

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра радиотехнических систем

В.П.Денисов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к курсовому проектированию по дисциплинам  
«Радиотехнические системы», «Радиолокационные системы»

2012

## Содержание

1. ВВЕДЕНИЕ .....	4
2. ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА .....	5
2.1. Техническое задание .....	5
2.2. Организация работы над заданием .....	5
2.3. Защита курсовых работ .....	8
3. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....	9
3.1. Общие требования .....	9
3.2. Содержание пояснительной записки .....	10
3.2.1. Реферат .....	10
3.2.2. Задание на проектирование .....	11
3.2.3. Анализ технического задания и выбор метода выполнения его требований .....	11
3.2.4. Расчет технических параметров проектируемой радиотехнической системы .....	12
3.2.5. Составление электрической функциональной схемы, описание ее работы, расчет основных технических требований к ее элементам .....	13
3.2.6. Составление и расчет электрической принципиальной схемы узла (блока) РТС .....	14
3.2.7. Заключение .....	15
4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА .....	15
4.1. Требования к оформлению чертежей .....	15
4.2. Требования к оформлению пояснительной записки .....	16
5. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ .....	22
5.1. Назначение .....	23

5.2. Зона обзора .....	26
5.3. Измеряемые координаты .....	27
5.4. Точность измерения координат .....	27
5.5. Разрешающая способность .....	28
6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ И РАСЧЕТУ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЛОКАЦИОН- НЫХ СТАНЦИЙ .....	29
6.1. Длина волны .....	30
6.2. Параметры обзора .....	33
6.3. Чувствительность приемного устройства.....	35
6.4. Характеристики импульсного излучения .....	35
6.5. Характеристики непрерывного излучения с частотной модуляцией .....	37
7. ПАРАМЕТРЫ НЕКОТОРЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ, ГЕНЕРА- ТОРОВ И УСТРОЙСТВ СЖАТИЯ ИМПУЛЬСОВ .....	43
8. ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ .....	51
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	63
ФОРМА ЗАДАНИЯ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ .....	66
ФОРМЫ И ОСНОВНЫЕ НАДПИСИ ДОКУМЕНТОВ .....	69

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Курсовое проектирование по радиотехническим системам (РТС) является заключительным этапом обучения студентов по системным курсам, читаемым кафедрой РТС для студентов специальности «Радиотехника».

При проектировании современной радиотехнической системы важнейшую роль играет разработка ее структурной схемы, обеспечивающей связь и совместное функционирование отдельных устройств в соответствии с выбранными принципами работы системы в целом.

Перед инженером, начинающим расчет, обычно возникает ряд вопросов, на которые трудно найти готовый ответ. Например, какие параметры системы нужно рассчитывать, а какими задаться и как это сделать. Трудно бывает обоснованно определить необходимый уровень подробности описания процессов, точности расчета и т.д. Другими словами, эти вопросы касаются построения модели, обоснования ограничений и выбора аппарата для расчета.

Целью курсового проектирования является овладение методикой преодоления указанных трудностей, предусматривающее расширение и закрепление теоретических знаний, полученных при изучении названного выше и смежных с ним курсов, более глубокое изучение одной из разновидностей радиосистем (в соответствии с темой курсового проекта), овладение навыками в проектировании радиосистем.

При решении отдельных вопросов, связанных с выполнением курсового проекта, студент должен проявить самостоятельность и творческую инициативу, а сами принятые решения должны быть рациональными в технико-экономическом отношении.

В силу сложившихся на кафедре традиций большая часть проектов по РТС выполняется в области радиолокации. Поэтому разделы 5-8 методических указаний, связанные с разработкой типовых проектов, а также список рекомендуемой

литературы, составлены применительно к радиолокации. Это не исключает выдачу студентам заданий на проектирование РТС другого типа.

Выполнение курсового проекта должно подготовить студентов к дипломному проектированию.

Настоящие методические указания составлены в соответствии со стандартом ОС ТУСУР 6.1-97 «Работы студенческие, учебные и выпускные квалифицированные. Общие требования и правила оформления».

## **2. ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

### **2.1. Техническое задание**

Техническое задание на курсовой проект содержит:

- 1) назначение проектируемой радиотехнической системы;
- 2) основные тактико-технические требования, предъявляемые к проектируемой радиосистеме;
- 3) технические ограничения, которые должны быть учтены при проектировании радиосистемы.

Техническое задание составляется руководителем курсовой работы, утверждается заведующим кафедрой радиотехнических систем и выдается студенту на типовом бланке. При его получении студент должен поставить на нем свою роспись.

### **2.2. Организация работы над заданием**

Срок выполнения курсовой работы составляет 8 недель. Общий объем самостоятельной работы над заданием рассчитан на 30-40 часов (4-5 часов в неделю).

Выполнение курсового проекта рекомендуется начинать с составления календарного плана и подбора литературы.

Перечень и ориентировочная трудоемкость отдельных этапов работы приведена в табл. 2.1.

**Таблица 2.1****Перечень и трудоемкость этапов проектирования**

Наименование этапа	Наименование этапа
1. Работа с литературой, выбор аналогов (прототипов) и уяснение содержания работы	20
2. Составление функциональной схемы систем	20
3. Расчет электрических параметров и тактико-технических характеристик отдельных элементов и всей системы	40
4. Выполнение чертежей и расчетно-пояснительной записки	20

Студенты выполняют курсовую работу под руководством преподавателя либо научного сотрудника кафедры, который консультирует их во время обязательных занятий (по расписанию) и дополнительных консультаций. На обязательных занятиях руководитель проектирования контролирует работу каждого студента, сопоставляя результаты его работы с календарным планом. Явка на эти занятия обязательна для всех студентов с необходимой для расчета литературой (книги, конспекты лекций и т.д.) и рабочей тетрадью.

В рабочей тетради выполняются все варианты расчетов, заносятся справочные данные, сведения из литературных источников. В тетради выделяются страницы для списка литературы. Используемую в расчетах статью или книгу нужно сразу же вносить в список литературы, не откладывая до оформления пояснительной записки, когда этой книги может не оказаться под руками.

Расчеты в черновике должны вестись аккуратно. Каждый, даже небольшой, раздел расчетов следует снабжать заголовком, формулирующим цель расчета. Под заголовком необходимо приводить исходные данные для расчета, в конце раздела - основные итоги.

Рабочая тетрадь предъявляется руководителю проектирования для текущего контроля.

За две недели до окончания работы по календарному плану составляется график защиты проектов (с указанием фамилий и даты защиты). Этот график помещается на доске объявлений кафедры.

Плановым сроком сдачи работ на проверку руководителю считается срок окончания по календарному плану.

Результаты проверки готовой работы сообщаются студенту не позднее, чем через три дня. На левой верхней стороне титульного листа пояснительной записки, проверенной преподавателем, фиксируется:

- 1) «Допущено к защите»;
- 2) «Доработать».

Требование «Доработать» предусматривает сдачу проекта после доработки на повторную проверку. При доработке нельзя убирать листы с замечаниями. Все исправления должны производиться либо на оборотных сторонах листов пояснительной записки, либо на отдельных листах, подшитых в конце записки.

Студенты, не сдавшие на проверку свои работы или не явившиеся на защиту в установленные графиком сроки, должны согласовать с председателем комиссии новую дату защиты проекта. Нарушение студентом сроков без уважительных причин является одним из оснований для снижения оценки.

Ритмичная и качественная работа над проектом является долгом каждого студента.

За своевременное и качественное выполнение проектов преподаватель дает представление на вынесение поощрений студентам.

Неявка на обязательное занятие без уважительной причины рассматривается как нарушение учебно-трудовой дисциплины.

### 2.3. Защита курсовых работ

Защита курсовых работ производится публично перед комиссией, назначенной заведующим кафедрой, составом не менее двух сотрудников. В состав комиссии, как правило, входит руководитель проектирования. Работы к защите принимаются только при наличии зачетной книжки и допускающей подписи руководителя на титульном листе пояснительной записки. При досрочном выполнении проекта защита может проводиться в виде собеседования с руководителем.

Комиссия по защите преследует цель выяснить:

- 1) умение студента кратко, четко и технически грамотно изложить содержание работы;
- 2) степень знакомства студента с технической литературой по теме работы, аналогами и прототипами системы;
- 3) умение обосновать с инженерной точки зрения выбранный вариант в защищаемой работе;
- 4) степень владения теоретическим материалом по предмету курсовой работы;
- 5) правильность выполнения основных расчетов.

На выступление студента по содержанию курсового проекта отводится пять минут. Доклад следует заранее тщательно подготовить.

Защита длится около двадцати минут и включает: выступление студента; вопросы членов комиссии и ответы студента; вопросы присутствующих и ответы студента; выступление членов комиссии; заключительное слово защищающегося; сообщение председателя комиссии по оценке.

Оценка за курсовой проект отражает качество его выполнения и защиты.

При оценке качества выполнения учитывается:

- 1) наличие технико-экономических обоснований выбранного решения в виде сравнительных характеристик с другими (имеющимися или возможными) вариантами;
- 2) соответствие параметров разработанной РТС требованиям технического задания;



- 3) качество выполнения расчетной части;
- 4) качество оформления чертежей и пояснительной записки;
- 5) использование ЭВМ при выполнении расчетов и оформлении проекта.

### **3. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

#### **3.1. Общие требования**

Курсовая работа должна содержать:

- 1) чертежи;
- 2) пояснительную записку (ПЗ)

Перечень необходимых чертежей указывается руководителем в техническом задании. Он обязательно должен включать в себя электрическую функциональную схему разработанной РТС (Э2 по ГОСТ 2.701-2008). Другие чертежи (принципиальные электрические схемы отдельных устройств или узлов, конструкции и т.д.) включаются в задание по усмотрению руководителя.

Чертеж электрической функциональной схемы должен давать ясное представление о разрабатываемой системе в целом, о принципе ее работы, назначении блоков и устройств и функциональных связях между ними.

Функциональная схема должна быть настолько подробной, чтобы были ясны физические принципы и техническая возможность ее осуществления на современном уровне развития радиоэлектроники. Например, на схеме приемника импульсной радиолокационной станции (РЛС) должны быть отражены (если, конечно, они предусмотрены) усилитель высокой частоты, предварительный усилитель промежуточной частоты, детектор, видеоусилитель, цепи автоматической регулировки усиления.

На схеме должны быть указаны элементы управления, связь между разрабатываемой РТС и другой аппаратурой.

Пояснительная записка (ПЗ) должна содержать в указанной ниже последовательности:

- 1) титульный лист;
- 2) реферат;
- 3) задание на проектирование;
- 4) содержание;
- 5) введение;
- 6) анализ технического задания и выбор метода выполнения его требований;
- 7) расчет технических параметров проектируемой РТС;
- 8) составление электрической функциональной схемы и расчет технических требований к ее элементам;
- 9) составление и расчет электрической принципиальной схемы узла (блока) РТС (если это предусмотрено техническим заданием);
- 10) заключение;
- 11) список использованной литературы.

## **3.2. Содержание пояснительной записки**

### **3.2.1. Реферат**

Реферат - краткая характеристика проекта с точки зрения его содержания и особенностей. Реферат помещают на отдельной странице. Заголовком служит слово «Реферат», расположенное симметрично тексту. Заголовок выполняется прописными буквами.

Реферат выполняется по ОС ТУСУР 6.1-97 и должен содержать:

- сведения о количестве листов ПЗ, количестве чертежей, иллюстраций, таблиц, использованных источников, приложений;
- перечень ключевых слов;
- текст реферата.

Перечень ключевых слов должен состоять из 5 ÷ 15 слов или словосочетаний из ПЗ, которые в наибольшей мере характери-

зуют ее содержание. Ключевые слова пишутся в именительном падеже прописными буквами.

Текст реферата должен содержать:

- цель работы;
- полученные результаты и их новизну;
- основные особенности спроектированной системы;
- область применения проекта;
- прогнозные предложения о развитии объекта исследования.

Изложение материала в реферате должно быть кратким и четким. Фамилии, названия учреждений, организаций, фирм и другие иностранные собственные имена в тексте приводят на языке оригинала. Допускается приводить собственные имена в русской транскрипции с добавлением в скобках оригинального названия (при первом упоминании).

### **3.2.2. Задание на проектирование**

Составляется руководителем и утверждается заведующим кафедрой.

Форма задания на проектирование приведена в приложении 1.

### **3.2.3. Анализ технического задания и выбор метода выполнения его требований**

Если принцип построения РТС не следует из задания, его следует определить исходя из назначения РТС и предъявляемых к ней тактико-технических требований, оговоренных заданием. При наличии нескольких вариантов выбирается наилучший.

Если метод или принцип определен заданием, необходимо указать его место среди других возможных.

Для дальнейшей работы над заданием рекомендуется составить укрупненную электрическую структурную схему проектируемой РТС (Э1 по ГОСТ 2.701-2008), дающую ее информационную структуру с отображением основных функциональных

блоков (приемник, передатчик, индикатор и т.д.) и взаимосвязей между ними. Использование этой схемы позволит определить содержание и объем последующей работы.

Задание на проектирование может предусматривать составление математической модели проектируемой РТС.

Математическая модель (алгоритм работы системы или совокупность таких алгоритмов) может быть аналитической или численной, жесткой или вероятностной. Она должна связывать выходы системы со всеми входными воздействиями, включая полезные сигналы, помехи, шумы, нестабильности и пр. Модель должна быть иллюстрирована построением семейства графиков и (или) расчетами на ЭВМ.

### **3.2.4. Расчет технических параметров проектируемой радиотехнической системы**

На основании требований технического задания и в соответствии с заданным (или выбранным) принципом действия рассчитываются основные технические характеристики РТС. К ним в частности относятся: длина волны, параметры диаграмм приемной и передающей антенн в вертикальной и горизонтальной плоскостях, мощность и параметры модуляции излучаемых колебаний, частотная характеристика и чувствительность приемника.

Во всех случаях рассчитывается энергетика на радиолинии, обеспечиваемой проектируемой системой. Например, при проектировании РЛС обязательно определяется ее дальность действия при учете мощности передатчика, рассеяния радиоволн подстилающей поверхностью, поглощения радиоволн в атмосфере, затухания сигнала в фидерном (волноводном) тракте, чувствительности приемника, необходимого отношения сигнал/шум и др.

Другие параметры РТС, подлежащие расчету, оговариваются в техническом задании или определяются студентом, исходя из назначения и принципа действия системы.

Если нестабильность рассчитываемых параметров суще-

ственно влияет на качественные показатели проектируемых РТС, следует оценить ее допустимые значения.

Например, нестабильность масштабной частоты фазового дальномера вызывает погрешности в измерении дальности. Исходя из требуемой точности измерения дальности следует рассчитать допустимую нестабильность частоты и затем учесть ее при составлении функциональной схемы дальномера.

Выбранные на основании расчета технические характеристики РТС должны обеспечивать выполнение тактических требований, предусмотренных заданием на проектирование. Если в результате расчетов становится очевидным, что выполнение совокупности заданных тактических требований невозможно на современном уровне развития техники, это должно быть убедительно показано студентом в пояснительной записке. В этом случае студент должен предложить и согласовать с руководителем вариант выполняемых требований, исходя из назначения системы и технических возможностей.

### **3.2.5. Составление электрической функциональной схемы, описание ее работы, расчет основных технических требований к ее элементам**

В данном разделе обосновывается предлагаемый исполнителем вариант функциональной схемы, показывается ее работоспособность и возможность технического выполнения.

Обоснование выбранного варианта схемы должно включать в себя проверку ее оптимальности по критериям, оговоренным в задании на проектирование, или выбранным исполнителем.

С целью выяснения возможности построения реальной аппаратуры по предлагаемой схеме следует указать тип электровакуумных (или полупроводниковых) приборов, используемых в выходных каскадах передатчиков, входных каскадах приемников, в гетеродине. Следует рассчитать основные технические требования, предъявляемые к элементам функциональной схемы, и показать путем ссылок на соответствующую литературу возможность их технического выполнения.

Например, технические требования к фазометру, входящему в состав фазового пеленгатора, должны включать в себя:

- тип входных сигналов (непрерывный или импульсный с заданной частотой повторения и длительностью импульсов);
- несущую частоту и пределы ее изменения;
- минимальный уровень входных сигналов;
- динамический диапазон входных сигналов;
- допустимую неидентичность амплитуд сигналов на входах;
- диапазон однозначного измерения разности фаз;
- форму представления измеренной разности фаз (например, параллельный двоичный код);
- среднеквадратическая погрешность измерения разности фаз;
- время измерения.

Представленные в проекте технические требования к элементу функциональной схемы (блоку) должны формироваться в процессе работы студента над возможностью его создания и отражать определенные принципы его построения.

Если к каким-либо элементам схемы предъявляются специальные требования по стабильности, их выполнение должно быть обеспечено применением соответствующих технических решений (например, путем использования параметрической или кварцевой стабилизации, если речь идет о частоте).

В разделе должно быть дано описание работы всей системы, приведены эпюры напряжений в характерных точках функциональной схемы, составлена сводная таблица технических требований к элементам функциональной схемы.

Должна быть выбрана элементная база, на которой рационально изготовление проектируемой системы.

### **3.2.6. Составление и расчет электрической принципиальной схемы узла (блока) РТС**

Производится разработка и расчет электрической принципиальной схемы блока (узла) проектируемой РТС, если это предусмотрено техническим заданием. ПЗ должна содержать характеристики интегральных микросхем полупроводниковых

и электровакуумных приборов, по которым проводится расчет, или ссылка на литературные источники, где они помещены.

### **3.2.7. Заключение**

В этом разделе исполнитель подводит итоги проделанной работы. Отмечает соответствие спроектированной РТС техническому заданию, положительные стороны и недостатки принятых технических решений, намечает пути улучшения тактико-технических параметров системы.

В заключении формулируются общие выводы, касающиеся полезности проделанной работы, в частности, отмечается целесообразность использования ее результатов в реальном проектировании.

## **4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

### **4.1. Требования к оформлению чертежей**

Чертежи должны быть выполнены в карандаше на листах ватмана стандартного размера, либо на ЭВМ и соответствовать ЕСКД. Правила выполнения электрических схем установлены ГОСТ 2.702-2011 и ГОСТ 2.701-84.

Допускается помещение чертежей в конце пояснительной записки с соответствующей укладкой их.

Каждый чертеж должен иметь рамку и основную надпись в соответствии с ГОСТ 2.104-2006 «Виды и комплектность конструкторской документации», форма 1. Форма основной надписи, а также пример заполнения графа основной надписи даны в приложении 2.

Другие сведения, которые могут оказаться необходимыми для выполнения графической части проектов, приведены в стандарте ОС ТУСУР 6.1-97.

## 4.2. Требования к оформлению пояснительной записки

Пояснительная записка к проекту (ПЗ) должна быть выполнена на стандартных листах формата А4 (210x297) ГОСТ 2.301-68 одним из следующих способов:

- с применением печатающих устройств вывода ЭВМ, высота букв и цифр не менее 1,8 мм, через 1,5-2 межстрочных интервала;

- рукописным - четким, разборчивым почерком с высотой букв и цифр не менее 2,5 мм. Текст должен быть написан чернилами или пастой синего или черного цвета.

В соответствии с ГОСТ 2.004-88 «Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ», должны соблюдаться требования соответствующих стандартов ЕСКД.

ПЗ является текстовым конструкторским документом. Поэтому ее построение и оформление должно соответствовать ГОСТ 2.105-95, раздел 2 «Требования к текстовым документам, содержащим в основном сплошной текст». Согласно этим требованиям каждый лист текстового конструкторского документа обрамляется рамкой и снабжается основной подписью по форме 2 и 2а ГОСТ 2.104-2006 (см.приложение 3).

Допускается выполнять по формам 2 и 2а только 2-3 первых листа ПЗ.

Расстояние от рамки формы (или от того места, где она должна быть) до границ текста следует оставлять в начале строк - не менее 5 мм, в конце строк - не менее 3 мм. Расстояние от верхней или нижней строки текста до рамки формы должно быть не менее 10 мм.

Нумерация страниц ПЗ должна быть сквозной, включая листы с рисунками, первой страницей является титульный лист. Номера страниц должны проставляться в основной надписи в графе «Лист». На титульном листе и в задании номер страницы не проставляется. На листах без рамки номер проставляет-



ся в правом верхнем углу. Титульный лист оформляется согласно ГОСТ 2-105-95. Форма титульного листа приведена в приложении 4.

Текст должен быть написан простым языком, чтобы его мог понять специалист не только в данной области, но и в смежной.

Не следует применять в тексте неконкретные выражения типа «удовлетворительное совпадение», «хорошее соответствие», «достаточная точность» и т.д., а также употреблять сложные обороты речи, жаргонные выражения, профессионализмы.

Не допускается:

- применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;

- применять произвольные словообразования;

- применять индексы стандартов (ГОСТ, ОСТ и т.п.), технических условий (ТУ) и других документов без регистрационного номера.

Содержание пояснительной записки разбивают на разделы и подразделы. При необходимости разделы и подразделы разбивают на пункты, а пункты на подпункты. Каждый пункт записывают с абзаца.

Между заголовками разделов и подразделов и последующим текстом следует оставлять одну свободную строку, а между последней строкой текста и последующим заголовком - две свободные строки.

Разделы должны иметь порядковые номера, обозначенные арабской цифрой с точкой. Номера подразделов состоят из номера раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела также должна ставиться точка. Номера пунктов состоят из номеров раздела, подраздела и пункта, разделенных точками. В конце номера также должна ставиться точка.

Содержащиеся в подпунктах отдельные требования, указания или положения, излагаемые в виде перечисления, записывают с абзаца. Подпункты обозначаются в пределах пункта араб-

скими цифрами со скобкой. Каждый подпункт должен начинаться с новой строки со строчной буквы. В конце подпункта, если за ним следует еще подпункт, ставят точку с запятой.

Каждый раздел рекомендуется начинать с новой страницы. Наименования разделов и подразделов должны быть краткими и соответствовать содержанию. Заголовки подразделов записываются строчными буквами (кроме первой прописной). Точку в конце заголовка не ставят. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Переносы слов в заголовках не допускаются.

При аналитических расчетах рекомендуется следующий порядок записи: приводится соответствующая формула, после знака равенства подставляются численные значения в основных единицах системы СИ и пишется результат с указанием единиц измерения по ГОСТ 8.417-2002, например: В, мВ, мкВ, А, мА, мкА, Ом, кОм. МОм, Ф, мкФ, Гц, кГц, МГц, м, см, км, дБ, Вт, с, мс, мкс, нс.

Числовые значения величин в тексте должны указываться с необходимой степенью точности, при этом в ряду величин выравнивание числа знаков после запятой необязательно. В тексте ПЗ числа с размерностью следует писать цифрами, цифры до десяти без размерности - словами, свыше десяти - цифрами, например: Дальность действия увеличилась в два раза.

Значения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, должны быть приведены непосредственно под формулой. Значение каждого символа дают с новой строки в той последовательности, в какой они приведены в формуле. Первая строка расшифровки должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

Формулы, на которые имеются ссылки в тексте, должны нумероваться в пределах раздела арабскими цифрами. Номер формулы должен состоять из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например: «(1.2)». Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках, например:

$$u = iR \quad (3.1)$$

Ссылки в тексте на номер формулы дают в скобках, например: «... в формуле (3.1)».

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблиц. Таблица должна иметь заголовок, который следует выполнять строчными буквами, кроме первой прописной, и помещать над таблицей посередине. Заголовок должен быть кратким и полностью отражать содержание таблицы.

Заголовки граф таблицы начинают с прописных букв, а подзаголовки со строчных, если они составляют одно предложение с заголовком. Подзаголовки, имеющие самостоятельное значение, пишут с прописной буквы. В конце заголовков и подзаголовков таблиц знаки препинания не ставят. Заголовки указывают в единственном числе. Графу № п/п в таблицу не включают. При необходимости нумерации параметров порядковые номера указывают в боковике таблицы перед их наименованием.

Диагональное деление головки таблицы не допускается. Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм.

Все таблицы, если их в ПЗ более одной, нумеруют в пределах раздела арабскими цифрами. Номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

Над левым верхним углом таблицы помещают надпись «Таблица» с указанием номера таблицы, например: «Таблица 2.1.» (первая таблица второго раздела). Надпись «Таблица» пишут выше заголовка.

## Таблица

### Пример построения таблиц

Головка							Заголовок граф
							Подзаголовок граф
							Строки
							(горизонтальные ряды)
Боковик (заголовки строк)			Графы (колонки)				

Если в ПЗ одна таблица, то номер ей не присваивается и слово «Таблица» не пишут. На все таблицы должны быть ссылки в тексте, при этом слово «Таблица» в тексте пишут полностью, если таблица не имеет номера, и сокращенно - если имеет номер, например: «... в табл. 1.1.».

Для пояснения излагаемого текста в ПЗ помещают иллюстрации. Иллюстрации должны размещаться сразу после ссылки на них в тексте. Иллюстрации следует размещать так, чтобы их можно было рассматривать без поворота ПЗ. Если такое расположение невозможно, иллюстрации располагают так, чтобы для их рассматривания надо было повернуть ПЗ по часовой стрелке.

Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД.

Все иллюстрации (фотографии, схемы, чертежи и пр.) именуются рисунками. Рисунки следует выполнять на той же бумаге, что и текст. Рисунки нумеруются последовательно в пределах раздела арабскими цифрами. Номер рисунка должен состоять из номера раздела и порядкового номера рисунка, разделенных точкой, например: «Рисунок 1.2.» (второй рисунок первого раздела). При ссылке на рисунок следует указывать его полный номер, например: «(рисунок 1.2)». Повторные ссылки на рисунок следует давать с сокращенным словом «смотри», например: «(см.рис. 1.2)».

Иллюстрации должны иметь наименование, и при необходимости - поясняющие данные. Слово «рисунок», его номер и наименование помещают ниже изображения и пояснительных данных симметрично иллюстрации. Например, «Рисунок 1.2 - Графическое изображение алгоритма».

На приводимых в ПЗ электрических схемах около каждого элемента указывают его позиционное обозначение, по правилам установленным ГОСТ 2.702-2011 и ГОСТ 2.710-81, и при необходимости - номинальное значение величины.

Иллюстрации, на которых изображаются графики, выполняются различно в зависимости от того, отображают ли они лишь качественный характер или же количественное соотношение между аргументом и функцией.

Первый вид графиков изображается на плоскости, ограниченной осями координат, заканчивающимися стрелками. При этом слева от стрелки оси ординат и под стрелкой оси абсцисс проставляется буквенное обозначение соответственно функции и аргумента, без указания их единиц измерений.

Вдоль осей допускается указывать условные координаты некоторых характерных точек.

Графики, по которым можно установить количественную связь между независимой и зависимой переменными, должны снабжаться координатной сеткой логарифмической или равномерной. Буквенные обозначения изменяющихся переменных проставляются вверху слева от левой границы координатного поля и справа под нижней границей поля.

Единицы измерения (размерности) проставляются в одной строке с буквенными обозначениями переменных и отделяются от них запятой.

Численные значения аргумента и функции вписываются против линий координатной сетки соответственно в одну строку с буквенным обозначением под нижней границей координатного поля и в один столбец с буквенным обозначением слева от левой границы координатного поля. Следует избегать чрезмерно мелкой координатной сетки причем допускается в целях лучшего чтения графика промежуточные числовые значения проставлять через одну или две клетки. Поле, образованное координатной сеткой, следует использовать рационально так, чтобы не оставались пустые строки и столбцы клеток.

Если на одном графике необходимо разместить семейство кривых, то их следует изображать либо различными линиями (например, сплошной, пунктирной, штрихпунктирной), либо проставлять около них на свободных местах цифры или буквы, которые должны быть разъяснены в поясняющих данных к рисунку или в тексте, либо делать возле них краткие поясняющие подписи, не затрудняющие чтение графика.

Если на одном графике необходимо разместить две разнородные функциональные зависимости, то обозначение и размерность одной из них следует помещать вдоль левой границы координатного поля, а другой вдоль правой границы коорди-

натного поля. При этом на поле графика возле кривых должны быть приведены соответствующие буквенные обозначения.

Если графики иллюстрируют экспериментальные зависимости, полученные в результате однократного проведения прямых или косвенных измерений, то обязательно проставление координат экспериментальных точек. Координаты могут быть указаны различными символами (значками), например: "+, V, o" и т.п. Расшифровка символов приводится в подрисуночной надписи или в тексте.

При ссылке в тексте на использованную литературу следует приводить порядковый номер по списку литературы, заключенный в квадратные скобки и, в необходимых случаях, страницы, например: [18, с. 75].

Список литературы оформляют следующим образом. Заголовок «Список литературы» располагают симметрично тексту, прописными буквами. В список литературы входят все те литературные источники, на которые имеются ссылки в ПЗ. Список литературы выполняют в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 7.1-2003 «Система стандартов по информации библиотечному и издательскому делу», требования которого отражены в российском стандарте ГОСТ 7.05-2008. Примером может служить список рекомендуемой литературы к типовым проектам, помещенный в настоящих методических указаниях.

## **5. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Возможности практического использования радиолокационной системы (РЛС) характеризуются ее основными показателями, к которым относят: назначение РЛС; размеры зоны обзора, в пределах которой осуществляется обнаружение целей и ведется наблюдение за ними; время, требующееся для однократного осмотра заданной зоны (период обзора); измеряемые координаты целей и точность измерений; разрешающая способность; помехоустойчивость; эксплуатационная надежность; масса и габариты аппаратуры.

## 5.1. Назначение

Назначение системы определяет ее облик (основные показатели, принципиальные технические решения, конструкцию, массу и габариты). По месту расположения РЛС подразделяют на наземные, корабельные, самолетные и ракетные и т.д. Особенности РЛС различного базирования приведены в [4, 26, 28, 35]. Рассмотрим назначение РЛС, определенных типовыми заданиями на проектирование.

Самолетная РЛС для наблюдения за надводными кораблями предназначена для использования ее на самолетах, входящих в состав авиационных патрулей. Кроме кораблей, эта РЛС должна обнаруживать низколетящие самолеты, приближающиеся к кораблям на высотах, лежащих ниже зоны обзора судовых РЛС [26]. Преимуществом РЛС, устанавливаемых на борту самолета, по сравнению с наземными и корабельными, является увеличение максимальной дальности обнаружения. Действительно, радиолокационный горизонт РЛС с антенной, установленной на высоте около 40 м, составляет всего 22 км, а для РЛС, установленной на самолете, летящем на высоте около 4 км, отодвигается до 230 км, т.к. дальность прямой видимости в километрах для стандартной атмосферы равна [4]

$$R_{ПВ} = 4,12(\sqrt{H_A} + \sqrt{H_C}), \quad (5.1)$$

где  $H_A$  - высота подъема антенны РЛС в метрах;  
 $H_C$  - высота цели в метрах.

Так как при размещении антенны вне фюзеляжа самолета возникают сложные проблемы, связанные с лобовым сопротивлением, ухудшением стабильности и конструктивной прочности самолета, то, как правило, антенну стремятся расположить в носовой части. При этом можно обеспечить только секторный обзор пространства в передней полусфере.

Одним из других возможных применений этого типа РЛС является картографическая съемка местности.

Корабельная РЛС, предназначенная для наблюдения за судами при входе в гавань, используется в качестве навигационного средства. Эта РЛС должна обнаружить и воспроизвести

на индикаторе сигналы, отраженные от всех целей, находящихся над водной поверхностью (других судов, бакенов, участков суши), с точностью и разрешающей способностью по дальности и азимуту, необходимыми для обеспечения безопасного плавания. Учет влияния отражений радиоволн от морской поверхности делает рациональным применение зондирующих сигналов с длиной волны не более 10 см [26, т.4]. Из-за небольшой дальности действия отпадает необходимость использования передатчиков большой мощности.

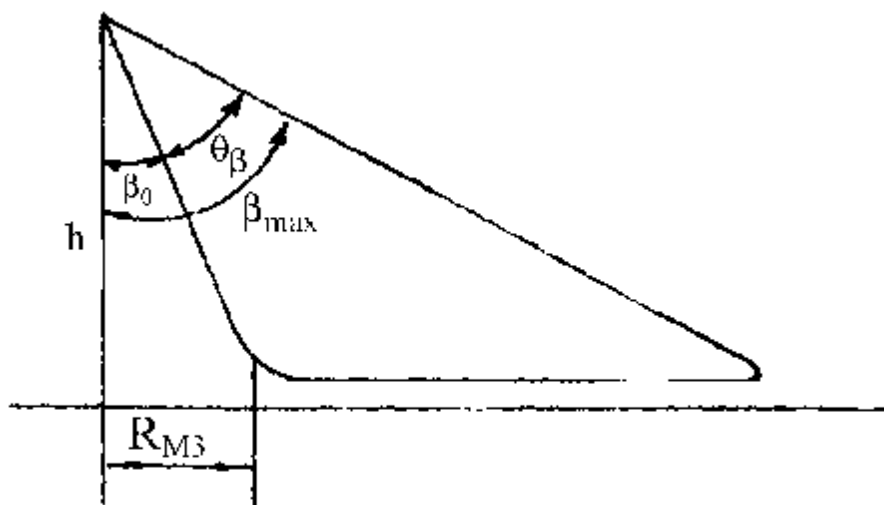
Основные технические требования для судовых РЛС, рекомендуемые международной конференцией по безопасности мореплавания, приведены в [28, т.4].

Наземная РЛС обзора летного поля в зоне аэропорта предназначена для наблюдения за движением на летном поле. Диспетчер аэропорта должен быть постоянно осведомлен о вырубании самолетов на взлетно-посадочную полосу, о расположении самолетов, готовящихся к рейсу, о движении бензозаправщиков и других служебных машин. Радиолокационная станция этого типа должна иметь хорошую разрешающую способность по дальности и азимуту. Поэтому характерными для нее являются работа короткими импульсами и применение антенн относительно больших размеров. Например, РЛС типа ASDE (США), разработанная специально для наблюдения за движением на летном поле, имеет следующие данные, обусловленные ее назначением. Рабочая частота РЛС ASDE равна 24 ГГц. Такая высокая частота позволяет получить очень узкий луч при размерах зеркала антенны  $3,6 \times 1,2 \text{ м}^2$ . Ширина луча в азимутальной плоскости равна  $0,25^\circ$ , а в плоскости угла места -  $1^\circ$ . Нижней части луча придана косеканс-квадратная форма, позволяющая уменьшить динамический диапазон принимаемых сигналов, обусловленный различной дальностью до целей. Подобная форма диаграммы направленности рекомендуется во всех случаях, когда необходимо наблюдение за целями, расположенными на земной или морской поверхности. Высота диспетчерской вышки, на которой установлена антенна - 30 м, мер-



твая зона  $R_{МЗ}$ , обусловленная углом  $b_0$  (рис. 5.1), составляет 60 м. Длительность импульса - 0,02 мкс, мощность магнетронного передатчика в импульсе - до 50 кВт. Для индикации выходных данных станции без значительного ухудшения потенциальной разрешающей способности [4] применяется электронно-лучевая трубка с диаметром 40 см и разрешающей способностью до 1000 линий на диаметр [27].

*Диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости для РЛС наблюдения за наземными или надводными целями*



*Рис. 5.1*

Дальномеры непрерывного излучения с частотной модуляцией нашли широкое применение в качестве радиовысотомеров летательных аппаратов, благодаря способности измерять малые высоты и простоте технической реализации [5, 11, 30, 31]. При проектировании самолетных радиовысотомеров с частотной модуляцией надо учесть их следующие особенности.

Кроме постоянной ошибки [11, 23], обусловленной дискретностью отсчета высоты и сказывающейся на очень малых высотах, при применении высотомеров этого типа имеет место

сдвиг показаний, обусловленный тем, что некоторые удаленные участки местности могут создавать более сильный сигнал, нежели участки, находящиеся непосредственно под самолетом. Этот эффект нельзя компенсировать сужением диаграммы направленности, т.к. она должна быть достаточно широкой, чтобы обеспечить работу высотомера во всем диапазоне возможных углов крена и тангажа летательных аппаратов. Для компенсации ослабления полезного сигнала, обратно пропорционального квадрату высоты, усилитель разностной частоты в высотомере должен иметь частотную характеристику с подъемом 6 дБ на октаву в сторону высших частот [28].

Для устранения влияния отражений от удаленных участков местности в современных радиовысотомерах используется слежение за низшей частотой в спектре биений, соответствующий высоте самолета.

При отсутствии в задании на курсовое проектирование конкретных сведений о подстилающей поверхности ее можно считать однородной.

## 5.2. Зона обзора

Зона обзора - это область пространства, в пределах которой ведется обнаружение радиолокационных целей и слежение за ними. Она характеризуется минимальной  $R_{MIN}$  и максимальной  $R_{MAX}$  дальностью действия РЛС, а также секторами обзора  $q_a$  в горизонтальной и  $q_b$  в вертикальной плоскостях. Типичная форма зоны обзора в вертикальной плоскости для самолетной РЛС наблюдения за надводными кораблями, наземной РЛС обзора летного поля и корабельной РЛС соответствует диаграмме направленности в вертикальной плоскости представленной на рис. 5.1. В горизонтальной плоскости зона обзора в этих случаях ограничена сектором, в котором необходимо вести наблюдение за целями.

### 5.3. Измеряемые координаты

Количество данных об отдельной цели, получаемых с помощью РЛС, зависит от ее назначения. В простейшем случае измеряются значения одной координаты, как, например, в радиовысотомере. Чаще с помощью РЛС осуществляется измерение двух-трех координат цели. Так, самолетная РЛС для наблюдения за кораблями, наземная РЛС для обзора летного поля и корабельная РЛС могут измерять азимут и дальность одновременно. Данные о каждой цели поступают дискретно через период обзора  $T_{ОБЗ}$ , определение координат цели осуществляется в течение короткого отрезка времени нахождения цели в луче РЛС. Эти РЛС относятся к многоцелевым.

Координаты, измеряемые РЛС, указываются в техническом задании на проектирование либо определяются проектировщиком по ее назначению.

### 5.4. Точность измерения координат

Точность измерения координат характеризуется ошибками измерений. Числовыми характеристиками ошибки  $\Delta x$  измеряемой координаты  $x$  являются математическое ожидание  $M[\Delta x]$  и дисперсия  $S_x^2$ . Если математическое ожидание  $M[\Delta x]$  (систематическая ошибка) может быть поставлено в зависимость от условий работы РЛС, оно может быть учтено и не ухудшает точность измерений. Наличие систематических ошибок и их зависимость от условий измерений выявляются путем калибровки РЛС. Неучтенная систематическая ошибка проявляется как случайная. Числовой характеристикой случайных ошибок является среднеквадратическое значение  $S_x$ .

По своему происхождению случайные ошибки делятся на следующие группы: ошибки, вызванные действием внутренних и внешних помех; ошибки, возникающие в процессе распространения радиоволн; ошибки, обусловленные неидеальностью измерительной аппаратуры; ошибки, вызванные флуктуациями наблюдаемой цели. Методика расчета указанных оши-

бок для различных типов радиолокационных измерений приводится в справочной литературе [2, 4, 26-28, 33].

Поскольку перечисленные ошибки являются статистически независимыми, результирующая дисперсия измерений равна сумме их дисперсий.

Остановимся коротко на ошибках, вызванных воздействием помех. Реальное проектирование большинства типов радиолокационных систем в настоящее время немыслимо без учета возможности работы в условиях организованных помех [3, 26]. Однако в курсовых проектах внешние помехи можно не учитывать, если это не оговорено техническим заданием.

В противоположность данному положению во всех случаях надо рассматривать влияние на точность измерений внутренних шумов приемных устройств, хотя шумовая ошибка не всегда оказывается существенной.

Минимальная среднеквадратичная шумовая ошибка, которая может быть получена при заданных форме сигнала и отношении сигнал/шум на входе измерительной системы, характеризует потенциальную точность измерений. Надо помнить, что потенциальная точность достигается только при оптимальном построении измерительных устройств, например, на основе корреляторов или согласованных фильтров. Только в этом случае расчет среднеквадратического значения шумовой составляющей ошибки можно производить по формулам, характеризующим потенциальную точность измерений, приводимым во всей учебной и справочной литературе, например в [2, 4]. Если применяемая схема отличается от оптимальной, шумовая составляющая ошибки больше минимально возможной и должна в каждом конкретном случае оцениваться по разному.

### 5.5. Разрешающая способность

Разрешающая способность РЛС характеризует возможность раздельного обнаружения и измерения координат одновременно наблюдаемых целей. Разрешающая способность определяется тем минимальным различием дальностей  $dR$  двух целей, их угловых координат  $da$ , либо радиальной скорости  $dV_R$

и т.д., при котором обеспечивается обнаружение обеих целей с заданными значениями вероятностей правильного обнаружения и ложной тревоги или измерение координат целей с заданной точностью. Чем меньше  $d_x$ , тем выше разрешающая способность РЛС по параметру  $x$ . Результирующее значение разрешающей способности РЛС по параметру  $x$  приблизительно представляют суммой потенциальной составляющей  $d_{ПOT}$ , определяемой видом используемых сигналов, и аппаратурной составляющей  $d_{АПП}$ , связанной с несовершенством устройств обработки сигналов и отображения информации.

В типовых курсовых проектах потенциальная разрешающая способность оценивается, исходя из вида функции неопределенности по соответствующим координатам [2, 4, 28, 33 и др.], по методике, предложенной Ф.Вудвордом [32]. Строго говоря, предел разрешения по Вудворду является условным и может быть превзойден, если отношение сигнал/шум достаточно велико.

## **6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ И РАСЧЕТУ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ**

Важную часть разработки радиолокационных станций (РЛС) составляет определение их основных технических параметров, таких как длина волны, мощность передатчика, коэффициент усиления антенны, коэффициент шума приемника и т.п. Основой для определения технических параметров РЛС служит в большинстве случаев уравнение дальности. Хотя многие параметры, входящие в это уравнение, могут быть выбраны на основе рекомендаций справочной литературы, некоторые из них нельзя выбирать независимо от других. Так, например, рабочая частота, средняя мощность передатчика и размеры антенны не могут выбираться независимо. Поэтому расчет основных технических параметров РЛС ведется методом последовательных приближений, с неоднократным уточнением и согласованием рассчитанных величин.

## 6.1. Длина волны

Поскольку «стандартной» схемы разработки РЛС не существует, можно начинать с выбора любого параметра, не оговоренного в задании. Так, например, можно начать с выбора рабочей длины волны. Длина волны влияет не только на многие параметры РЛС, но и на характер распространения радиоволн. Некоторые параметры получаются лучшими при большой длине волны (возможность получения большой мощности, меньшего затухания в атмосфере). Для других параметров лучше брать меньшую длину волны. Так уменьшение длины волны при фиксированных размерах антенны позволяет получить более узкий луч, что приводит к улучшению точности и разрешающей способности угловых измерений. Выбор оптимальной длины волны может быть сделан на основе компромисса между отдельными зависящими от нее параметрами.

Как известно, ширина диаграммы направленности зеркальной антенны при равномерном возбуждении ее апертуры определяется соотношением

$$q_{0,5} = \frac{l}{a}, \quad (6.1.)$$

где  $q_{0,5}$  - ширина диаграммы направленности по уровню половинной мощности в радианах;

$a$  - размер антенны в соответствующей плоскости.

При заданном максимальном размере антенны реализовать значение ширины луча, требуемое для обеспечения необходимой разрешающей способности по азимуту, можно вариацией длины волны. Результирующая разрешающая способность по азимуту

$$da = da_{\text{ПОТ}} + da_{\text{И}} = gaq_{0,5}, \quad (6.2)$$

где  $da_{\text{ПОТ}}$  - потенциальная разрешающая способность;

$da_{\text{И}}$  - разрешающая способность индикатора по азимуту;

$ga$  - коэффициент ухудшения потенциальной разрешающей способности.

Потенциальная разрешающая способность приблизительно равна ширине диаграммы направленности  $q_{0,5}$ . Ее точное значение зависит от формы диаграммы направленности [4].

Разрешающая способность индикатора определяется формулой

$$da_{II} = \frac{q_a}{k_{\varepsilon} Q_{\phi}}, \quad (6.3)$$

где  $q_a$  - сектор обзора по азимуту;

$k_{\varepsilon}$  - коэффициент использования экрана, равный отношению длины азимутальной шкалы к диаметру экрана;

$Q_{\phi}$  - качество фокусировки, равное отношению диаметра экрана к диаметру светового пятна на экране.

Качество фокусировки луча в электронно-лучевой трубке (ЭЛТ) с электростатическим управлением  $Q_{\phi} = 150 \dots 250$ , для ЭЛТ с магнитным управлением  $Q_{\phi} = 300 \dots 600$ , а иногда и выше [37]. В последнее время разработаны электронно-лучевые трубки с качеством фокусировки порядка 2000.

Визуальными индикаторами РЛС могут служить не только электронно-лучевые трубки, но и жидкокристаллические панели. Они более инерционны, чем ЭЛТ и «боятся» низких температур, что надо учитывать при выборе типа индикатора и алгоритма обработки сигналов. Под качеством фокусировки панелей следует понимать количество светящихся точек (пикселей), укладываемых вдоль ее горизонтальной или вертикальной оси (в зависимости от того, по какой оси откладывается измеряемая координата).

В современных радиосистемах широко применяется цифровая обработка сигналов. Ее использование желательно и в курсовых проектах. Надо помнить, что если выходным прибором является визуальный индикатор (ЭЛТ либо панель), то именно он, а не цифровые устройства, определяет разрешающую способность по измеряемым координатам.

Дальность действия РЛС связана с длиной волны трансцендентным управлением

$$R_{MAX} = \sqrt{\frac{P_{II} S_{PP}^2 S_{\mathcal{E}}}{4pl^2 k_{III} k T_0 k_P \Delta f_{PP}}} 10^{-0,05 d_{II} R_{MAX}}, \quad (6.4)$$

где  $R_{MAX}$  - дальность действия, вычисленная с учетом поглощения радиоволн;

$P_{II}$  - излучаемая мощность (импульсная для импульсных РЛС);

$S_{PP}$  - эффективная приемная площадь антенны РЛС;

$S_{\mathcal{E}}$  - эффективная поверхность рассеяния цели;

$k_{III}$  - коэффициент шума приемника;

$k$  - постоянная Больцмана;

$T_0$  - абсолютная температура приемника;

$k_P$  - коэффициент различимости;

$d_{II}$  - коэффициент поглощения энергии радиоволн в атмосфере, выраженный в децибелах на километр;

$\Delta f_{PP}$  - эффективная шумовая полоса приемника, приблизительно равная полосе пропускания его линейной части.

Типичной ошибкой при расчете дальности действия в студенческих проектах является подстановка в формулу (6.4)

$\Delta f_{PP} = 1/T_{OBL}$ , где  $T_{OBL}$  - время облучения цели, когда в схеме РЛС выполнение этого равенства не предусмотрено.

Коэффициент поглощения  $d_{II}$  зависит от длины волны.

Графики  $d_{II} = f(l)$  для различных условий распространения радиоволн приведены в [1, 4, 27, 28, т.1].

Методика графоаналитического решения уравнения (6.4) дана в [4]. Там же приведены графики, позволяющие оценить уменьшение дальности действия радиолокатора при различных коэффициентах поглощения.

Уравнение (6.4) не учитывает влияния на  $R_{MAX}$  отражений радиоволн от подстилающей поверхности. Методика расчета дальности действия с учетом поглощения радиоволн в атмосфере и отражений от поверхности раздела изложена в [28, т.1].

Необходимо оценить также маскирующее действие гидрометеоров, зависящее от длины волны  $l$ . Надежное обнаружение цели обеспечивается, если ее эффективная поверхность рассеяния  $S_{\mathcal{E}}$  в 5-10 раз превышает эффективную площадь



элемента объемного разрешения гидрометеоров. Методику расчета последней так же как и необходимые количественные данные можно найти в [1, 4, 7, 10, 27, 36].

## 6.2. Параметры обзора

Типовыми заданиями на курсовой проект предусмотрен последовательный обзор по азимуту в пределах заданной зоны обзора. Если время облучения точечной цели равно  $T_{ОБЛ}$ , сектор обзора  $q_{ОБЗ}$ , ширина луча  $q_a$ , то время, необходимое на однократный обзор (период обзора)

$$T_{ОБЗ} = \frac{T_{ОБЛ} q_{ОБЗ}}{q_a} k_{ОБЗ},$$

где  $k_{ОБЗ}$  - коэффициент, зависящий от метода обзора.

При механическом сканировании  $k_{ОБЗ} = 1,2 \dots 1,6$ .

Если антенная система оказывается слишком большой и тяжелой для ее механического качания, можно применить электромеханическое сканирование, например, изменять положение облучателя зеркальной антенны [27].

Электрическое сканирование осуществляется с помощью антенных решеток (АР), представляющих собой систему излучателей с управляемым распределением фаз колебаний, создаваемых отдельными излучателями. АР имеют ряд принципиальных преимуществ перед антеннами с механическим и электромеханическим сканированием [35]. Они позволяют резко увеличить скорость перемещения луча в пределах зоны обзора, реализовать любой закон перемещения луча, изменять форму луча, значительно уменьшить боковые лепестки, получать принципиально новые возможности обработки сигналов непосредственно в антенно-фидерном тракте, получать весьма большую мощность излучения путем суммирования колебаний, подводимых к отдельным излучателям от большого количества маломощных генераторов.

Недостатками АР являются: их относительная сложность и более высокая стоимость, трудности обеспечения работы в широком частотном диапазоне, существенная зависимость ширины луча от его положения в секторе обзора. Приблизительно можно считать, что ширина луча изменяется по закону

$$q \approx \frac{q_{MIN}}{\cos a},$$

где  $q_{MIN}$  - минимальное значение ширины луча в направлении нормали к плоскости раскрыва;

$a$  - угол между нормалью к плоскости раскрыва антенны и направлением оси луча.

Время облучения цели определяет энергию полезных сигналов, накапливаемых за период обзора. Если  $P_C$  - мощность принимаемых сигналов, то для непрерывных сигналов их энергия за время обзора равна  $E_C = P_C T_{ОБЛ}$ . Для прямоугольных импульсов с длительностью  $t_{И}$  и периодом повторения  $T_{П}$  энергия составляет

$$E_C = \frac{P_C t_{И} T_{ОБЛ}}{T_{П}} = P_C t_{И} N_C, \quad (6.5)$$

где  $N_C$  - число принимаемых импульсов за период обзора.

В зависимости от построения РЛС и параметров ее элементов энергия всех  $N_C$  импульсов или их части суммируется в специальном интегрирующем устройстве или на экране ЭЛТ за счет послесвечения. Так как время облучения определяет энергетическое отношение сигнал/шум  $2E_C / N_0$ , то, строго говоря, оно выбирается исходя из заданных вероятностных характеристик обнаружения и точности измерения координат [1, 3, 4, 10, 28, 36]. При упрощенных расчетах импульсных РЛС можно положить  $T_{ОБЛ} = (5 \div 40) T_{П}$ .

### 6.3. Чувствительность приемного устройства

Реальную чувствительность приемника определяют минимальной мощностью  $P_{PPMIN}$  входного сигнала, при которой обеспечивается обнаружение сигнала или измерение его параметров с заданными показателями. Эта мощность равна [20, 35]

$$P_{PPMIN} = kT_0 \Delta f_{PP} \left( k_{Ш} + \frac{T_A}{T_0} - 1 \right) k_P \approx kT_0 \Delta f_{PP} k_{Ш} k_P, \quad (6.6)$$

где  $k$  - постоянная Больцмана;

$T_0$  - абсолютная температура приемника;

$\Delta f_{PP}$  - полоса пропускания приемника;

$T_A/T_0$  - относительная шумовая температура антенны;

$k_P$  - необходимое соотношение сигнал/шум по мощности (коэффициент различимости).

Между величинами  $k_P$  и  $2E_C/N_0$  имеется простая зависимость. Если принимаются сигналы простой формы длительностью  $t_{И}$ , полоса пропускания приемника согласована с их длительностью ( $\Delta f_{PP} \approx 1/t_{И}$ ) и для обнаружения или измерения необходима энергия  $N_C$  одиночных сигналов ( $E_C = N_C E_{C1}$ ), то из (6.5) и (6.6) получим

$$k_P \approx \frac{E_{C1}}{N_0}$$

Методика расчета коэффициента различимости с учетом возможных потерь при обработке сигналов приведена в [4, с. 138-142]. Реальная чувствительность радиолокационных приемников составляет  $10^{-12} \dots 10^{-16}$  Вт.

### 6.4. Характеристики импульсного излучения

Если техническим заданием не предусмотрено разрешение целей по скорости и измерение скорости, то естественно вначале принять некогерентный вариант РЛС. Требуемую среднюю

мощность излучения можно варьировать частотой повторения и длительностью импульса

$$P_{CP} = P_{И} F_{П} t_{И} \quad (6.7)$$

В свою очередь частота повторения импульсов должна удовлетворять условию однозначного измерения дальности

$$F_{П} < c / 2R_{МАХ} \quad (6.8)$$

где  $R_{МАХ}$  - дальность действия РЛС.

Длительность импульсов выбирается с учетом требований разрешения по дальности. Разрешающая способность РЛС по дальности определяется формулой

$$dR = dR_{ПОТ} + dR_{ИН}, \quad (6.9)$$

где  $dR_{ПОТ}$  - потенциальная разрешающая способность;

$dR_{ИН}$  - разрешающая способность индикатора.

Если в РЛС используются импульсы простой формы, то есть такие, для которых  $\Delta f t_{И} \approx 1$ ,

$$dR_{ПОТ} = \frac{ct_{И}}{2}$$

При использовании ЭЛТ  $dR_{ИН}$  определяется по соотношению, аналогичному (6.3). Если длительность импульсов, рассчитанная с учетом (6.9), окажется меньшей чем требуется из (6.7), можно увеличить время облучения, т.е. уменьшить скорость обзора или увеличить ширину луча. Если это недопустимо, следует рассмотреть возможность перехода на более длинную волну, т.к. в этом случае обычно увеличивается и допустимая мощность импульсных генераторов. При этом соответственно возрастает апертура антенны. Если же и этот вариант неприемлем, то это означает, что при некогерентном излучении простых импульсных сигналов удовлетворить поставленным требованиям невозможно и необходимо применить сложные сигналы, например, импульсы с внутренней линейной частотной модуляцией (ЛЧМ), либо фазо-кодовой манипуляцией

(ФКМ). В этом случае

$$dR_{\text{ПОТ}} = \frac{0,5ct_{\text{И}}}{k_{\text{СЖ}}},$$

где  $k_{\text{СЖ}}$  - коэффициент сжатия импульса [1, 28].

Для сигналов с ЛЧМ

$$k_{\text{СЖ}} = \Delta f_M t_{\text{И}}$$

где  $\Delta f_M$  - девиация частоты.

Допустимые значения девиации частоты  $\Delta f_M$  для различных типов генераторов приведены в [28, т.3].

Что касается предельной минимальной длительности импульсов без ЛЧМ, то для магнетронов она ограничена конечной величиной времени установления колебаний, так что

$$t_{\text{И MIN}} \geq (50 \div 100) / f,$$

где  $f$  - несущая частота.

Подробные сведения о применении ФКМ сигналов приведены в [32].

### **6.5. Характеристики непрерывного излучения с частотной модуляцией**

Для РЛС непрерывного излучения с частотной модуляцией (ЧМ) необходимо выбрать несущую частоту, частоту модуляции, закон изменения частоты, девиацию частоты и определить требования к стабильности частоты модуляции и девиации частоты. Что касается закона изменения частоты, то при измерении дальности до одиночной цели можно использовать синусоидальную модуляцию [5, 10, 11, 25, 31] с измерением дальности по средней за период модуляции частоте биений между зондирующим и отраженным сигналами. При измерении дальности до нескольких целей целесообразно использовать линейный закон модуляции (например, изменение частоты по сим-

метричной треугольной ломаной линии). Тогда между дальностью и разностной частотой будет прямая связь

$$f_P = \frac{4\Delta f_M F_M}{c} R,$$

где  $\Delta f_M$  - девиация частоты;

$F_M$  - частота модуляции;

$R$  - дальность до цели.

Выбор частоты модуляции необходимо делать, исходя из соображений однозначности измерения максимальной дальности, чтобы  $f_{P_{MAX}} \leq \Delta f_M$ , так что [37]

$$R_{MAX} = \frac{c f_{P_{MAX}}}{4\Delta f_M F_M} = \frac{c}{4F_M}.$$

Особенностью частотного метода измерения дальности является наличие дискретности отсчета разностной частоты, вытекающее из периодичности модуляции. В данном случае имеет место ошибка за счет дискретности отсчета разностной частоты [11, 25, 31, 37]

$$\Delta R = \frac{c}{4\Delta f_M}.$$

Кроме этой методической ошибки имеют место погрешности, обусловленные нестабильностью девиации частоты и нестабильностью частоты модуляции [23]

$$\frac{\Delta R}{R} = - \frac{\Delta(\Delta f_M)}{\Delta f_M}$$

и

$$\frac{\Delta R}{R} = - \frac{\Delta F_M}{F_M}.$$

И, наконец, большой вклад в результирующую ошибку измерения дальности может вносить ошибка отсчета по индикатору, среднее квадратическое значение которой равно

$$S_R = \frac{S_g}{M},$$

где  $S_g$  - среднеквадратическая ошибка отсчета по индикатору;

$M$  - масштаб, равный отношению максимального показания индикатора к максимальной дальности (для стрелочного прибора измеряется в град/м).

Оценка разрешающей способности по дальности производится следующим образом. Две цели разрешаются по дальности, если соответствующие им разностные частоты  $f_{P1}$  и  $f_{P2}$  различаются больше, чем полоса пропускания фильтров анализатора частоты биений, то есть разрешающая способность выражается формулой [4, 37]

$$dR = \frac{c\Delta f_{CP}}{4\Delta f_M F_M}. \quad (6.10)$$

Потенциальная разрешающая способность при полосе фильтра, равной или меньшей частоты модуляции, совпадает с дискретом отсчета дальности [37],

$$dR_{\text{пот}} = \frac{c}{4\Delta f_M}.$$

Обычно считают, что при использовании фильтрового анализатора разностной частоты ошибка измерения дальности равномерно распределена на интервале, определяемом формулой (6.10). Ее среднеквадратическое значение

$$S_R = \frac{1}{2\sqrt{3}} \frac{c\Delta f_{CP}}{4\Delta f_M F_M}.$$

Таким образом, уменьшение числа фильтров при увеличении их полосы приводит к ухудшению разрешающей способности и точности измерения дальности.

Наличие фильтрового анализатора необходимо учитывать при расчете элемента разрешения РЛС. В частности, размер

элемента разрешения при обзоре поверхности определяется по формуле

$$dS = \frac{R^2 q_{0,5}}{N \cos b},$$

где  $N$  - число фильтров;

$b$  - угол облучения поверхности;

$q_{0,5}$  - ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости по уровню половинной мощности.

В одноканальном анализаторе используется один фильтр, который может перестраиваться в необходимой полосе частот, а может иметь фиксированную настройку. В последнем случае для просмотра необходимого диапазона дальностей либо применяют преобразование частоты сигналов с изменяемой частотой гетеродина так, что

$$f_{\text{ПР}} = f_P + f_{\Gamma} = \text{const},$$

либо путем изменения параметров частотной модуляции  $\Delta f_M$  или  $F_M$  добиваются постоянства разностной частоты сигналов целей, расположенных на различной дальности.

Известно, что при перестройке резонансного устройства или при изменении частоты входного сигнала со скоростью

$$g_f = \frac{df}{dt}$$

свойства резонатора определяются динамической резонансной характеристикой и соответственно динамической полосой пропускания. Формулы для расчета приведены в [17]. Однако, если справедливо неравенство [35]

$$\Delta F_M \geq \sqrt{g_f},$$

то динамическим эффектом можно пренебречь и при оценке характеристик анализатора пользоваться величиной статической полосы пропускания.

Основное преимущество одноканального анализатора состоит в его относительной простоте. Его применение возможно в



том случае, если время анализа не оказывается недопустимо большим.

Современный уровень вычислительной техники позволяет выполнять анализ спектра на основе дискретного преобразования Фурье. По определению спектр сигнала вычисляется как интеграл Фурье

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j\omega t} dt.$$

Вместо применения аналогового анализатора спектра надо подвергнуть сигнал биений  $s(t)$  аналого-цифровому преобразованию и вычислить приведенное интегральное соотношение в цифровой форме.

В процессе проектирования надо учитывать следующие обстоятельства:

- цифровые устройства вычисляют определенные интегралы как конечные суммы;
- цифровые устройства оперируют только с действительными числами, поэтому вычисления с действительными и мнимыми частями интегральных сумм проводятся отдельно;
- интегрирование проводится на конечном интервале времени  $T$ .

Интервал времени  $T$  выбирается исходя из требуемой точности анализа,

$$T = \frac{1}{\Delta f},$$

где  $\Delta f$  - требуемая точность измерения частоты.

Интервал временной дискретизации сигнала  $s(t)$  выбирается исходя из теоремы Котельникова

$$\Delta t = \frac{1}{2f_g},$$

где  $f_g$  - высшая ожидаемая частота в спектре биений.

На интервале анализа  $T$  получается  $N$  отсчетов сигнала  $s(t)$ ,

$$N = \frac{T}{\Delta t} = 2T\Delta f.$$

С учетом изложенного формула для вычисления дискретного преобразования Фурье представляется в виде

$$\begin{aligned} S(j\omega) &= \sum_{i=0}^{N-1} s(i\Delta t)h(i) \cos\left(\frac{2pik}{N}\right) - j \sum_{i=0}^{N-1} s(i\Delta t)h(i) \sin\left(2p \frac{ik}{N}\right) = \\ &= a(k) - jb(k). \end{aligned}$$

Спектральная плотность амплитуды сигнала на частоте  $f = k \cdot \Delta t$  находится по формуле

$$c(k) = \sqrt{a^2(k) + b^2(k)}.$$

Основы цифрового спектрального анализа изложены в книге [17]. Более подробную информацию о построении цифровых анализаторов можно найти в книге [39].

В заключение обратим внимание на необходимость учета скорости движения цели или носителя РЛС. Так, при пилообразном симметричном законе частотной модуляции разностная частота получает в течение одного полупериода модуляции положительное, а в течение другого - отрицательное приращение за счет эффекта Доплера. Поэтому каждой цели соответствует не одна спектральная линия разностной частоты, а две. Раздвоение спектральной линии дает принципиальную возможность отделить движущиеся цели от неподвижных [23]. Однако оно затрудняет отсчет дальности и ухудшает разрешающую способность. В этом случае целесообразно так выбрать полосу фильтра  $\Delta F_\phi$ , чтобы выполнялось неравенство [37]

$$\Delta F_\phi \geq 2F_D,$$

где  $F_D$  - доплеровское смещение частоты.

Наиболее полно вопросы радиолокации с ЧМ изложены в [5, 11, 23, 37].

## 7. ПАРАМЕТРЫ НЕКОТОРЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ, ГЕНЕРАТОРОВ И УСТРОЙСТВ СЖАТИЯ ИМПУЛЬСОВ

**Таблица 7.1**

**Параметры усилителей мощности метрового диапазона**

Лампы	Рабочая частота МГц	Выходная мощность, Вт	Анодное напряжение, В	Напряжение на экранной сетке, В	Ток анода, мА	Входная мощность, Вт
ГУ-19	200	70	550	250	200	2
ГУ-37Б	300	1800	2000	-	1500	400
ГУ-34Б	250	750	2200	500	600	16

**Таблица 7.2**

**Параметры усилителей мощности дециметрового диапазона**

Лампы	Рабочая частота МГц	Выходная мощность, Вт	Анодное напряжение, В	Ток анода, мА	Входная мощность, Вт
ГУ-33Б	500	110	900	290	10
ГС-3А	650	2000	2500	2000	250
ГС-9Б	1500	40	1500	175	5

**Таблица 7.3**  
**Параметры некоторых типов мощных импульсных магнетронов**

Тип прибора	Фирма-изготовитель	$f$ , ГГц	$P_{II}$ , МВт	$U_A$ , кВт	$I_A$ , А	$m$ , кг
QK516	Raytheon	0,4...0,45	2,0	55	97	100
MCF1329 <sup>1)</sup>	Thomson-CSF	1,21...1,22	2,4	40	152	-
QKH666	Raytheon	1,32...1,35	5,0	72	150	57
M5094A	Englich Electric V.	3,0...3,2	1,0	36	80	40
M579	Englich Electric V.	3,05...3,16	2,5	43	170	4,5
VF30	Feranti Ltd.	5,2...5,6	1,5	25	90	-
L3030B	Litton	8,97...9,03	0,3	29	27	6,5
VF11 <sup>1)</sup>	Feranti Ltd.	9,0...9,5	1,0	33	75	-
VF20	Feranti Ltd.	16...17	0,4	26	40	-
VF55	Feranti Ltd.	34,6...35,4	0,1	23	20	-
M5057	Englich Electric V.	78...82	0,006	13	10	2,0
DX423	Amperex Electronic Co.	93...97	0,008	10	30	3,5

<sup>1)</sup> С механической перестройкой частоты

Обозначения:  $P_{II}$  - выходная мощность;  $U_A$  - анодное напряжение;  $I_A$  - анодный ток;  $m$  - масса.

Относительный диапазон перестройки частоты магнетронов находится в пределах 1...10%.

**Таблица 7.4**  
**Основные параметры мощных импульсных усилительных клистронов**

Тип прибора	Фирма-изготовитель	$f$ , ГГц	$P_{II}$ , МВт	$K_3$	$K_Y$ , дБ	$U_A$ , кВ	$m$ , кг
VKP8264	Varian	0,224	3	0,125	35	110	-
VA812D	Varian	0,4...0,45	15	0,05	40	190	680
VA812E	Varian	0,4...0,45	20	0,015	40	240	680
VA862A	Varian	0,8	1,25	0,132	47	86	360
L5081	Litton	1,3	30	0,002	45	280	320
VRL7800	Varian	1,3	10	0,007	37	170	320
TV2023	Thomson-CSF	1,2...1,4	40	0,001	50	300	110
8840	ITT	2,856	28	0,001	53	270	67
VA820	Varian	2,8...2,9	8	0,001	47	160	30
K390	Englich Electric V.	2,998	8	0,0015	42	205	34
PT1001	EMI-Varian	2,7...3,3	6	0,004	47	180	254
VA8745	Varian	9,0...9,6	0,123	0,006	54	43	165
VKU7763	Varian	15,0...18,0	0,001	0,5	42	8	

Примечание: В таблице 7.4  $P_{II}$  - выходная мощность в импульсе,  $K_3$  - коэффициент заполнения (величина, обратная скважности),  $K_Y$  - коэффициент усиления,  $U_A$  - анодное напря-

жение,  $m$  - масса.

**Таблица 7.5**  
**Основные параметры усилительных клистронов**  
**непрерывного режима для РЛС**

Тип прибора	Фирма-изготовитель	$f$ , ГГц	$P_{ВЫХ}$ , кВт	$K_y$ , дБ	$U_A$ , кВ	$I_A$ , А	$m$ , кг
ТН2406	Thomson-CSF	1,7...2,4	1,0	37	6	0,55	83
ТН2404	Thomson-CSF	2,4...2,7	1,0	40	6,5	0,58	83
ТН2047	Thomson-CSF	2,8...3,05	1,0	40	6,5	0,5	83
ТН2407	Thomson-CSF	4,4...5,0	1,0	38	6,7	0,6	46
VKJ2450AI	Varian of Canada	5,9...6,4	1,5	37	7,5	0,87	32
LD4134A/B	Nippon Electronic	5,9...6,4	3	42	8,5	0,84	45
VA869A	Varian	9,5...10,6	0,5	53	6,0	0,5	-
ТН2410	Thomson-CSF	9,2...10,6	1,5	60	9,0	0,7	9,9

Примечание: В таблице 7.5  $P_{ВЫХ}$  - выходная мощность,  $K_y$  - коэффициент усиления,  $U_A$  - анодное напряжение,  $I_A$  - анодный ток,  $m$  - масса.

**Таблица 7.6**  
**Основные параметры наиболее мощных импульсных**  
**ЛБВ**

Тип прибора	Фирма-изготовитель	$f$ , ГГц	$P_{ц}$ , кВт	$K_z$	$K_y$ , дБ	$U_{ЭС}$ , кВ	$m$ , кг
QKW1701	Raytheon	1,2...1,4	300	0,033	50	48	91
56П	Hughes	3,1...3,5	250	0,02	53	48	68
PT1020	EMI-Varian	5,35...5,85	4000	0,0015	33	135	240 <sup>1)</sup>
635Н	Hughes	5,40...5,85	200	0,04	48	50	25
N1061	Englich Electric V.	7,7...8,3	900	0,005	33	100	145
739Н	Hughes	8,4...9,2	200	0,005	12	48	5,4
752Н	Hughes	8,4...9,4	100	0,01	16	50	13,5
835Н	Hughes	15,9...16,4	185	0,01	48	85	13,5

<sup>1)</sup> С фокусирующим соленоидом.

Примечание: ЛБВ могут использоваться также в качестве генераторов и умножителей частоты. Мощные ЛБВ обеспечивают в импульсном режиме мощность до нескольких мегаватт, КПД - до 35%.

В таблице 7.6  $P_{II}$  - выходная мощность в импульсе,  $K_3$  - коэффициент заполнения (величина, обратная скважности),  $K_y$  - коэффициент усиления,  $U_{3C}$  - напряжение на замедляющей системе,  $m$  - масса.

Таблица 7.7

### Основные параметры ЛОВ О-типа с повышенной выходной мощностью

Тип прибора	Фирма-изготовитель	$f$ , ГГц	$P_{ВЫХ\min}$ , кВт	$U_{3C\max}$ , кВ	$I_K$ , мА	$m$ , кг
SE214A50	Watkins-Johnson	1,0...2,0	0,45	1,5	17	6,6
F4029E	ITT	2,0...4,0	0,7	1,7	55	5,3
VA160N	Varian	5,4...5,9	0,4	0,8	41	3,8
CO80	Thomson- CSF	39,5...40,5	10,0	6,0	80	16
BW050	OKI Electric Ind.	40,0...60,6	2,0	3,0	10	7
CO40B	Thomson- CSF	69,0...71,0	5,0	6,0	60	16
CO40A	Thomson- CSF	73,0...76,0	3,0	6,0	60	16
BW080	OKI Electric Ind.	60,0...90,0	1,0	3,0	10	7
CO20B	Thomson- CSF	128...136	0,2	6,0	60	16
CO20A	Thomson- CSF	150...156	0,2	6,0	60	16

Примечание: В таблице 7.7  $P_{ВЫХ\min}$  - минимальная выходная мощность в диапазоне электронной перестройки частоты,  $U_{3C\max}$  - максимальное напряжение на замедляющей системе,  $I_K$  - ток коллектора,  $m$  - масса.

Таблица 7.8

### Основные параметры маломощных митронов

Тип прибора	Фирма-изготовитель	$f$ , ГГц	$P_{ВЫХ}$ , Вт	$U_{A\max}$ , кВ	$I_A$ , мА
0,25P0,35-1S	Micron	0,35...1	0,25	2,4	5
0,25PL0,4-1,2S	Micron	0,4...1,2	0,25	2,4	5
0,5PL0,5-1,5S	Micron	0,5...1,5	0,5	2,4	10
0,5LS1-3S	Micron	1...3	0,5	2,4	10
EM1332	Varian	2...3	0,1	2	10
Z5360	General Electric	2,8...3,5	0,1	2	10
Z5429	General Electric	8,5...11	0,01	2	30

Примечание: В таблице 7.8  $P_{ВЫХ}$  - номинальная выходная мощность,  $U_{Amax}$  - максимальное анодное напряжение.

**Таблица 7.9**

**Основные параметры мощных импульсных усилителей магнетронного типа**

Тип прибора	Фирма - изготовитель	$f$ , ГГц	$P_{лв}$ , кВт	$K_3$	$K_{у}$ , дБ	$U_A$ , кВ	$I_A$ , А	$m$ , кг
SFD225	Varian	0,40...0,45	250	0,02	10	15	30	100
QKS576	Raytheon	0,57...0,63	10000	0,007	8	80	200	-
RK7577	Raytheon	1,28...1,35	5300	0,007	11	105	98	55
TH4011	Thomson- CSF	2,9...3,1	60	0,02	14	8	20	-
SFD238	Varian	3,1...3,5	125	0,08	12	15	20	18
SFD254	Varian	3,1...3,5	500	0,01	14	28	40	29
L5408	Litton	5,3...5,9	500	0,02	13	22	750	38
SFD222	Varian	5,4...5,9	1000	0,014	17	40	60	26
SFD252	Varian	5,4...5,9	2000	0,01	13	35	120	-
SFD242	Varian	9,0...9,6	1000	0,0025	14	40	60	17
QKS1705	Raytheon	9,5...10,0	500	0,001	12	34	45	12,5
SFD236	Varian	16...17	100	0,0012	17	16	27	6,8

Примечание: Усилитель магнетронного типа может работать также в режиме стабилитрона-генератора с высокой стабильностью частоты. Стабилитроны имеют КПД до 40-60 % и стабильность частоты на порядок выше, чем у магнетрона.

**Таблица 7.10**

**Характеристики генераторов с электронной перестройкой частоты колебаний**

Тип генератора	$f_0$ , МГц	$\Delta f$ , %	$h$ , %
LC – генератор	Вплоть до 50	$\pm 15$	$\pm 0,5$
Кварцевый генератор	0,1-300	$\pm 0,25$	$\pm 1$
Трехточечный генератор на арсениде галля	60-2500	$\pm 2$	$\pm 2$
Перестраиваемый напряжением магнетрон	100-10000	$\pm 50$	$\pm 1$
Генератор обратной волны	2000-18000	$\pm 20$	$\pm 03$

Обозначения:  $f_0$  - центральная частота;  $\Delta f$  - максимальная девиация частоты в % от центральной частоты;  $h$  - максимальная нелинейность ЧМ в % от девиации.

Таблица 7.11

### Характеристики пассивных устройств обработки ЛЧМ-сигналов

Устройство	$B$ , МГц	$T$ , мкс	$BT$	$f_0$ , МГц	$\Pi$ , дБ	$m$ , дБ
Полосковая линия задержки: алюминиевая	1	500	200	5	15	-60
	20	350	500	45	70	-55
Дифракционная линия задержки: перпендикулярная на поверхностных волнах клинообразного типа	40	75	1000	100	30	-45
	40	50	1000	100	70	-50
	250	65	1000	500	50	-50
Меандровая линия с изогнутой лентой	1000	1,5	1000	2000	25	-40
Волновод, работающий на частотах вблизи частоты среза	1000	3	1000	5000	60	-25
ЖИГ-кристалл	1000	10	2000	2000	70	-20

Обозначения:  $B$  - ширина спектра сигнала;  $T$  - длительность сигнала;  $f_0$  - центральная частота;  $\Pi$  - потерив устройстве;  $m$  - уровень паразитных боковых лепестков после сжатия.



**Таблица 7.12**  
**Маломощные узкополосные усилители фирмы «Микран» с коаксиальными входом и выходом**

№	Наименование	Диапазон частот, ГГц	Коэф.шума, дБ (+25°С)	Коэф. усиления, дБ	Р <sub>вых.</sub> , дБ	КСВН вх/вы
1	MALN3442-01	3,4-4,2	0,5	25	10	3.0/2.0
	MALN3442-02		0,5	35		
	MALN3442-03		0,8	25		
	MALN3442-04		0,8	35		
2	MALN4450-02	4,4-5,0	0,55	33	10	3.0/2.0
	MALN4450-03		0,9	23	10	1.5/1.5
	MALN4450-04		0,9	33	10	1.5/1.5
3	MALN5868-02	5,8-6,8	0,6	30	10	3.0/2.0
	MALN5868-03		1,0	20	10	1.5/1.5
	MALN5868-04		1,0	30	10	1.5/1.5
4	MALN6677-12	6,6-7,9	0,6	30	10	3.0/2.0
	MALN6677-13		1,0	20	10	1.5/1.5
	MALN6677-14		1,0	30	10	1.5/1.5
5	MALN7984-02	7,9-8,7	0,6	30	10	3.0/2.0
	MALN7984-03		1,0	20	13	1.5/1.5
	MALN7984-04		1,0	30	13	1.5/1.5
6	MALN109117-02	10,7-11,7	0,65	30	10	3.0/2.0
	MALN109117-03		1,2	20	13	1.5/1.5
	MALN109117-04		1,2	30	13	1.5/1.5
7	MALN117127-02	11,7-12,7	0,75	27	10	3.0/2.0
	MALN117127-03		1,3	18	13	1.5/1.5
	MALN117127-04		1,3	27	13	1.5/1.5
8	MALN1091275-02	10,9-12,8	0,8	27	10	3.0/2.0
	MALN1091275-03		1,3	18	13	1.5/1.5
	MALN1091275-04		1,3	27	13	1.5/1.5
9	MALN144155-02	14,4-15,5	1,0	25	10	2.5/2.0
	MALN144155-03		1,5	16	13	1.5/1.5
	MALN144155-04		1,5	25	13	1.5/1.5
10	MALN177197-01	17,7-19,7	1,3	16	10	2.0/2.0
	MALN177197-02		1,3	25	10	2.0/2.0
11	MALN195215-02	19,5-21,5	1,4	20/30	10	2.0/2.0
12	MALN210235-01	21,0-23,5	1,6	20/30	10	2.0/2.0
13	MALN235255-01	23,5-25,5	1,8	20/30	10	2.0/2.0
14	MALN-250275-01	25,0-27,5	2,0	20/30	10	2.0/2.0

Примечание: Питание: +8...+15В нестабилизированное напряжение или +5В стабилизированное. Рабочий температурный диапазон  $\pm 50^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 7.13

**Малошумящие узкополосные усилители фирмы  
«Микран» с волноводными входом и выходом**

№	Наименование	Диапазон частот, ГГц	Коэф.шума, дБ (+25°С )	Коэф. усиления, дБ	Р <sub>ВЫХ</sub> , дБ	КСВН вх/вы
1	MALN3442-11	3,4-4,2	0,2	35	10	3,0/2,0
	MALN3442-14		0,5	35		1,5/1,5
2	MALN4450-11	4,4-5,0	0,25	35	10	3,0/2,0
	MALN4450-14		0,5	35	10	1,5/1,5
3	MALN5868-12	5,8-6,8	0,3	30	10	3,0/2,0
	MALN5868-14		0,6	30	10	1,5/1,5
4	MALN6677-12	6,6-7,9	0,3	30	10	3,0/2,0
	MALN6677-14		0,7	30	10	1,5/1,5
5	MALN7984-12	7,9-8,7	0,3	30	10	3,0/2,0
	MALN7984-14		0,7	30	13	1,5/1,5
6	MALN109117-12	10,7-11,7	0,35	30	10	3,0/2,0
	MALN109117-14		0,8	30	13	1,5/1,5
7	MALN117125-12	11,7-12,8	0,35	30	10	3,0/2,0
	MALN117125-14		0,8	30	13	1,5/1,5
8	MALN1091275-12	10,9-12,8	0,4	27	10	3,0/2,0
	MALN1091275-14		1,0	27	13	1,5/1,5
9	MALN144155-12	14,4-15,5	0,6	25	10	2,5/2,0
	MALN144155-14		1,3	25	13	1,5/1,5
10	MALN170197-11	17,7-19,7	0,8	25	10	2,0/2,0
11	MALN195215-12	19,5-21,5	1,1	20/30	10	2,0/2,0
12	MALN210235-11	21,0-23,5	1,2	20/30	10	2,0/2,0
13	MALN235255-11	23,5-25,5	1,3	20/30	10	2,0/2,0
14	MALN-250275-11	25,0-27,5	1,4	20/30	10	2,0/2,0

Примечание: Питание: +8...+15В нестабилизированное напряжение или +5В стабилизированное. Рабочий температурный диапазон  $\pm 50^{\circ}\text{C}$ .

## 8. ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

### ЗАДАНИЕ № 1

1. Тема проекта: импульсная самолетная РЛС для наблюдения за надводными кораблями.

2. Назначение: РЛС предназначена для использования на самолетах, входящих в состав авиационных патрулей.

3. Основные тактико-технические требования:

1) дальность действия  $R_{MAX}$  не менее .....км в условиях дождя средней интенсивности;

2) сектор обзора  $q_{ОБЗ}$  не менее .....

3) период обзора  $T_{ОБЗ}$  не более .....

4) вероятность  $D$  обнаружения цели типа .....; за период обзора не менее.....;

5) разрешающая способность по дальности  $d_R$  не хуже .....

6) среднеквадратическая ошибка измерения дальности  $S_R$  - не более .....

7) разрешающая способность по азимуту не хуже 200 м на дальности .....L.....;

8) среднеквадратическая ошибка измерения азимута  $S_a$  - не более .....

9) наибольший размер зеркала антенны .....  $d_A$  .....

4. Содержание работы

1) составить электрическую функциональную схему РЛС;

2) выбрать и обосновать технические характеристики функциональной схемы:

длину волны,

мощность передатчика, чувствительность приемника, частоту повторения импульсов,

длительность импульсов и параметры внутриимпульсной модуляции,

тип антенны, форму диаграммы направленности и способ ее реализации,

тип выходных электровакуумных или полупроводниковых приборов передатчика,

3) найти превышение сигнала от корабля над отражениями от морской поверхности при спокойном море.

5. Перечень обязательных чертежей - схема электрическая функциональная (Э2).

**Таблица 8.1**

Параметры	Варианты				
	1	2	3	4	5
R, км	100	150	200	250	300
$q_{OБЭ}$ , градусов	120	90	60	45	30
$T_{OБЭ}$ , с	5	5	3	4	4
Тип цели	Катер	Катер	Катер	Малый корабль	Рубка ПЛ
D	0,99	0,95	0,9	0,85	0,85
$d_R$ , м	30	40	50	80	100
$s_R$ , м	30	40	50	80	100
L, км	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
$d_A$ , м	1	1	1	1,5	2

## ЗАДАНИЕ № 2

1. Тема проекта: РЛС обзора летного поля.

2. Назначение: РЛС обзора летного поля предназначена для наблюдения с диспетчерского пункта аэропорта за перемещениями самолетов и автомобилей на летном поле и вблизи него.

3. Основные тактико-технические требования:

1) сектор обзора  $q_{ОБЗ}$  не менее .....

2) период обзора  $T_{ОБЗ}$  не более .....

3) дальность действия  $R_{МАХ}$  по цели типа автомобиль не менее ..... в условиях сильного дождя;

4) вероятность  $D$  обнаружения цели за период обзора - не менее .....

5) разрешающая способность по дальности  $d_R$  не хуже .....

б) среднеквадратическая ошибка измерения дальности  $S_R$  - не более .....

7) разрешающая способность по азимуту не хуже  $d_l$  м на дальности .....1 км.....;

8) среднеквадратическая ошибка измерения азимута  $S_a$  не более .....

4. Содержание работы

1) составить электрическую функциональную схему РЛС;

2) выбрать и обосновать технические характеристики функциональной схемы:

длину волны,

мощность передатчика,

чувствительность приемника,

частоту повторения импульсов,

длительность импульсов и параметры внутриимпульсной модуляции,

тип антенны, форму диаграммы направленности и способ ее реализации,

тип выходных электровакуумных или полупроводниковых приборов передатчика,

3) найти превышение сигнала от самолета над сигналом от летного поля с бетонным покрытием.

5. Перечень обязательных чертежей - схема электрическая функциональная (Э2).

**Таблица 8.2**

Параметры	Варианты				
	1	2	3	4	5
$q_{OБЗ}$ , градусов	30	40	50	60	75
$T_{OБЗ}$ , с	3	3	3	4	5
$R_{MAX}$ , км	5	10	10	15	20
D	0,99	0,99	0,95	0,95	0,95
$dR$ , м	5	5	7	10	10
$s_R$ , м	10	10	15	20	30
$d_l$ , м	5	5	7	10	10
$s_a$ , градусов	0,3	0,3	0,5	0,3	0,2

### ЗАДАНИЕ № 3

1. Тема проекта: Корабельная РЛС с непрерывным излучением и частотной модуляцией.

2. Назначение: РЛС предназначена для наблюдения за судами и другими надводными объектами при входе в гавань в условиях плохой оптической видимости.

3. Основные тактико-технические требования:

1) дальность действия  $R_{MAX}$  - не менее ..... в условиях сильного дождя и тумана;

2) сектор обзора по азимуту  $q_{ОБЗ}$  - не менее .....

3) период обзора  $T_{ОБЗ}$  не более .....

4) разрешающая способность по азимуту  $d_a$  не хуже .....

5) среднеквадратическая ошибка измерения азимута  $S_a$  не более .....

6) разрешающая способность по дальности  $d_R$  не хуже .....

7) среднеквадратическая ошибка измерения дальности  $S_R$  - не более .....

4. Содержание работы

1) составить электрическую функциональную схему РЛС;

2) выбрать и обосновать технические характеристики функциональной схемы:

длину волны,

мощность передатчика,

чувствительность приемника,

вид модулирующей функции,

период модуляции и девиацию частоты,

естабильность частоты модуляции и девиации частоты,

тип анализатора частоты биений,

форму диаграммы направленности и способ ее технической

реализации,

тип электровакуумных или полупроводниковых выходных приборов передатчика.

5. Перечень обязательных чертежей - схема электрическая функциональная (Э2).

**Таблица 8.3**

Параметры	Варианты				
	1	2	3	4	5
$R_{MAX}$ , км	2	4	6	8	10
$q_{OБЭ}$ , градусов	120	120	90	60	60
$T_{OБЭ}$ , с	2	5	8	10	15
$da$ , градусов	1	2	3	4	5
$dR$ , м	20	25	100	150	200
$S_R$ , м	20	25	100	150	200



## ЗАДАНИЕ № 4

1. Тема проекта: РЛС системы противовоздушной обороны.

2. Назначение: обнаружение самолетов противника на дальних подступах к охраняемым объектам и измерение их координат.

3. Основные тактико-технические требования:

1) измеряемые координаты - азимут, дальность, угол места;

2) дальность действия по самолету типа ..... летящему на высоте ..... не менее .....км при вероятности обнаружения ..... в условиях дождя .....интенсивности;

3) сектор обзора по азимуту - 360 градусов, предусмотреть работу в режиме секторного обзора, величина сектора - ....., направление оси симметрии сектора устанавливается оператором;

4) сектор обзора по углу места;

5) период обзора - не более .....

6) разрешающая способность по азимуту - не хуже .....

7) среднеквадратическая ошибка измерения азимута - не более .....

8) разрешающая способность по дальности - не хуже .....

9) среднеквадратическая ошибка измерения дальности - не более .....

10) среднеквадратическая погрешность измерения угла места - не более.....

4. Содержание работы

1) составить электрическую функциональную схему РЛС;

2) выбрать и обосновать технические характеристики функциональной схемы:

длину волны,

мощность передатчика,

чувствительность приемника,

частоту повторения импульсов,

длительность импульсов и параметры внутриимпульсной модуляции,

тип антенны, форму диаграммы направленности и способ ее реализации,

тип выходных электровакуумных или полупроводниковых приборов передатчика.

3) оценить эффективность работы системы селекции движущихся целей при скорости перемещения облака отражателей 15 мс.

5. Перечень обязательных чертежей - схема электрическая функциональная (Э2).

## ЗАДАНИЕ № 5

1. Тема проекта: радиовысотометр.
2. Назначение: для пилотирования самолетов гражданской авиации,
3. Основные тактико-технические требования:
  - 1) максимальная высота  $H$ , км;
  - 2) среднеквадратическая погрешность измерения высоты в диапазоне до 100 м  $S_H$  не более .....;
  - 3) среднеквадратическая погрешность измерения высоты при больших высотах не более  $K$  % от измеряемой высоты;
  - 4) максимальный угол крена летательного аппарата  $g_{KP}$  не более .....;
  - 5) индикация - по стрелочному прибору с максимальным углом отклонения стрелки  $g_{max}$ , а также цифровая.
4. Содержание работы
  - 1) выбрать тип излучения (импульсный, непрерывный), вид модуляции, составить электрическую функциональную схему радиовысотометра;
  - 2) выбрать и обосновать технические характеристики функциональной схемы:
    - длину волны,
    - мощность передатчика,
    - параметры модуляции излучения и их допустимую нестабильность,
    - чувствительность приемника,
    - форму диаграммы направленности и способ ее технической реализации,
    - тип электровакуумных или полупроводниковых приборов передатчика.
5. Перечень обязательных чертежей - схема электрическая функциональная (Э2).

Таблица 8.5

Параметры	Варианты				
	1	2	3	4	5
$H$ , км	8	10	12	14	16
$s_H$ , м	0,5	0,5	1	1	1,5
$K$ , %	0,5	1	1,5	2	2,5
$g_{KP}$ , град.	10	7	9	8	6
$g_{MAX}$ , град.	150	180	120	180	270

б. Допускается использовать несколько поддиапазонов высот.

## ЗАДАНИЕ № 6

1. Тема проекта: носимая РЛС разведки наземных движущихся целей.

2. Назначение: наблюдение за передвижением войск и живой силы противника на поле боя;

охрана определенных рубежей, площадей или объектов от проникновения личного состава противника.

3. Основные тактико-технические требования.

1) дальность обнаружения в условиях дождя средней интенсивности идущего человека  $R_{MAX1}$  - не менее ..... .

2) подвижного транспортного средства  $R_{MAX2}$  - не менее ..... ;

3) минимальная измеряемая дальность  $R_{MIN}$  - не более ..... ;

4) сектор обзора по азимуту  $q_{OБЗ}$  - ..... ;

5) среднеквадратическая погрешность измерения дальности  $S_R$  - не более ..... ;

6) разрешающая способность по дальности  $d_R$  не хуже ..... ;

7) среднеквадратическая погрешность измерения азимута  $S_a$  не более ..... ;

8) разрешающая способность по азимуту  $d_a$  не хуже ..... ;

9) время обзора  $T_{OБЗ}$  не более ..... .

4. Содержание работы

1) выбрать тип излучения (импульсный, непрерывный), вид модуляции, составить электрическую функциональную схему РЛС;

2) выбрать и обосновать технические характеристики элементов функциональной схемы:

длину волны,

мощность передатчика,  
 вид и параметры модуляции излучения и их допустимую  
 нестабильность,  
 чувствительность приемника,  
 форму диаграммы направленности и способ ее технической  
 реализации,  
 тип выходных полупроводниковых приборов передатчика и  
 входных приемника.

5. Перечень обязательных чертежей - схема электрическая функциональная (Э2).

**Таблица 8.6**

Параметры	Варианты			
	1	2	3	4
$R_{MAX1}$ , м	600	600	-	-
$R_{MAX2}$ , м	3000	5000	12000	30000
$S_R$ , м	10	15	20	50
$d_R$ , м	10	20	50	50
$s_a$ , град.	0,5	0,3	0,3	0,3
$q_{OБЗ}$ , град.	360	360	120	120
$T_{OБЗ}$ , град.	60	60	20	30
$d_a$ , град	0,5	0,5	0,3	0,3
$R_{MIN}$ , м	50	50	100	100

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисов В.П., Дудко Б.П. Радиотехнические системы. - Томск: Изд-во ТУСУР, 2006 г. - 252 с.
2. Бартон Д., Вард Г. Справочник по радиолокационным измерениям. - М.: Советское радио, 1976.
3. История отечественной радиолокации /под ред. Я.С.Якунина. - М.: Изд-во «Столичная энциклопедия», 2011. - 768 с.
4. Васин В.В., Степанов Б.Н. Справочник-задачник по радиолокации. - М.: Советское радио, 1977.
5. Веницкий А.С. Очерк основ радиолокации при непрерывном излучении радиоволн. - М.: Советское радио, 1961.
6. Власов О.В., Смокин И.В. Радиооборудование летательных аппаратов. - М.: Воениздат, 1971.
7. Голев К.В. Расчет дальности действия радиолокационных станций. - М.: Советское радио, 1963.
8. Григорьянц В.Г. Технические показатели радиолокационных станций. - М.: Воениздат, 1963.
9. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: учеб. для вузов / П.А.Бакулев. - М.: Радиотехника, 2004. - 320 с.
10. Дулевич В.Е., Коростелев А.А., Мельник Ю.А. и др. Теоретические основы радиолокации. - М.: Советское радио, 1964, 1978.
11. Жуковский А.П., Оноприенко Е.И., Чижов В.И., Теоретические основы радиовысотометрии. - М.: Советское радио, 1979.
12. Зубкович С.Г. Статистические характеристики сигналов, отраженных от земной поверхности. - М.: Советское радио, 1968.
13. Красноголовый Б.Н. Индикаторные устройства. - М.: Высшая школа, 1970.
14. Коган И.М. Ближняя радиолокация. - М.: Советское радио, 1979.
15. Кукарин С.В. Электронные приборы СВЧ. - М.: Советское радио, 1981.
16. Кук М., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. - М.: Советское радио, 1971.

17. Мартынов В.А., Селихов Ю.И. Панорамные приемники и анализаторы спектра. - М.: Советское радио, 1980.

18. Новая РЛС обзора летного поля. - Радиоэлектроника за рубежом, 1982, № 15.

19. Перевезенцев Л.Г. и др. Радиолокационные системы аэропортов. Учебник для вузов гражданской авиации. - М.: Транспорт, 1981.

20. Проектирование радиолокационных приемных устройств /Под ред. М.А.Соколова. - М.: Высшая школа, 1984.

21. Проектирование РЛС обнаружения. Учебное пособие / Под ред. Ю.М.Казаринова. - Л.: Изд-во ЛЭТИ, 1988.

22. Пул Г. Основные методы и системы индикации. - М.: Энергия, 1969.

23. Радиотехнические системы /Под ред. Ю.М.Казаринова. - М.: Советское радио, 1968, 1990, 2009.

24. Радиолокационные устройства /Под ред. В.В.Григорина-Рябова. - М.: Советское радио, 1970.

25. Радиолокационные системы летательных аппаратов /Под ред. П.С.Давыдова - М.: Транспорт, 1977.

26. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория. Справочник /Под ред. Я.Д.Ширмана. - М.: ЗАО «Маквис», 1998.

27. Сколник М. Введение в технику радиолокационных систем. - Мир.: Мир, 1965.

28. Справочник по радиолокации /Под ред. Сколника. - М.: Советское радио, 1976-1978. - т. 1-4.

29. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. - М.: Высшая школа, 1988.

30. Сосновский А.А., Хаймович И.А. Авиационная радионавигация. - М.: Транспорт, 1980.

31. Сосновский А.А., Хаймович И.А. Радиоустройства бортовых навигационных и посадочных комплексов самолетов. - М.: Транспорт, 1977.

32. Современная радиолокация. Анализ, расчет и проектирование радиосистем. Перевод с английского под ред. Ю.Б.



Кобзарева. - М.: Советское радио, 1969.

33. Свистов В.М. Радиолокационные сигналы и их обработка. - М.: Советское радио, 1977.

34. Сперанский В.С. Оконечные устройства радиосистем. Учебное пособие. - М.: Изд-во ВЗЭИС, 1972.

35. Справочник по радиолокационным системам /Под ред. Б.Х.Кривицкого. - М.: Энергия, 1979. - т. 2.

36. Теоретические основы радиолокации /Под ред. Я.Д.Ширмана. - М.: Советское радио, 1970.

37. Информационные технологии в радиотехнических системах: учеб. пособие / В.А.Васин [и др.]; под ред. И.Б.Федорова. - М.: - Изд-во МГТУ им. Баумана, 2003. - 672 с.

38. Ширман Я.Д. Разрешение и сжатие сигналов. - М.: Советское радио, 1974.

39. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. - М.: Изд-во Техносфера, 2006. - 856 с.

ФОРМА ЗАДАНИЯ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
(первый лист)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ  
(ТУСУР)

Кафедра радиотехнических систем (РТС)

УТВЕРЖДАЮ  
Зав.кафедрой РТС

\_\_\_\_\_ Г.С.Шарыгин  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

ЗАДАНИЕ

На курсовое проектирование студенту группы \_\_\_\_\_ РТФ

1.Срок сдачи студентом законченного проекта

\_\_\_\_\_

2. Тема проекта:

\_\_\_\_\_

3. Назначение проектируемой системы \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

4. Основные тактико-технические требования \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

---

---

**ФОРМА ЗАДАНИЯ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ**  
(второй лист)

5. Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

---

---

---

---

---

---

---

---

6. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

---

---

---

---

---

7. Дата выдачи задания: \_\_\_\_\_

РУКОВОДИТЕЛЬ \_\_\_\_\_  
(подпись)

---

(должность, место работы, фамилия, имя, отчество)

---

Задание принял к исполнению (дата)

---

---

(подпись студента)

ОСНОВНАЯ НАДПИСЬ ДЛЯ ЧЕРТЕЖЕЙ

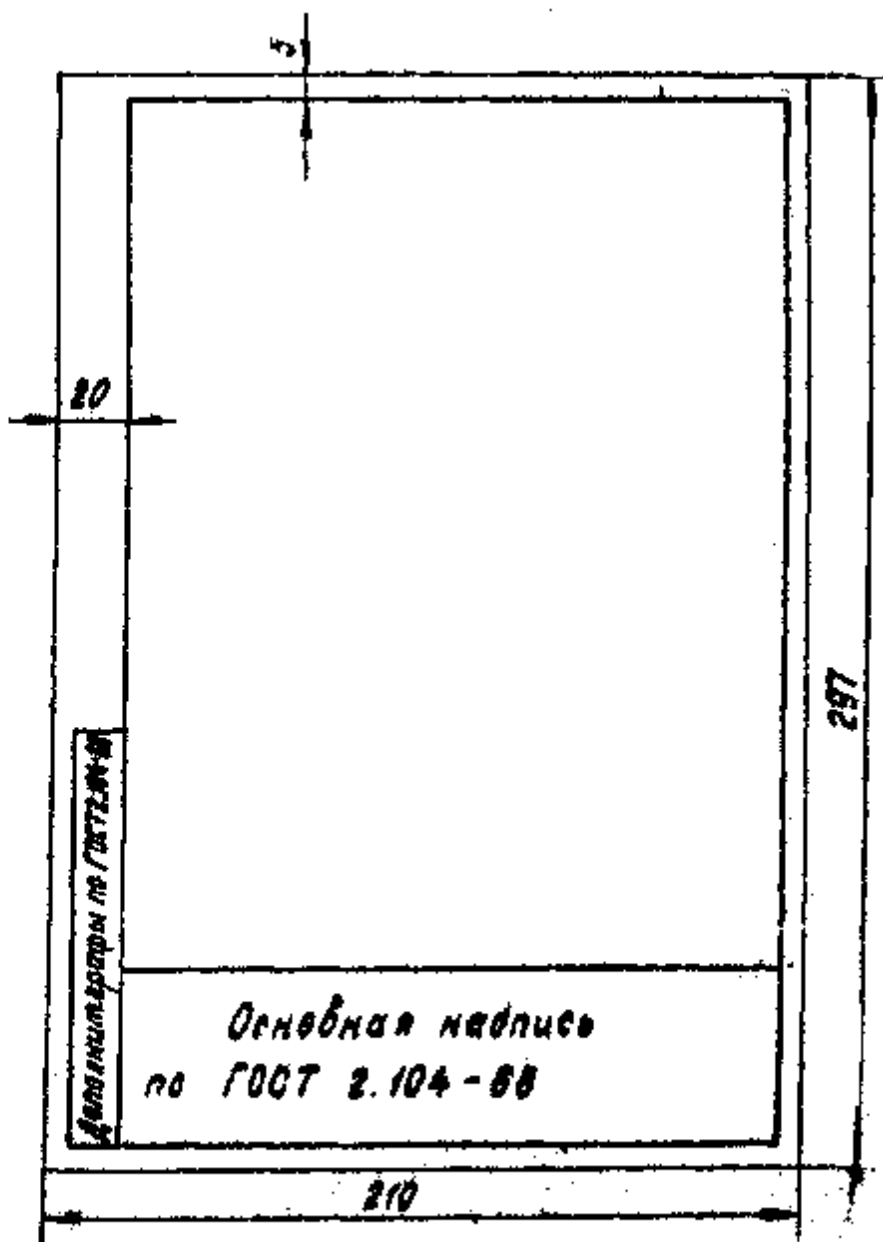
Пример выполнения основной надписи по ГОСТ 2.104-68, форма 1

7		10		13		15		18		21	
РТФ КЛ. XXX.001.32 <b>Радиовысотомер</b> Система электродинамическая функциональная											
Исполн.		М.В.Кум.		Лодт.		Дата		Лист		Листов	
Разработ.		Степанов						Лист		Листов	
Проб.		Иванов						Лист		Листов	
И.контр.											
Упр.		Петров									
105										50	
11x5 = 55											

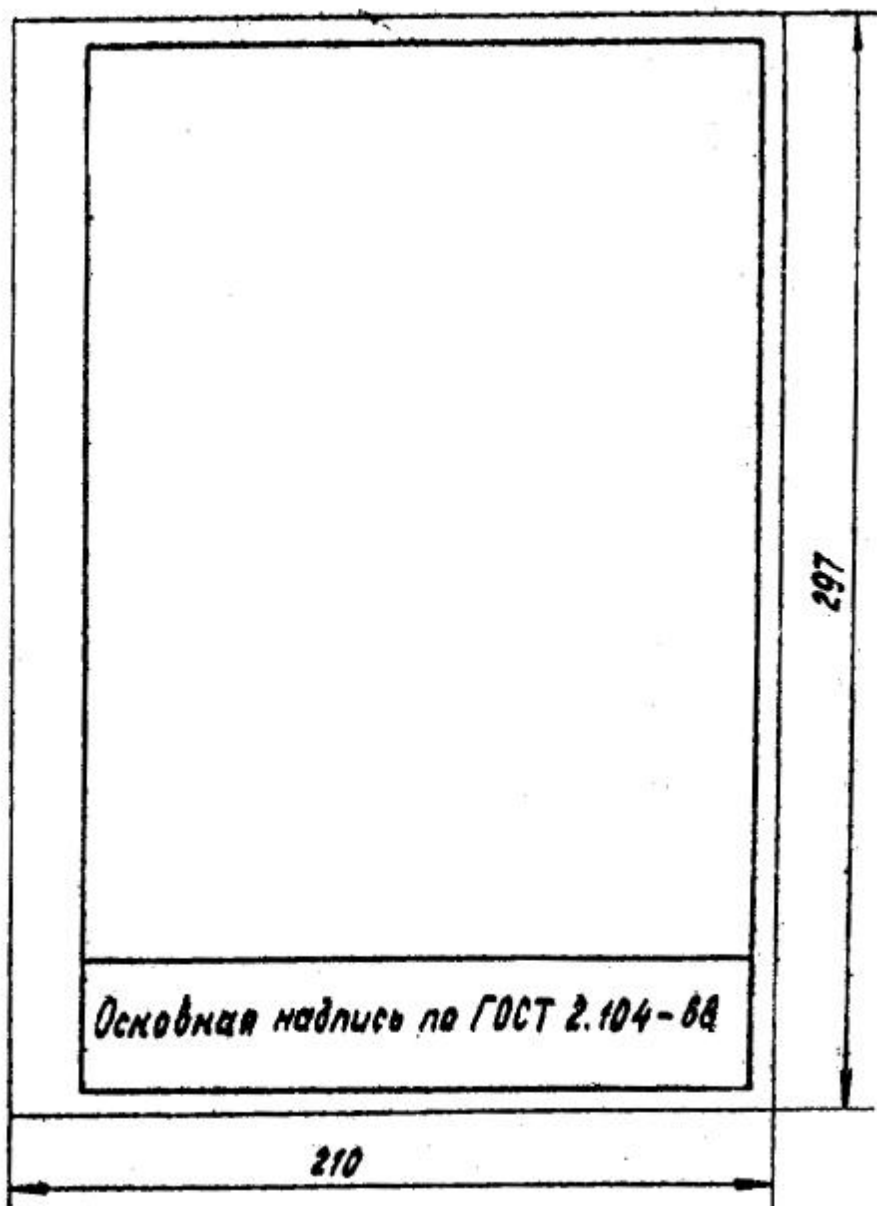
## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

## ФОРМЫ И ОСНОВНЫЕ НАДПИСИ ДОКУМЕНТОВ

Первый или заглавный лист «Форма 2»



## Последующие листы «Форма 2а»



Пример выполнения основной надписи для текстовых документов

				РТФ КП Х.ХХХ.001 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Листов
Разраб.		Петров				
Пробер.		Иванов			1	30
И. КОПИЯ						
Утв.						
	17	23	16	10	50	
				105		

50 × 40

					РТФ КП Х.ХХХ.001 ПЗ	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Листов
	7	10	23	16	7	
					105	

105 × 7

## ФОРМА ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ  
(ТУСУР)

Кафедра радиотехнических систем (РТС)

---

наименование темы проекта (прописными буквами)

---

Пояснительная записка к курсовому проекту по курсу  
Радиотехнические системы

Студент гр.  
(подпись) и.о. фамилия  
(дата)

Руководитель проекта  
должность и.о. фамилия  
(дата)



