right)^2\right]; \\ f_c(\Delta\vec{r}) &= \exp\left[-\left(\frac{\Delta x}{d_{0c}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z}{z_{0c}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{\tau_{0c}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f}{f_{0c}}\right)^2\right]; \end{aligned} \quad (11)$$

где d_0 - поперечный к трассе горизонтальный пространственный радиус огибающей функции корреляции на уровне $1/e$; z_0, τ_0, f_0 - соответственно высотный, временной и частотный радиусы корреляции, второй индекс означает вид поляризации. Продольный интервал корреляции при малой ширине углового спектра рассеянных сигналов (что типично для радиолокации) много больше поперечного, поэтому соответствующий член в выражениях (11) отсутствует.

При $\alpha_m, \alpha_c, \beta_m, \beta_c$, отличающихся от нуля (что равносильно повороту системы координат) радиусы корреляции вдоль осей x и z обратно пропорциональны косинусам соответствующих углов (кроме малых участков углов вблизи 90 градусов) [2], поэтому выражения (11) принимают вид

$$\begin{aligned} f_m(\Delta\vec{r}) &= \exp\left[-\left(\frac{\Delta x \cos \alpha_m}{d_{0m}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z \cos \beta_m}{z_{0m}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{\tau_{0m}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f}{f_{0m}}\right)^2\right]; \\ f_c(\Delta\vec{r}) &= \exp\left[-\left(\frac{\Delta x \cos \alpha_c}{d_{0c}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z \cos \beta_c}{z_{0c}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{\tau_{0c}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f}{f_{0c}}\right)^2\right]. \end{aligned} \quad (12)$$

8. Модуль нормированного коэффициента взаимной корреляции случайных составляющих основной и кросс-поляризации $f_{mc}(\Delta\vec{r}) = f_{emc}(\Delta\vec{r}) / (\eta\sigma^2)$. Будем полагать, что при $\alpha_m \approx \alpha_c \approx \beta_m \approx \beta_c \approx 0$ взаимная корреляционная функция, как и для отдельных компонентов поля, аппроксимируется произведением гауссовых кривых, но сдвинутых относительно нулевых значений аргументов на некоторые величины $\delta x, \delta z, \delta t, \delta f$. Тогда формула (12) переписется в виде:

$$f_{mc}(\Delta\vec{r}) = R_{\max} \exp\left[-\left(\frac{\Delta x \cos \alpha - \delta x}{d_{0mc}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z \cos \beta - \delta z}{z_{0mc}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t - \delta t}{\tau_{0mc}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f - \delta f}{f_{0mc}}\right)^2\right]. \quad (13)$$

Углы α и β характеризуют положение взаимного углового энергетического спектра рассеянных волн основной и кросс-поляризации. Вследствие слабой зависимости результата от этих углов в пределах небольших их изменений в качестве α и β может использоваться направление прихода регулярной составляющей любой поляризации. Так же, как и (12), выражение (13) справедливо для любых α и β , кроме малых участков углов вблизи $\alpha = 90^\circ$ и $\beta = 90^\circ$.

9. Фазовые расстройки между регулярными и случайными составляющими для каждой поляризации

$$\gamma_m(\Delta\vec{r}) = \Delta\varphi_{mreg}(\Delta\vec{r}) - \alpha_{em}(\Delta\vec{r}); \gamma_c(\Delta\vec{r}) = \Delta\varphi_{creg}(\Delta\vec{r}) - \alpha_{ec}(\Delta\vec{r}). \quad (14)$$

Фазовая расстройка для каждого компонента может быть выражена через угловые расстройки $\delta\alpha_{m,c}$ и $\delta\beta_{m,c}$, представляющие собой разность между углами прихода регулярных составляющих и средними углами прихода случайных составляющих. Считая, что ширина угловых спектров случайных составляющих в обеих плоскостях невелика, можно полагать, что средние углы прихода этих составляющих связаны с величинами $\alpha_{em,c}$ соотношениями типа (10). Принимаем также

$$\sin\delta\alpha_{m,c} \approx \delta\alpha_{m,c}; \sin\delta\beta_{m,c} \approx \delta\beta_{m,c}; \cos\delta\alpha_{m,c} \approx \cos\delta\beta_{m,c} \approx 1.$$

При этих предположениях получим:

$$\begin{aligned} \gamma_{m,c}(\Delta\vec{r}) \approx & \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x (\delta\alpha_{m,c} \cos\alpha_{m,c} \cos\beta_{m,c} - \delta\beta_{m,c} \sin\alpha_{m,c} \sin\beta_{m,c} + \delta\alpha_{m,c} \delta\beta_{m,c} \cos\alpha_{m,c} \cos\beta_{m,c}) - \\ & - \frac{2\pi}{\lambda} \Delta y (\delta\alpha_{m,c} \sin\alpha_{m,c} \cos\beta_{m,c} + \delta\beta_{m,c} \cos\alpha_{m,c} \sin\beta_{m,c} + \delta\alpha_{m,c} \delta\beta_{m,c} \sin\alpha_{m,c} \sin\beta_{m,c}) + \\ & + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta z \delta\beta_{m,c} \cos\beta_{m,c}. \end{aligned}$$

Здесь $\delta\alpha_{m,c} = \alpha_{m,c} - \overline{(\alpha_{m,c})_{ran}}$; $\delta\beta_{m,c} = \beta_{m,c} - \overline{(\beta_{m,c})_{ran}}$. В случае $\beta_{m,c} = (\beta_{m,c})_{ran} = 0$

$$\gamma_{m,c}(\Delta\vec{r}) \approx \frac{2\pi}{\lambda} \delta\alpha_{m,c} (\Delta x \cos\alpha_{m,c} - \Delta y \sin\alpha_{m,c}). \quad (15)$$

10. Фазовая расстройка между разностью фаз регулярных составляющих основной и кросс-поляризации и фазой взаимной корреляционной функции обоих сигналов

$$\begin{aligned} \gamma_{mc}(\Delta\vec{r}) = \Delta\varphi_{mc}(\Delta\vec{r}) + \psi - \alpha_{enc}(\Delta\vec{r}) = \Delta\varphi_{mc}(\Delta\vec{r}) + \psi - [\alpha_{em}(\Delta\vec{r}) + \alpha_{enc}(0)] = \\ = \gamma_m(\Delta\vec{r}) + \psi - \alpha_{enc}(0), \end{aligned} \quad (16)$$

где $\alpha_{enc}(0)$ представляет собой фазу взаимной корреляционной функции при совпадающих значениях аргументов (в отличие от автокорреляционной функции, она может не быть равной нулю). Для стационарно связанных процессов величина $\alpha_{enc}(0)$ не зависит от \vec{r} , что фактически означает совпадение средних углов прихода случайных составляющих основной и кросс-поляризации. В этом случае

$$\delta\alpha_c = \alpha_c - \alpha_m + \delta\alpha_m; \delta\beta_c = \beta_c - \beta_m + \delta\beta_m. \quad (17)$$

Все параметры, характеризующие нормальную (гауссову) модель векторного поля, перечислены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры нормальной модели векторного поля

| Обозначение | Наименование |
|-------------|--|
| P | Общая мощность поля основной поляризации |
| g | Параметр когерентности поля основной поляризации |
| α_m | Угол прихода регулярной составляющей сигнала основной поляризации в горизонтальной плоскости |
| ξ | Модуль поляризационного коэффициента - отношение амплитуд регулярных составляющих сигналов кросс- и основной поляризации |
| α_c | Угол прихода регулярной составляющей сигнала кросс-поляризации в горизонтальной плоскости |
| ψ | Фаза поляризационного коэффициента - разность фаз регулярных составляющих |

| | |
|------------------|---|
| | сигналов основной и кросс-поляризации при совпадающих значениях аргументов |
| d_{0m} | Поперечный горизонтальный пространственный радиус огибающей функции корреляции сигнала основной поляризации на уровне $1/e$ |
| d_{0c} | То же для сигнала кросс-поляризации |
| d_{0mc} | То же функции взаимной корреляции сигналов основной и кросс-поляризации (половина ширины взаимной корреляционной функции) |
| δx | Смещение максимума поперечной взаимной корреляционной функции сигналов основной и кросс-поляризации |
| η | Отношение средних квадратических отклонений сигналов кросс- и основной поляризации |
| $\delta\alpha_m$ | Угловая расстройка регулярной и случайной составляющих сигнала основной поляризации в горизонтальной плоскости |
| f_{0m} | Радиус частотной корреляции сигнала основной поляризации на уровне $1/e$ |
| f_{0c} | То же сигнала кросс-поляризации |
| f_{0mc} | То же функции взаимной корреляции сигналов основной и кросс-поляризации (половина ширины взаимной корреляционной функции) |
| τ_{0m} | Радиус временной корреляции сигнала основной поляризации на уровне $1/e$ |
| τ_{0c} | То же сигнала кросс-поляризации |
| τ_{0mc} | То же функции взаимной корреляции сигналов основной и кросс-поляризации (половина ширины взаимной корреляционной функции) |
| β_m | Угол прихода регулярной составляющей сигнала основной поляризации в вертикальной плоскости |
| β_c | То же сигнала кросс-поляризации |
| z_{0m} | Высотный пространственный радиус огибающей функции корреляции сигнала основной поляризации на уровне $1/e$ |
| z_{0c} | То же сигнала кросс-поляризации |
| z_{0mc} | То же функции взаимной корреляции сигналов основной и кросс-поляризации (половина ширины взаимной корреляционной функции) |
| δz | Смещение максимума высотной взаимной корреляционной функции сигналов основной и кросс-поляризации |
| $\delta\beta_m$ | Угловая расстройка регулярной и случайной составляющих сигнала основной поляризации в вертикальной плоскости |
| R_{\max} | Произведение максимальных значений коэффициентов корреляции сигналов основной и кросс-поляризации по различным аргументам |

При отсутствии данных о различии ряда параметров сигналов основной и кросс-поляризации приходится предполагать, что

$$\alpha_m = \alpha_c = \alpha; \beta_m = \beta_c = \beta; d_{0m} = d_{0c} = d_{0mc} = d_0; z_{0m} = z_{0c} = z_{0mc} = z_0; \\ \delta x = \delta z = 0; f_{0m} = f_{0c} = f_{0mc} = f_0; \tau_{0m} = \tau_{0c} = \tau_{0mc} = \tau_0.$$

Можно также допустить $\psi = 0$, $R_{\max} = 1$, хотя это наименее оправдано. При указанных предположениях количество параметров для характеристики векторного поля сокращается до 12, от случая скалярного поля этот набор отличается тем, что используются дополнительные величины ξ и η .

Для определения параметров модели поля могут проводиться специальные экспериментальные исследования. Однако, большинство перечисленных параметров в процессе экспериментов непосредственно не измеряется. Чаще всего опытным путем исследуются огибающая и фаза (разность фаз) принятых сигналов или их различные нелинейные функции. Аналитически связать статистические характеристики этих функций с параметрами модели трудно, это проделано лишь для некоторых частных случаев. Например, двумерная плотность вероятности амплитуды и фазы [3]

$$W(E_1, E_2, \varphi_1, \varphi_2, \vec{r}, \Delta\vec{r}) = W_0 AB, \quad (18)$$

где W_0 - распределение W при отсутствии регулярной составляющей поля, A - постоянный множитель, зависящий только от регулярной составляющей и элементов ковариантной матрицы, B - множитель, определяемый, в основном, фазовыми соотношениями регулярной и случайной составляющих:

$$W_0 = \frac{V_1 V_2}{2\pi^2 \sigma^2 (1-f_\varepsilon^2)} \exp \left\{ -\frac{1}{1-f_\varepsilon^2} [V_1^2 + V_2^2 - 2f_\varepsilon V_1 V_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2 - \alpha_\varepsilon)] \right\};$$

$$A = \exp \left\{ -\frac{2g^2}{1-f_\varepsilon^2} [1 - b_\varepsilon \cos(\Delta\varphi_{reg} - \alpha_\varepsilon)] \right\};$$

$$B = \exp \left\{ \frac{2g^2}{1-f_\varepsilon^2} [V_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_{reg1}) + V_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_{reg2}) - f_\varepsilon V_1 \cos(\varphi_1 + \varphi_{reg2} - \alpha_\varepsilon) - f_\varepsilon V_2 \cos(\varphi_2 + \varphi_{reg1} - \alpha_\varepsilon)] \right\}.$$

Здесь индексами 1 и 2 обозначены значения переменных при двух значениях аргумента $(\vec{r}, \vec{r} + \Delta\vec{r})$; $V_1 = E_1 / (\sigma\sqrt{2})$; $V_2 = E_2 / (\sigma\sqrt{2})$; остальные обозначения те же, что и ранее. Принято также, что поле стационарно, регулярная составляющая представляет собой плоскую немодулированную волну, так что

$$E_{reg}(\vec{r}) = E_{reg}(\vec{r} + \Delta\vec{r}) = E_{reg}; \Delta\varphi_{reg}(\Delta\vec{r}) = \varphi_{reg}(\vec{r}) - \varphi_{reg}(\vec{r} + \Delta\vec{r}).$$

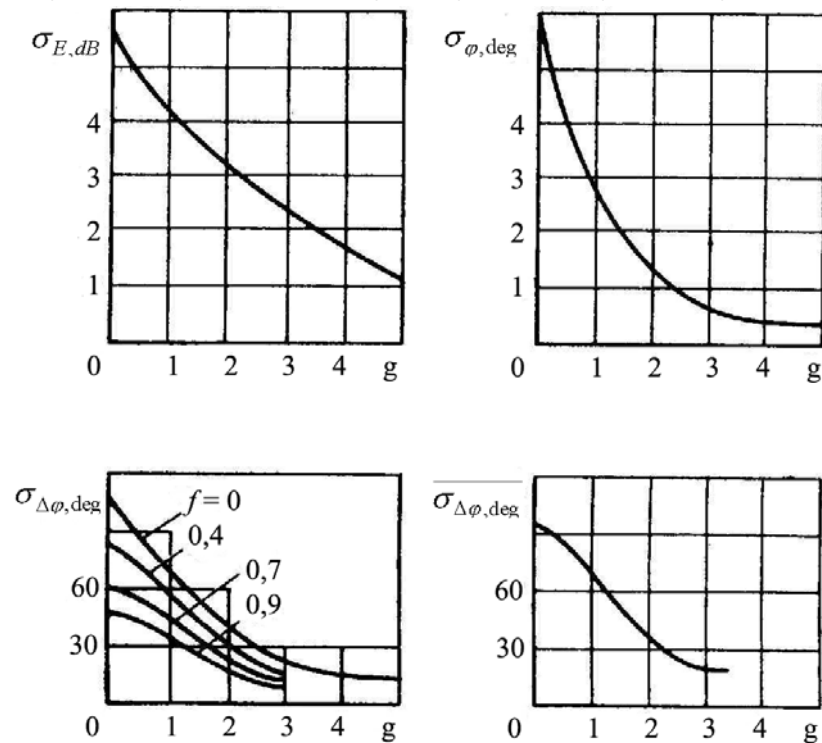


Рис. 1. Параметр когерентности и среднее квадратическое отклонение флуктуаций амплитуды, фазы, разности фаз и средняя разность фаз при равновероятном значении фазовой расстройки

Зная распределение (18), не представляет принципиальных трудностей записать общие формулы для ковариантных функций амплитуды, фазы и любых их преобразований. Однако, попытки вычислить интегралы часто остаются безуспешными, а в случае, когда такое вычисление оказывается возможным, результаты обычно чрезвычайно громоздки и еще менее наглядны, чем исходные интегральные соотношения. Поэтому на рис. 1-5 приведены некоторые важные для практики результаты вычислений статистических характеристик, проведенных на ЭВМ методом статистических испытаний. Буквами σ и R обозначены соответственно среднее квадратическое отклонение и нормированный коэффициент корреляции для величин, указанных в индексе. Через E, dB обозначена амплитуда, выраженная в децибелах (например, величина сигнала на выходе логарифмического приемника); $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$. Интервал однозначности фазовых измерений принят равным $\pm\pi$.

При другом интервале однозначности масштаб фазы (разности фаз) должен быть соответственно изменен.

Обращает на себя внимание сильная зависимость характеристик поля от фазовой расстройки или фазы корреляционной функции α_ϵ , что имеет место при несимметричных спектрах сигналов. Опытные данные [2,4] подтверждают необходимость учета несимметрии спектров при анализе структуры реального электромагнитного поля, особенно на закрытых и полукрытых трассах с рассеянием. Наиболее типичны небольшие изменения положения углового спектра рассеянных сигналов относительно угла прихода регулярной составляющей, что при разнесении приемных антенн (или элементов одной антенны), значительно превышающем длину волны, приводит к большим значениям γ даже тогда, когда цель или источник излучения находится на равносигнальном направлении.

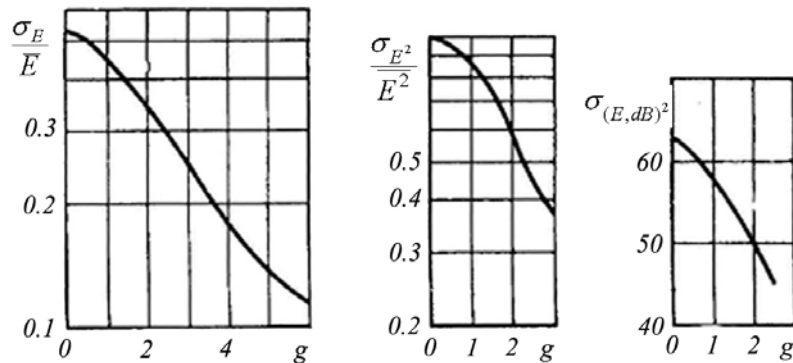


Рис. 2. Зависимость флуктуаций амплитуды сигнала и ее нелинейных функций от соотношения регулярной и случайной составляющих

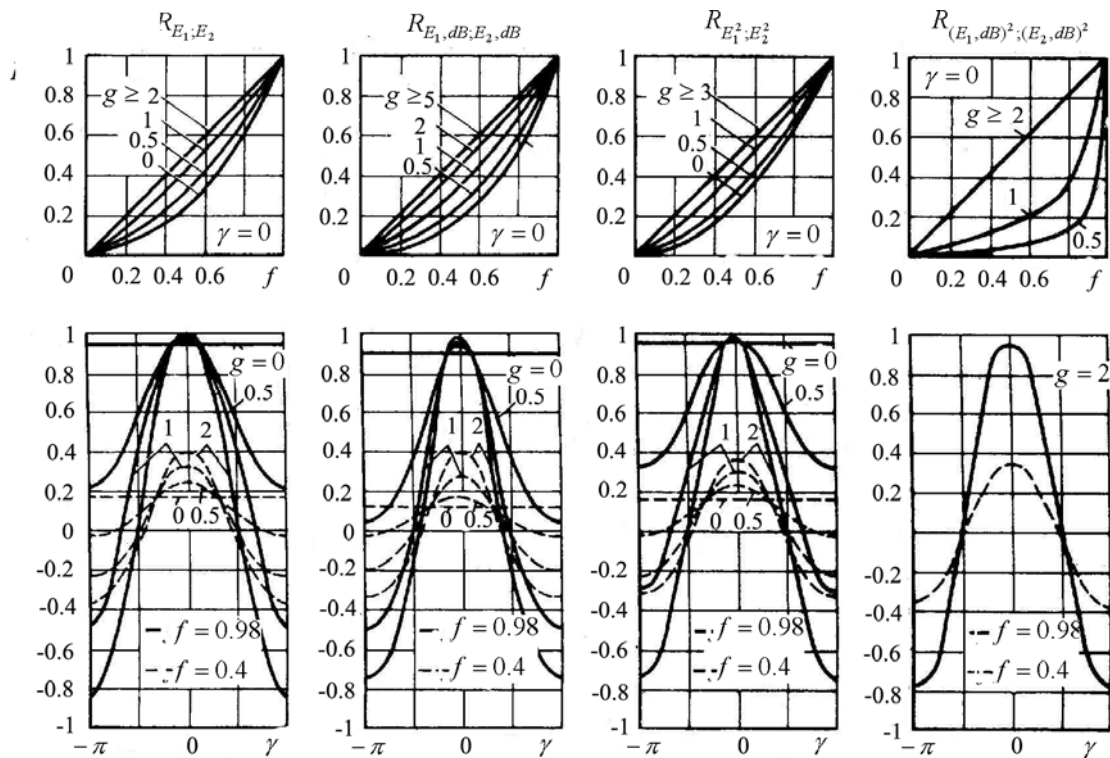


Рис. 3. Коэффициенты корреляции уровня сигнала при разнесенном приеме

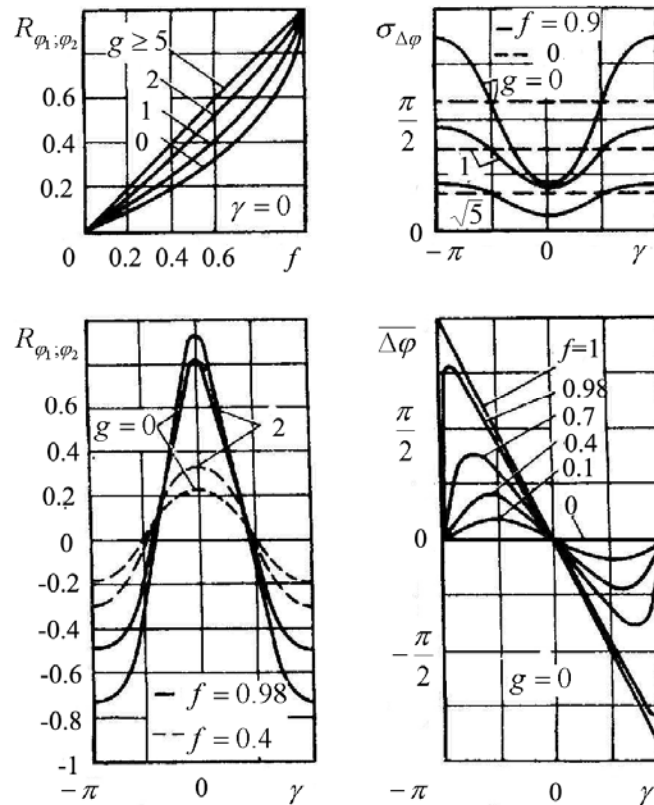


Рис. 4. Статистические характеристики фазы и разности фаз при разнесенном приеме

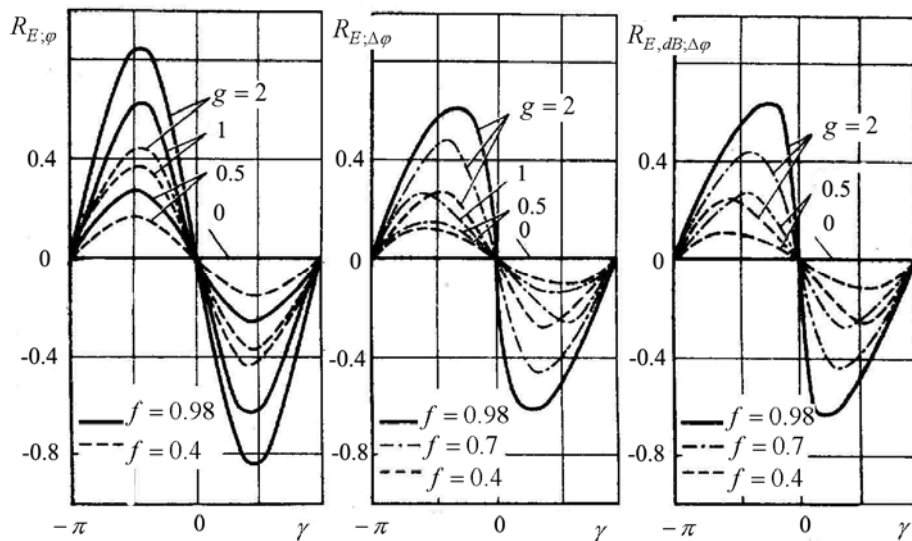


Рис. 5. Коэффициенты корреляции параметров амплитуды и фазы поля с несимметричным спектром

Приведенные соотношения и графики могут быть использованы для восстановления (определения) параметров нормальной модели по опытным данным. Вначале целесообразно определить параметр g по одной из кривых на рис. 1 или 2, затем, при совместном использовании двух других измеренных характеристик, найти f и γ . Наличие большого числа одновременно измеренных параметров сигналов может быть использовано для проверки справедливости нормальной модели.

Список использованной литературы

1. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. В 3-х кн. - 2-е изд. - М.: Сов. радио, 1974-1976. - Кн. 1, 1974. - 552 с.
2. Шарыгин Г.С. Статистическая структура поля УКВ за горизонтом. - М.: Радио и связь, 1983. - 140 с.
3. Миддлтон Д. Введение в статистическую теорию связи. Т. 1: Пер. с англ. Под ред. Б.Р.Левина. - М.: Сов. радио, 1961. - 782 с.
4. Экспериментальное исследование структуры электромагнитного поля при распространении радиоволн сантиметрового диапазона над земной поверхностью / Г.С.Шарыгин, Ю.М.Полищук, Н.М.Лесков, В.Ф.Слюсарчук. Под ред. Г.С.Шарыгина. - Томск: Изд-во Томского ун-та, 1970. - 127 с.