

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

Кафедра технической эксплуатации
радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта

Э.А. Лутин

РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Учебно-методическое пособие
по курсовому проектированию

*для студентов V курса
специальности 25.05.03
всех форм обучения*

Москва
ИД Академии Жуковского
2020

УДК 629.5.052.3
ББК 0571.55
Л86

Рецензент:

Емельянов В.Е. – д-р техн. наук, профессор

Лутин Э.А.

Л86

Радиолокационные системы [Текст] : учебно-методическое пособие по курсовому проектированию / Э.А. Лутин – М.: ИД Академии Жуковского, 2020. – 36 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Радиолокационные системы» по учебному плану для студентов V курса специальности 25.05.03 всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 16.01.2020 г. и методического совета 16.01.2020 г.

УДК 629.5.052.3
ББК 0571.55

1. Методические рекомендации по курсовому проекту.

Объем часов планируемых для выполнения курсового проекта – 22 часа (9-ый семестр для студентов дневного отделения и 5 курс для студентов заочного отделения).

1.1. Общие положения

Повышение качества образования является одной из актуальных проблем Российского государства. В условиях перехода к рыночной экономике и интенсивного развития наукоемких технологий на рынке интеллектуального труда становятся более востребованными не только технически грамотные, но и гармонично развитые творческие личности, способные самостоятельно генерировать новые идеи.

Решение этой проблемы связано с модернизацией содержания образования, оптимизацией способов и технологий организации образовательного процесса, переосмыслением цели и результата образования.

Компетентностный подход в организации учебного процесса предполагает развитие в человеке способности ориентироваться в разнообразии сложных и непредсказуемых рабочих ситуаций, иметь представления о последствиях своей деятельности, а также нести за них ответственность.

1.2. Цели и задачи курсового проектирования

Курсовое проектирование является завершающим этапом изучения учебной дисциплины «Радиолокационные системы ВС и аэропортов», цели и задачи которого формулируются на основе применения в учебном процессе инструментальных компетенций.

Цель курсового проектирования состоит в том, чтобы научить студентов самостоятельно применять полученные знания для комплексного решения практических задач, привить навыки проектирования, производства расчетов, самостоятельного проведения научных исследований, а также технически грамотно и обоснованно принимать решения.

При курсовом проектировании решаются следующие задачи:

- систематизация и применение базовых знаний по дисциплинам «Теоретические основы радиолокации», «Устройства приема и обработки сигналов», «Устройства генерирования и формирования сигналов» и др. при разработке радиолокационных станций (РЛС), их систем и узлов;
- совершенствование навыков анализа и синтеза структуры РЛС и ее составных элементов;
- получение навыков по оформлению текстовой и графической документации в соответствии с требованиями единой системы конструкторской документации (ЕСКД);
- совершенствование навыков в использовании научно-технической литературы, справочников и государственных стандартов.
- совершенствование способностей студентов к организации и планированию;

- получение навыков по использованию вычислительной техники для моделирования и расчетов при проектировании РЛС.
Работа над курсовым проектом предусматривает обоснование, разработку и расчет отдельных элементов импульсного радиолокатора в соответствии с заданием на курсовой проект.

1.3. Организация работы по выполнению курсового проекта

Курсовой проект выполняется в соответствии с заданием, выдаваемым каждому студенту. Задание на курсовой проект сформулировано в тексте данных методических указаний или выдается руководителем в сроки, установленные учебным расписанием.

В задании на курсовой проект указывается тема, перечень подлежащих разработке вопросов и обязательного графического материала, исходные данные к проекту, рекомендованная литература, срок защиты курсового проекта. Курсовой проект состоит из двух частей: в первой части производится полный расчет тактико-технических характеристик радиолокатора, определяемого вариантом проекта (таблица 1), во второй части осуществляется расчет параметров отдельного узла радиолокатора, который выбирается в соответствии заданием данного варианта (таблица 2 или 3).

Задание на курсовой проект, его содержание и методические указания по его выполнению обсуждаются на установочной лекции для студентов заочного факультета. Студентам очного отделения задания выдаются в начале девятого семестра на первом плановом занятии по курсовому проектированию. На этих занятиях руководитель разъясняет цели и задачи работы, излагает требования к содержанию и оформлению расчетно-пояснительной записки и графического материала, определяет объем расчета элементов импульсного радиолокатора и последовательность выполнения работы.

Выполненный и оформленный курсовой проект предоставляется для рецензии, которая выполняется в течение пяти рабочих дней. Преподаватель проверяет соответствие расчетно-пояснительной записки и графических материалов заданию, правильность и обоснованность принятых технических решений и расчетов, грамотность и логичность изложения материала расчетно-пояснительной записки, правильность выполнения графического материала.

Правильно выполненный и оформленный курсовой проект допускается к защите. Решение о допуске и рекомендации по доработке проекта приводятся преподавателем в рецензии к расчетно-пояснительной записки.

Если курсовой проект содержит принципиальные ошибки, недоделки или не соответствует заданию, то он возвращается студенту на доработку. Исправленный проект представляется преподавателю для повторного рецензирования.

Студент, не представивший курсовой проект в установленный срок, к защите не допускается и считается имеющим академическую задолженность.

Во время работы над выполнением курсового проекта студент может

пользоваться консультациями преподавателя при непосредственном общении или через интернет, причем преподаватель должен консультировать только по сложным вопросам, не получивших достаточного освещения в учебной дисциплине и учебниках (учебных пособиях), а также по содержанию задания на курсовой проект.

2. Программное обеспечение (лицензионное)

MATLAB и его пакет визуального программирования SIMULINK.

1. Составление структурной схемы системы.
2. Выбор из библиотеки SIMULINK требуемых модулей и соединение их в соответствии с логикой структурной схемы.
3. Настройка и согласование параметров блоков.
4. Установка значений параметров моделирования.
5. При выполнении проекта могут оказаться полезными материалы кафедры в электронной форме, включенные в состав учебного методического комплекса дисциплины, размещенного на сайте Университета – www.MSTUCA.ru

Для консультаций студент может использовать электронный адрес кафедры АРЭС – ares@mstuca.ru

3. Литература

Основная:

1. Болелов Э.А., Козлов А.И., Лутин Э.А., Прохоров А.В., Стукалов С.Б., Яманов Д.Н. Радиолокационные системы воздушного транспорта. М.- РИО МГТУ ГА, 2018.
2. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. - М.: Радиотехника, 2007.
3. Радиолокационные системы воздушных судов под ред. П.С. Давыдова. - М.: Транспорт, 1988.
3. Кузнецов А.А., Козлов А.И., Криницин В.В. и др. Радиолокационное оборудование автоматизированных систем УВД. - М.: Транспорт, 1995.
4. Козлов А.И., Лутин Э.А. Радиолокационные системы Учебное пособие ч. 3 «Радиолокационные системы аэропортов». – М.: МГТУ ГА, 2010.- 120 с.

Дополнительная:

В зависимости от тематики курсового проекта целесообразно использовать один-два литературных источника

5. Ботов М.И., Вяхирев В.А. Основы теории радиолокационных систем и комплексов. Учебник. – Красноярск: СФУ, 2013.
6. Ботов М.И. Введение в теорию радиолокационных систем: монография / М.И. Ботов, В.А. Вяхирев, В.В. Девотчак; ред. М.И. Ботов. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012.
7. Приданов В.Г. Самолетная метеонавигационная РЛС «Гроза». - Рига: РКИИГА, 1975.

8. Власов О.П., Гушин А.А., Макурин М.И. Самолетные ответчики гражданской авиации. - Рига: РКИИГА, 1987.
9. Авиационная радиолокация: Справочник / под ред. Давыдова П.С.. - М.: Транспорт, 1984.
10. Смирнов В.Е. Микропроцессоры и их применение в системах передачи и обработки сигналов. – М.: Радио и связь, 1996.
11. Проектирование радиопередающих устройств / под ред. Шахгильдяна В.В. - М.: Радио и связь, 2003.
12. Проектирование радиолокационных приемных устройств / под ред. Соколова М.А. – М.: Высшая школа, 1984.
13. Кочержевский Г.Н., Ерохин Г.А., Козырев Н.Д. Антенно-фидерные устройства. - М.: Радио и связь, 1989.
14. Антенны и устройства СВЧ (Проектирование ФАР) / под ред. Воскресенского Д.И. - М.: Сов. Радио, 1972.
15. Телевидение / под ред. Джакони А.В. – М.: Радио и связь, 2003.
16. Нечаев Е.Е., Бudyкин А.В. «Антенные устройства в гражданской авиации». Курск, Из-во «Пресс-Факт», 2005.
17. Петренко С.П. Радиолокатор обзора летного поля (ОЛП): Учебное пособие. - Киев.: КИИГА. 1973.
18. Бувевич А.Н. Умножители частоты. – М.: Сов.радио, 1970.
19. Проектирование радиоэлектронных устройств на интегральных микросхемах / под ред. Шаца С.Я. - М.: Сов.радио, 1976.
20. Технические описания наземных радиолокационных систем.
21. Технические описания бортовых радиолокационных систем.
22. Зильберман М.И., Карпухин В.И., Лернер В.Е. Вторичный радиолокатор "Корень": учебное пособие. – Рига.: РКИИГА, 1982.
23. Зильберман М.И., Кутаев В.А., Лернер В.Е. Радиолокационные средства современных систем управления воздушным движением.- Рига.: РКИИГА, 1981.

24. Мозгалецкий А.В., Гаскаров Д.В. Техническая диагностика. – М.: Высшая школа, 1975.
25. Проектирование радиолокационных устройств / под ред. Соколова М.А. - М.: Высшая школа, 1984.
26. Кузьмин С.В. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. - М.: Радио и связь, 1986.
27. Алексеенко А.Г., Шагурин И.И. Микросхемотехника. - М.: Радио и связь, 1986.
28. Проектирование импульсных и цифровых устройств радиотехнических систем / под ред. Казаринова Ю.М. - М.: Высшая школа, 1985.
29. Цифровые фильтры и устройства обработки сигналов на интегральных микросхемах / под ред. Высоцкого Б.Ф. - М.: Радио и связь, 1984.
30. Липницкий Е.Д. и др. Посадочный радиолокатор РП-3Г. – М.: Машиностроение, 1987.
31. Бычков С.И., Пахолков Г.А., Яковлев В.Н. Радиотехнические системы предупреждения столкновений самолетов. - М.: Сов.радио, 1977.
32. Бабаев В.Г. Основы цифровой схемотехники. Ч.1. М.: МИИГА, 1990.
33. Бабаев В.Г. Основы цифровой схемотехники. Ч.П. М.: МИИГА, 1991.
34. Перевезенцев Л.Т., Зеленков А.В., Огарков В.Н. Радиолокационные системы аэропортов. - М.: Транспорт, 1981.
35. Огарков В.Н, Перевезенцев Л.Т., Харченко В.П., Никифоров Г.И. Аппаратура первичной обработки информации в автоматизированных системах управления воздушным движением: учебное пособие. - Киев.: КИИГА, 1985.

Справочная литература:

36. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам (например, под ред. Н.Н. Горюнова. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы). – М.: Энергоатомиздат, 1985.
37. Справочник по радиолокации, перевод с английского под общей редакцией Скольника М. В 4-х томах. – М.: Сов. Радио, 1976-1979.

Регламентирующая:

38. Стандарт СЭВ 1823-79. Системы вторичной радиолокации для УВД. Состав, типы оборудования и общие технические требования. Ввод. 1.01.1982 (ГОСТ 21800-78). - М.: Изд-во стандартов. 1976.
39. Нормы летной годности самолетов НЛГС-3. - М.: МГА, 1985.
40. Наставление по производству полетов в гражданской авиации СССР (НПП ГА - 78). - М.: Воздушный транспорт, 1978.

4. Выбор задания на курсовой проект

В настоящих методических указаниях разработано более 100 заданий на курсовой проект. Номер варианта и задания, который должен выполнить

студент, определяется двумя последними цифрами номера его зачетной книжки и выбирается с помощью таблиц 1, 2 и 3. Номер варианта выбирается с помощью Таблицы 1, и он соответствует последней цифре номера зачетной книжки студента. Каждый вариант включает в себя десять заданий, выбор которых осуществляется путем суммирования двух последних цифр зачетной книжки студента и соответствует последней цифре полученной суммы. Причем, если студент разрабатывает первичный радиолокатор (варианты 1,5,6,7,9 и 10) , он выбирает задание с помощью таблицы 2, а если вторичный (варианты 2,3,4 и 8), то с помощью таблицы 3.

Таблица 1

№ варианта	Последняя цифра	Тип радиолокационной станции ГА
1	1	Бортовая МНРЛС
2	2	СО
3	3	СО с адресным запросом
4	4	Система предупреждения столкновений
5	5	Первичная трассовая РЛС
6	6	Первичная аэродромная РЛС
7	7	Посадочная РЛС
8	8	Вторичная РЛС
9	9	РЛС обзора летного поля
10	0	Метеорологическая РЛС

Таблица 2

№ задания	Последняя цифра суммы	Разрабатываемый узел первичной РЛС
1	1	РПУ (в том числе, принимаюго сложные сигналы)
2	2	РПДУ некогерентный
3	3	РПДУ когерентный
4	4	Индикатор кругового обзора
5	5	Индикатор телевизионного типа
6	6	Синхронизатор
7	7	Система АПЧ (гетеродина или генератора)
8	8	Видеосуилитель (для различных режимов РЛС)
9	9	Антенная система с электронным управлением
10	10	Система ЧПК режима СДЦ

Таблица 3

№ задания	Последняя цифра суммы	Разрабатываемый узел вторичной РЛС
1	1 и 10	РПУ
2	2 и 9	РПДУ некогерентный
3	3 и 8	РПДУ когерентный
4	4	Антенна
5	5	Система подавления запросов СО по боковым лепесткам ДНА ВРЛ (запросчика)
6	6	Дешифратор сигналов запроса в различных режимах
7	7	Шифратор СО (одного информационного параметра)

Приведем пример выбора задания на курсовой проект. Например, две последние цифры зачетной книжки 39, тогда он выбирает вариант № 9, а задание № 2, что соответствует расчету ТТХ РЛС обзора летного поля и разработке узла РЛС – некогерентного РПДУ.

Студент может взять тему курсового проекта, связанную с нуждами производства (в рамках дисциплины) по согласованию с преподавателем. В ряде случаев тема может быть выдана преподавателем для конкретного студента индивидуально (например, в рамках дисциплины по тематике научно-исследовательских работ).

5. Методические рекомендации по выполнению курсового проекта

5.1 Структура курсового проекта

Курсовой проект является завершающим этапом при изучении дисциплины «Радиолокационные системы ВС и аэропортов» в рамках специальности 160905. Основная его задача состоит в развитии навыков самостоятельной работы с различной технической литературой и умения использования известных технических и схемных решений для реализации заданных тактических характеристик РЛС. Не допускается выполнение пересчетных проектов на основе конспектирования разделов технических описаний и другой литературы по соответствующему типу РЛС. При выполнении проекта не допускается в качестве исходных данных использовать нормы ИСАО и РФ, также тактико-технические характеристики действующих и перспективных РЛС. Указанные данные могут быть использованы только для сопоставления и сравнительного анализа результатов проектирования. При проектировании рекомендуется следующая очередность выполнения работ:

1. Исходя из назначения РЛС и анализа задания на курсовое проектирование

установить перечень тактических задач, решаемых данной РЛС при УВД. При этом следует учитывать, что в гражданской авиации приняты следующие статистические характеристики обнаружения: вероятность правильного обнаружения составляет величину $D=0,6$ до $0,8$, а вероятность ложной тревоги принимают в пределах $F=10^{-6}$ до $F=10^{-8}$.

Выделить особенности функционирования РЛС, ее взаимодействие с другими средствами обеспечения полетов. На этой основе предложить общую структуру РЛС, желательно с различными вариантами технических решений и выбрать наиболее совершенной из них.

2. Исходя из решаемых задач выбрать совокупность тактических характеристик РЛС. Произвести обоснование и расчет этой группы показателей РЛС. При этом совершенно недопустимо определение тактических характеристик РЛС через ее технические характеристики. При обосновании некоторых тактических характеристик может оказаться, что для получения их численного значения нет необходимых данных. В этом случае надо четко указать способ вычисления значения этой тактической характеристики, а само значение ее для последующих расчетов взять из норм ИКАО или других источников. При разработке тактических характеристик РЛС желательно воспользоваться данными по конкретному аэропорту или участку трассы, если студент является работником эксплуатационного авиапредприятия. Допускается использовать для этих целей данные, взятые из технической литературы по организации воздушного пространства УВД и нормативной документации ФАС.

3. По полученным тактическим характеристикам необходимо произвести расчет всех основных технических характеристик РЛС. При этом необходимо использовать знания и навыки как по курсу «Теоретические основы радиолокации», так и по другим дисциплинам. При расчете тактических характеристик необходимо учесть их взаимозависимость и принимать наиболее рациональный вариант. Необходимо также обращать внимание на техническую реализуемость характеристик РЛС.

4. Следующим этапом проектирования является разработка и обоснование общего функционального построения РЛС. Здесь необходимо сформулировать технические требования к ее элементам. Функциональная схема должна отражать основной принцип действия, для чего необходимо в ней выделить те узлы и элементы, которые характерны именно для решения заданных тактических задач. Так для ВРЛ характерна антенна в виде линейной решетки, для которой необходима схема защиты. Вращение антенны ВРЛ должно быть синхронным с антенной первичной РЛС, поэтому надо предусмотреть схему стабилизации и управления. Из общей функциональной схемы должны быть видны особенности формирования и структура (формат) зондирующего сигнала, принцип обработки принятого сигнала, методы защиты от различных помех, характер автоматических регулировок и т.д. Необходимо показать, принцип работы индикаторного устройства, формирование калибрационных меток, способы вывода дополнительной информации. В заключение нужно дать описание

функциональной схемы, которое должно отражать основные соображения по выбору конкретных технических решений.

5. При разработке функциональной схемы устройства РЛС, подлежащего детальной разработке, необходимо глубоко понимать решаемые им задачи и метель увязывать их с задачами, решаемыми всей системой. Произвести всестороннее обоснование принимаемых технических решений. При необходимости дать несколько альтернативных вариантов. Сложность этого этапа обусловлена необходимостью значительной детализации схемы, т.е. в этой схеме должны быть показаны все каскады, входящие в устройство, все регулировки и связи между ними. Должно быть проведено обоснование технических параметров каждого элемента функциональной схемы и даны рекомендации по выбору принципиальной схемы. Работу схемы необходимо иллюстрировать временными диаграммами в различных ее точках и качественными ее характеристиками. Принципиальную схему устройства приводить и делать электрические расчеты не требуется. Однако совершенно необходимо провести инженерный оценочный расчет по согласованию входных и выходных цепей элементов функциональной схемы.

При выполнении курсового проекта необходимо иметь в виду, что основное его содержание состоит в разработке и обосновании функциональных схем, обеспечивающих исходные тактические требования по использованию РЛС при УВД.

Конструктивное оформление разрабатываемой РЛС должно отвечать на вопросы, в какой степени разработанная аппаратура может быть реализована и в каком виде (габариты) она может быть выполнена. Особое внимание следует уделить требованиям к схеме размещения аппаратуры на местности. Вопросы размещения необходимо рассматривать с учетом удобства технического обслуживания и эксплуатации.

Список литературы, необходимой для выполнения курсового проекта, приведен в первой части настоящих учебно-методических рекомендаций.

Введение содержит краткую технико-экономическую характеристику выбранного направления, оценку решаемой в работе задачи с точки зрения перспектив развития радиолокационного оборудования. Из содержания введения должна вытекать необходимость решения именно данной задачи.

Первый раздел содержит: расчет технических характеристик РЛС по заданным тактическим характеристикам. Недостающие тактические характеристики РЛС выбираются и обосновываются в соответствии с назначением радиолокатора (таблица 1).

При расчете технических характеристик следует по возможности учитывать влияние всех факторов на ту или иную величину, не упуская из вида удовлетворение заданным тактическим требованиям.

При выборе длины волны λ необходимо учитывать влияние таких факторов, как:

- уровень потерь электромагнитной энергии при распространении;

- допустимые размеры антенны при данной ширине диаграммы направленности;
- обеспечение требуемой формы импульса;
- освоенность промышленностью данного диапазона частот.

При расчете длительности импульса обязательно учитывать влияние индикатора и исходить из требуемой разрешающей способности по дальности и угловым координатам. Реальная разрешающая способность может быть выражена через потенциальную способность радиолокатора и разрешающую способность индикатора. Скорость обзора по угловой координате должна рассчитываться с учетом ширины диаграммы направленности, полученной частоты повторения импульсов, требуемых для улучшения индикации с учетом времени послесвечения экрана индикатора.

В этом же разделе синтезируются структурная и функциональная схемы разрабатываемого радиолокатора, приводится описание принципа действия РЛС и взаимосвязь с другими устройствами оборудования системы УВД.

Второй раздел посвящается разработке функциональной схемы радиолокатора, а также функциональной и электрической схемы заданного в проекте устройства (таблица 1 или 2) РЛС.

Приведем алгоритм расчета тактико-технических характеристик радиолокационной станции.

5.2 Выбор и расчет тактических и технических характеристик первичного радиолокатора

Одним из основных разделов курсовой работы является раздел, посвящённый расчёту и обоснованию тактико-технических характеристик разрабатываемой радиолокационной системы.

Расчёт этих характеристик начинается с определения тактических параметров и определения факторов, принципиально ограничивающих их величину. Основным из них является назначение радиолокационной системы и место её установки. Эта характеристика во многом определяет все остальные. В курсовой работе вместе с назначением системы указывается её дальность действия, являющаяся в некоторых случаях избыточной информацией, так как определяется назначением системы. Следует иметь в виду, что дальность задается или определяется как характеристика статистическая, имеющая определённую вероятность правильного обнаружения $R_{по}$ и ложной тревоги $R_{лт}$. Обычно $R_{по}$ в системах ГА задаётся равной 0,9, а вероятность $R_{лт}$ рассчитывается, исходя из возникновения ложной тревоги за определенное количество обзоров пространства.

Следует заметить, что содержание задания на курсовую работу составлено таким образом, чтобы дать возможность гибкого выбора некоторых характеристик РЛС с обязательным их обоснованием и расчетом. Так, например, установка бортовой метеонавигационной РЛС в носовой части самолёта определенного типа ограничивает максимальные размеры антенной системы, что, в свою очередь, сказывается на возможности реализации разрешающей способности РЛС по угловым координатам, на

величину эффективной поверхности рассеяния цели, которой может быть, в зависимости от режима работы станции, поверхность земли или объём метеообразования. Эта же причина может вызвать необходимость использования более короткой длины волны, по сравнению с оптимальной длиной волны для минимизации мощности передающего устройства.

Зона обзора РЛС также определяется назначением станции. Для бортовой метеонавигационной станции (МНРЛС) зона обзора определяется маневренными возможностями самолета так, чтобы от времени поступления информации об опасных метеообразованиях до момента завершения маневра было достаточное время для его совершения. Для большинства МНРЛС, установленных в носовой части самолета, сектор азимутального обзора не превышает $\pm 100^\circ$. Для наземных обзорных РЛС аэропортов, как правило, используется круговой обзор пространства.

Количество воспроизводимых РЛС координат и их точность определяется также назначением станции и должны быть обоснованы при проектировании, причем возможность реализации точностных характеристик должна быть увязана с энергетическим потенциалом станции, оценка которого может быть осуществлена в процессе расчета технических характеристик. При определении тактических характеристик метеонавигационной РЛС в основу обоснования разрешающей способности следует заложить качество воспроизводимого изображения. Хорошим естественным ориентиром для навигации являются большие реки, поэтому разрешающей способностью можно задаться, исходя из необходимости раздельного наблюдения берегов рек либо каких-то других ориентиров. Выбор разрешающей способности наземной РЛС определяется минимально допустимым расстоянием между самолетами, которое определяется в соответствии с нормами летной годности. При определении разрешающей способности необходимо учитывать параметры индикаторного устройства в соответствии с требуемой разрешающей способностью и возможностью размещения индикатора в месте его установки.

Тактические характеристики представляют совокупность параметров, определяющих возможности использования РЛС с точки зрения потребителя. К тактическим характеристикам относят:

1. Назначение, место установки и условия работы РЛС.
2. Дальность действия (обнаружения) по объектам с определенной $S_{ц}$ при заданной вероятности правильного обнаружения $D=P_{п.о}$ и ложной тревоги $F=P_{л.т}$.
3. Зону обзора РЛС, воспроизводимые и измеряемые координаты, а также их производные.
4. Тип оконечного устройства.
5. Число измеряемых координат.
6. Разрешающую способность по воспроизводимым и измеряемым координатам.
7. Точность измерения координат объектов при заданных D и F .
8. Время обзора заданной зоны, периодичность обновления информации.

9. Надежность, масса, габариты, контролепригодность и ремонтпригодность радиолокатора.

10. Помехоустойчивость и др.

5.2.1 Выбор и обоснование тактических характеристик РЛС

1. Место установки и назначение.

Место установки определяется типом самолета или возможностью размещения радиолокатора в зоне аэропорта. Применительно к метеонавигационным РЛС место установки определяет их класс. Целесообразно антенну устанавливать в носовой части самолета, а индикатор на пульте пилота.

2. Максимальная дальность – является одним из важнейших параметров РЛС, который во многом определяется назначением станции. Т.к. на входе приемника РЛС присутствуют шумы, то обнаружение сигнала является статистическим процессом, характеризующимся $D=P_{\text{п.о}}$ и $F=P_{\text{л.т}}$. Эффективная площадь рассеяния определяет максимальную дальность D_{max} и поэтому при расчете характеристик РЛС оговаривают объект обнаружения. Обычно задаются величиной вероятности правильного обнаружения от 0.7 до $\geq 0,9$ при данной высоте полета и эффективной отражающей поверхности. Одним из основных объектов наблюдения БРЛС являются грозовые фронты, обнаружить которые надо на дальности, обеспечивающей маневр. Задание необходимой дальности обнаружения зависит также от типа ВС. Так для самолетов со скоростью полета 800 км/ч это расстояние может составлять 200 км. С ростом скоростей полета, например, для Ту-144, скорость полета которого составляет $V=2500$ км/ч дальность обнаружения должна быть существенно больше – порядка 500 км.

3. Зона обзора для преодоления препятствий не велика, но для решения навигационных задач целесообразно использовать круговой обзор, повышающий также безопасность полетов. При современных скоростях круговой обзор не возможен и используют обзор передней полусферы устанавливая РЛС в носовой части ЛА. Поэтому зона обзора для летательных аппаратов устанавливается в пределах $\pm 100^\circ$, а для обзорных наземных РЛС используется круговой обзор.

4. Тип оконченного устройство РЛС является одной из важнейших характеристик, которая, в свою очередь определяется количеством воспроизводимых координат, точностями их измерения, способом обработки и использования информации. До недавнего времени основным типом оконченного устройства РЛС являлся визуальный индикатор ИКО или ИСО. С широким использованием БЦВМ оконченное устройство РЛС может изменять свое функциональное назначение, когда основной задачей станет преобразование информации для ввода в БЦВМ.

5. Число измеряемых координат зависит от назначения радиолокатора. Так для метеонавигационной БРЛС в режиме обзора земли достаточно измерение двух координат – дальности и азимута, а в режиме обзора

метеообразований и предупреждения столкновений необходимо измерять три координаты т.е. еще и высоту цели (угол места).

6. Разрешающая способность РЛС является характеристикой, определяющей возможность раздельно обнаружение близко расположенных целей. Хорошим естественным ориентиром для навигации могут быть большие реки, поэтому раздельно должны воспроизводиться ее берега. Учитывая это обстоятельство для различения средних рек принимают разрешающую способность равной от 500 до 1500 м. Разрешающая способность по углу обеспечивается шириной ДНА и так же определяется назначением станции.

7. Точность измерения координат задается допустимыми ошибками (с погрешностями) при их воспроизведении и измерении. Точность характеризует РЛС как измерительную систему.

8. Время обзора заданной зоны $T_{обз}$ определяет время однократного осмотра лучом заданной зоны – время обновления информации. Чем больше скорость ВС, тем меньше должно быть время $T_{обз}$, существенное влияние на которое оказывает период следования зондирующих сигналов.

9. Вероятности правильного обнаружения $D=P_{п.о}$ и ложной тревоги $F=P_{л.т}$ являются важными статистическими характеристиками РЛС. Вероятность D в ГА обычно задается равной 0,8, а F выбирается из условной удобства работы оператора. Ложная тревога индицируется, как светящаяся точка аналогичная цели, которую оператор может принять за настоящую цель. Свести на нет F нельзя, но ее берут минимальной. Например, представляется допустимым возникновение одной ложной тревоги за 1000 обзоров ($P_{л.т}=10^{-3}$). Если один обзор происходит за 2 с, то это означает, что ложная тревога возникает в течение 30 мин. Задаваясь меньшими значениями $P_{л.т}$, можно в течение рейса исключить ложную тревогу. Это требует увеличения потенциала станции и отношения сигнал/шум. Если число элементов разрешения в одном обзоре $m = m_D \cdot m_\alpha = 10^3 \cdot 10^2 = 10^5$,

где m_D - число элементов разрешения по дальности;

m_α - число элементов разрешения по азимуту,

то общая вероятность ложной тревоги $F_\Sigma = mF_1$,

где F_1 - вероятность ложной тревоги в одном элементе разрешения.

Тогда вероятность ложной тревоги в одном элементе разрешения составит величину:

$F_1 = \frac{F_\Sigma}{m} = \frac{10^{-3}}{10^5} = 10^{-8}$. Именно этой величиной задаются при расчетах технические характеристики РЛС.

10. Масса и габариты РЛС являются очень важными характеристиками, определяющими эффективность их использования. В настоящее время для радиолокационной аппаратуры выпущен ряд ГОСТов, определяющих габариты устройств и пультов управления. Габаритные и присоединительные

размеры пультов управления определяются ГОСТ 17046-71. Типы и габаритные размеры блоков должны соответствовать ГОСТ 17045-71, присоединительные и установочные размеры блоков – ГОСТ 17413-72. Для РЛС гражданской авиации типоразмеры индикаторов на ЭЛТ устанавливаются ГОСТ 17732-72. Проявляется тенденция к уменьшению веса отдельных элементов в связи с совершенствованием элементной базы.

11. Контролепригодность и ремонтпригодность характеризуют приспособленность РЛС к данному виду эксплуатации.

Технические характеристики РЛС

Технические характеристики определяются теми инженерными решениями, которые используются для обеспечения тактических характеристик. Основными техническими характеристиками РЛС, подлежащими расчету, являются:

- рабочая длина волны λ ;
- тип и длительность зондирующего сигнала τ_{II} (метод модуляции);
- период следования зондирующего сигнала T_{II} ;
- средняя и импульсная мощность излучения P_{CP} и P_{II} РЛС;
- форма ДНА;
- G_A – коэффициент направленного действия антенны и метод обзора заданной зоны (скорость обзора);
- коэффициенты шума ($N_{ш}$) и полоса пропускания (Δf) приемника, а также степень оптимизации приемника;
- отношение сигнал/шум на выходе оптимального приемника (Q);
- энергетический потенциал станции ($P1$);
- масштабы воспроизведения информации;
- методы измерения координат и тип устройства для воспроизведения информации и сопряжения РЛС и БЭВМ;
-
-

Обоснование, расчет и выбор технических характеристик РЛС.

В основе расчета основных технических характеристик лежит их взаимосвязь с тактическими характеристиками РЛС через основное уравнение радиолокации:

$$D_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_{II} \cdot \tau_{II} \cdot n_{II} \cdot \sigma_{ц} \cdot s_A^2 \cdot \eta_{нрм-нрд}}{4\pi \cdot \lambda^2 Q \cdot N_{ш} \cdot K \cdot T \cdot \Delta f_{нрм}}} \cdot l^{-0.115 \alpha_{кмз} \cdot D_{\max}} \quad (1.1)$$

где D_{\max} - максимальная дальность действия РЛС; P_{II} - мощность излучения в импульсе; τ_{II} - длительность импульсного сигнала; n_{II} - число импульсов, отраженных от цели; G_A - коэффициент направленного действия антенны;

$\sigma_{ц}$ - среднее значение эффективной отражающей поверхности цели;

S_{Λ} — эффективная площадь антенны РЛС; η - коэффициент полезного действия трактов приема и передачи; Q - отношение сигнал-шум на выходе достаточного приемника (оптимального фильтра), определяемое заданными вероятностями правильного обнаружения D и ложной тревоги F ;

k — постоянная Больцмана; T — температура входа приемного тракта, K ; $\xi_{\text{ПРМ}}$ — коэффициент потерь в приемном тракте, зависящий от неоптимальности частотной характеристики приемника и потерь в накопительном устройстве; $\alpha_{\text{КМЗ}}$, — коэффициент километрического затухания радиоволн в атмосфере, дБ/км; $N_{ш}$ - коэффициент шума приемника; $\Delta f_{\text{прм}}$ - полоса пропускания приемного тракта.

Порядок расчета технических характеристик

1. Расчет оптимальной длины волны излучаемых сигналов

При расчете технических характеристик особые трудности вызывает определение оптимальной длины волны радиолокатора. Оптимальную длину волны следует определять для заданной в составе тактических характеристик дальности с учетом затухания волны в атмосфере. При заданных значениях величин, входящих в основное управление радиолокации, импульсная мощность $P_{и}$ является функцией длины волны, для конкретной дальности действия и условий распространения ($\alpha_{\text{КМЗ}}$):

$$P_{и} = A\lambda^2 D_{\text{max}}^4 \cdot \ell^{-0,46-\alpha_{\text{КМЗ}}(\lambda) \cdot D_{\text{max}}}$$

Из этого уравнения следует, что импульсная мощность, при заданной дальности, является функцией только длины волны зондирующего сигнала и имеет экстремум. Таким образом, имеется значение длины волны, для которой импульсная мощность минимальна. Эта длина волны является оптимальной для заданной дальности и конкретных условий распространения. Для корректного нахождения оптимальной длины волны последнее уравнение следует продифференцировать по λ , дифференциал приравнять нулю и из полученного выражения определить оптимальную длину волны минимизирующую мощность зондирующего сигнала. Эту задачу можно решить, подставляя значения λ по точкам.

Графическое решение данного уравнения приведено на рис. 4.1, из которого видно, что данная зависимость имеет экстремум (минимум), в соответствии с которым и может быть выбрана длина волны зондирующего сигнала $\lambda_{\text{опт}}$.

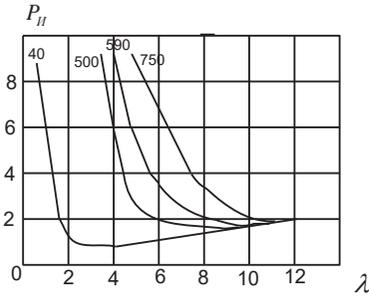


Рис. 5.1 Зависимость изменения энергии передатчика от длины волны в дожде с интенсивностью 4 мм/ч

Для других интенсивностей осадков информацию о $\alpha_{\text{квз}}$ можно найти в [41].

Параметром кривых является дальность. Если требуемая в проекте дальность не соответствует приведенному в графике ряду или интенсивность осадков не равна используемой для построения графиков рис.5.1, то расчет оптимальной длины волны производится студентом самостоятельно.

На выбор длины волны влияет также необходимость обеспечения выбранной разрешающей способности станции по угловым координатам, потенциальная составляющая которой зависит от длины волны и апертуры антенны $\Delta\Theta = 0,7\Theta_A$ (где $\Theta_A = 65\lambda/da$, da -величина апертуры параболической антенны). Отсюда следует, что ширина диаграммы направленности при ограниченной апертуре антенны может быть уменьшена только уменьшением длины волны. Если длина волны, определяемая величиной угловой разрешающей способности, меньше λ_{opt} , то она определяется исходя из необходимости обеспечения заданной разрешающей способности по углу.

Необходимо, однако, отметить, что несомненные преимущества мм диапазона λ на малых дальностях и 10 см диапазона на больших не исключают появления в ближайшем будущем 2 диапазонных РЛС и уже имеется прецедент их создания фирмой Колинз.

2. Расчет длительности зондирующего импульса

Как правило, тип зондирующего сигнала в РЛС принят импульсным с хорошей разрешающей способностью и высокой точностью измерения параметров. Длительность импульса определяется величиной разрешающей способности по дальности $\delta D = \delta D_{\text{ном}} + \delta D_{\text{инд}}$ и равна:

$$\tau_{II} = \frac{(\delta D - \delta D_{\text{инд}})C}{2},$$

где δD - разрешающая способность РЛС заданная тактическими характеристиками;

$\delta D_{\text{ном}}$ - потенциальная разрешающая способность, равная : $\delta D_{\text{ном}} = \frac{c \cdot \tau}{2}$.

$\delta D_{\text{инд}}$ - разрешающая способность индикатора определяется современным уровнем индикаторных устройств и может быть определена как:

$$\delta D_{\text{инд}} = D_{\text{max}} / Q_{\text{э}} ;$$

$Q_{\text{э}} = l_{\text{э}} / d_{\text{П}}$ - добротность электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), как правило, не превышающая величины 300;

$l_{\text{э}}$ - диаметр экрана ЭЛТ; $d_{\text{П}}$ - диаметр пятна ЭЛТ.

Необходимо отметить, что требуемая разрешающая способность станции на масштабе ЭЛТ, соответствующем максимальной дальности, не всегда может быть обеспечена приемлемыми размерами трубки. Поэтому весь диапазон просматриваемых дальностей может быть разбит на поддиапазоны, в части из которых разрешающая способность обеспечивается на заданном уровне.

Параметры зондирующего сигнала $\tau_{\text{П}}$, $T_{\text{П}}$ и $P_{\text{П}}$ - определяются требуемой энергоемкостью, разрешающей способностью и точностью измерения.

3. Период следования зондирующих сигналов

Период следования зондирующих импульсов определяется из условия однозначного отсчета дальности и равна:

$$T_{\text{П}} = 1,25 t_{D_{\text{max}}} = 1,25 \frac{2D_{\text{max}}}{C} \quad \text{где}$$

$t_{D_{\text{max}}}$ - максимальное время задержки сигнала, соответствующее D_{max} .

Период следования следует выбирать наименьшим из возможных так, как при этом возможно увеличить количество накапливаемых импульсов в приемнике при заданном времени обзора, а также увеличить скорость обзора заданного пространства.

4. Ширина диаграммы направленности и разрешающая способность по угловым координатам

Ширина диаграммы направленности Θ_A определяется с помощью величины разрешающей способности по угловой координате $\delta \Theta_A$, выбранной в ходе обоснования тактических характеристик

$$\delta \Theta_A = 0,7 \Theta_A + 360^\circ d_{\text{П}} / 2\pi r ,$$

где r , - радиус на экране индикатора кругового обзора (ИКО), на котором находится цель. Отсюда следует, что на дальностях, близких к центру экрана, разрешающая способность по углу крайне низка. Лишенным этого недостатка является индикатор телевизионного типа, угловая разрешающая способность которого равна: $\delta \Theta_A = 0,7 \Theta_A + \Theta_{\text{обз}} d_{\text{П}} / l_{\text{э}}$, где

$\Theta_{обз}$ - сектор обзора, выбранный в ходе обоснования тактических характеристик (для кругового обзора равный 360°).

5. *Количество накапливаемых в приемнике импульсов и скорость вращения антенного устройства*

Количество накапливаемых импульсов $n_{II} = K_A \frac{T_{обз}}{Tn} = K_A \frac{\Theta_A C}{2,5D_{max} \Omega_{обз}}$ где

K_A – коэффициент, учитывающий форму ДНА, для конического луча равный 0,9;

$T_{обз}$ - время обзора цели диаграммой направленности антенны шириной Θ_A ;

$\Omega_{обз}$ - угловая скорость обзора пространства;

Θ_A - ширина диаграммы направленности антенны.

Метод обзора пространства так же, как скорость обзора, определяет количество накапливаемых импульсов в приемнике, т.е. количество импульсов в пачке.

6. *Коэффициент направленного действия и ширина диаграммы направленности антенны радиолокатора*

КНД параболической антенны РЛС равен $G_A = \frac{4\pi S_A}{\lambda^2}$, где

$S_A = \pi d_A^2$ - эффективная площадь антенны;

d_A - размер параболической антенны.

Ширина диаграммы направленности антенны (ДНА) равна:

$$\Theta_A = (60 \div 70) \lambda / d_A.$$

$\eta_{прм-прд}$ - КПД волнового тракта приемопередатчика, лежащий в пределах $0,7 \div 0,9$.

7. *Отношение сигнал/шум*

Для определения чувствительности приемного устройства необходимо знание отношения сигнал/шум, при котором должен работать разрабатываемый радиолокатор. Оно зависит от статистических характеристик обнаружения сигнала $Q=f(D,F)$ и может быть определено аналитически или из кривых обнаружения [41], примерный ход которых имеет вид, показанный на рис. 5.2

Для определения требуемого отношения сигнал/шум на характеристиках обнаружения следует задаться вероятностью правильного обнаружения (по оси ординат) при параметре кривой, соответствующей вероятности ложной тревоги. На графике Рис.5.2 показано определение отношения сигнал/шум для $D=0,6$ и $F=10^{-6}$, которое оказалось равным шести.

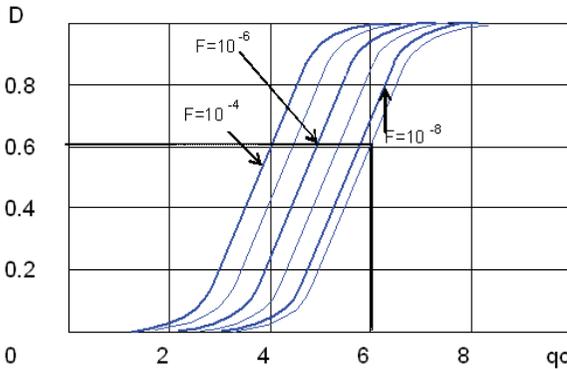


Рис. 5.2 Характеристики обнаружения для сигнала со случайной начальной фазой

8. Чувствительность приемного тракта

Чувствительность приемника (минимальная энергия сигнала на входе приемного устройства) рассчитывается по формуле:

$$E_{\text{пр,мин}} = QN_{\text{ш}}KT\xi_{\text{пр,м}},$$

где $N_{\text{ш}} = (P_{\text{с}} / P_{\text{ш}})_{\text{вх}} / (P_{\text{с}} / P_{\text{ш}})_{\text{вых}}$ - коэффициент шума приемника (шумфактор), который рассчитывается в полосе пропускания. Всегда $(P_{\text{с}} / P_{\text{ш}})_{\text{вх}} > (P_{\text{с}} / P_{\text{ш}})_{\text{вых}}$ из-за внутренних шумов приемника. Величину $N_{\text{ш}}$ можно выбрать с помощью таблицы 5.1 [14] для определенной схемы построения приемника.

Таблица 5.1

Шумовые характеристики радиоприемных устройств

Особенности построения схемы	$N_{\text{ш}}$	Тп, К
УРЧ на ЛБВ	3,2...4,5	650...1000
УРЧ на базе параметрического усилителя	1,75...2	200...290
То же при T=77К	1,15...1,5	45...140
Без УРЧ. Балансный смеситель на диодах с барьером Шоттки	6...10	1450...2600

Чувствительность приёмника должна быть наивысшей, которую возможно обеспечить на данном этапе развития электронной техники и в данных условиях эксплуатации РЛС. Это требование исходит из того, что, в свою очередь, позволяет уменьшить габариты и вес радиолокатора в целом за счет уменьшения мощности передатчика. В общем случае приемник не является оптимальным, для которого была определена величина Q. Поэтому

величина отношения сигнал/шум должна быть увеличена на коэффициент $\xi_{прм}$, учитывающий потери на неоптимальность приемника.

Обычно разделяют $1 \leq \xi_{прм} < \infty$ на целый ряд составляющих $\xi_{прм} = \xi_1 \dots \xi_n$.

Как правило, учитывают две основные составляющие потерь:

ξ_1 - характеризующую потери на несогласованность полосы пропускания приемника со спектром принимаемого сигнала;

ξ_2 - потери на неоптимальную обработку при накоплении пачки принимаемых импульсов.

Часто полоса ПРМ выбирается из условия $\Delta F = \frac{1,3}{\tau_{II}}$ тогда

$$\left(\frac{E_C}{E_{III}}\right)_{\text{вых}} = 0,82Q.$$

Следовательно, $\xi_1 = 1/0,82 = 1,2$.

Потери на неоптимальность накопления некогерентных сигналов $\xi_2 = \sqrt{n_u}$ при $n \geq 10$. Величина, характеризующая отношения E_C/E_{III} в одиночном импульсе, называется коэффициентом различимости:

$$K_p = \frac{Q \xi_1 \xi_2}{n_{II}}.$$

9. Эффективная поверхность рассеяния цели.

При расчете ТГХ необходимо знать эффективную поверхность рассеяния целей, с которыми должен работать проектируемый радиолокатор. Если цель точечная, характерная для первичного обзорного наземного радиолокатора, ее ЭПР можно выбрать с помощью таблицы 5.2

Таблица 5.2

Цель	ЭПР, м ²
Истребитель	1,5-3
Бомбардировщик	4-125
Вертолет	1-3
Транспортный самолет	15-75
Самолет по технологии «Стелс»	0,1-1
Крылатая ракета	0,01-0,03

Для определения мощности передающего устройства при обзоре подстилающей поверхности или метеообразований бортовой РЛС ЭПР цели определяется выражением [1]:

$$\sigma_u = S_u = \gamma \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \theta_\alpha \cdot \theta_\beta}{4},$$

где γ - коэффициент обратного отражения, который может быть принят равным 0,001 для песчаной почвы;

θ_α - ширина ДНА в азимутальной плоскости;

θ_β - ширина ДНА в вертикальной плоскости.

Так, например, для дальности 600 км и игольчатого луча 0,05 радиан ЭПР цели равна:

$$S_{\sigma_{600}} = 0,001 \cdot \frac{3,14 \cdot 600^2 \cdot 10^6 \cdot 0,05^2}{4} = 353 \cdot 10^3 \text{ м}^2,$$

а для дальности 20 км

$$S_{\sigma_{20}} = 0,001 \cdot \frac{3,14 \cdot 20^2 \cdot 10^6 \cdot 0,05^2}{4} = 392,5 \text{ м}^2.$$

Для объемно распределенной цели, например, при зондировании метеобразований, согласно [1]:

$$\sigma_{\text{ц}} = S_{\text{ц}} = \gamma \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \theta_\alpha \cdot \theta_\beta \cdot c \tau_{\text{ц}}}{4 \cdot 2}$$

9. Мощность радиопередающего устройства

Конечным этапом расчета тактико-технических характеристик является расчет мощности радиопередающего устройства, которая определяется из основного уравнения радиолокации:

$$P_{\text{И}} = \frac{D_{\text{max}}^4 \cdot Q \cdot \xi_{\text{ПРМ}} \cdot N_{\text{ш}} \cdot k \cdot T \cdot (4 \cdot \pi)^2 \ell^{0,46 \alpha_{\text{св}}(\lambda) \cdot D_{\text{max}}}}{n_{\text{И}} \cdot \tau_{\text{И}} \cdot G_{\text{А}}^2 \cdot \lambda^2 \cdot \eta \cdot \sigma_{\text{ц}}} - \text{импульсная мощность,}$$

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_{\text{И}}}{Q_{\text{ск}}} - \text{средняя мощность радиолокатора,}$$

где $Q_{\text{ск}}$ -скважность.

При получении чрезмерно большой величины мощности весь расчет следует повторить сначала, задавшись новыми исходными данными. При этом вариации можно подвергнуть длительность импульса, ширину ДНА, а, следовательно, ЭПР облучаемой цели, количество накапливаемых импульсов и другие параметры станции, определяющие потенциал.

10. Потенциал радиолокационной станции

Важной комплексной характеристикой является энергетический потенциал, который определяется мощностью ГСВЧ, чувствительностью ПРМ и качеством обработки сигнала.

Показатель потенциала рассчитывается в дБ и равен

$$P1 = 10 \lg P_{\text{И}} + 20 \lg G_{\text{max}} + 20 \lg \tau_{\text{И}} - N_{\text{ш}} + \xi_{\text{И}} + \xi_{\text{Р}} - \xi_{\text{л}},$$

где $\xi_{\text{И}}$ - коэффициент, учитывающий потери индикатора, можно найти в [41];

$\xi_{\text{Р}}$ - коэффициент, учитывающий зависимость отражающих свойств гидрометеоров от λ , а также потери из-за осадков, можно найти там же;

ξ_{Π} - коэффициент, учитывающий потери на неоптимальность приемника.

В современных РЛС применяется цифровая обработка радиолокационной информации и совмещение радиолокационного изображения с индикаторами других радиолокационных, навигационных устройств и других систем самолета. При этом радиолокационная информация поступает вначале в бортовую цифровую вычислительную машину (БЦВМ) и после ее преобразования в систему отображения информации. Таким образом, потребителем информации может быть как человек, так и вычислительная машина.

6. Выбор и расчет тактических и технических характеристик вторичного радиолокатора

Особенностью расчета вторичного радиолокатора является то, что студент в зависимости от задания расчету подвергается только один элемент этой системы, состоящей фактически из двух радиолокационных станций: наземного запросчика и самолетного ответчика. При этом, если по заданию студент рассчитывает параметры запросчика, то исходными данными служат параметры ответчика. И наоборот, если расчету подвергается ответчик, то за исходные данные следует принять параметры запросчика. Студент может в качестве исходных параметров выбрать параметры любого радиолокатора, находящегося в настоящее время на эксплуатации.

Методика расчета эксплуатационно-технических характеристик вторичного радиолокатора аналогична изложенной выше, однако, имеет некоторые особенности, заключающиеся в том, что параметры одного из каналов системы вторичной радиолокации определены выбором альтернативной её части.

Расчет тактико-технических характеристик строится также на основе использования основного уравнения радиолокации и равенства дальностей каналов запросчик-ответчик и ответчик-запросчик:

$$D_{\max \text{ 3-0}} = D_{\max \text{ 0-3}} \quad \text{где}$$

индекс «3-0» обозначает дальность канала запросчик-ответчик, а индекс «0-3» дальность канала ответчик-запросчик.

Равенство этих дальностей целесообразно из энергетических соображений. Очевидно, если дальности этих каналов не одинаковы, то реальная дальность системы будет определяться наименьшей из них.

Расчет тактико-технических характеристик вторичного радиолокатора производится также на основе использования основного уравнения радиолокации вторичного радиолокатора:

$$D_{\max \text{ 3-0}} = \sqrt{(P_3 \tau_3 G_{A3} S_{A0}) / 4\pi Q_0 N_{\text{ШО}} \kappa T_0 \xi_{\text{ПРМ0}}} \quad \text{- дальность канала запросчик ответчик;}$$

$$D_{\max \text{ 0-3}} = \sqrt{(P_0 \tau_0 G_{A0} S_{A3}) / 4\pi Q_3 N_{\text{ШЗ}} \kappa T_3 \xi_{\text{ПРМ3}}} \quad \text{- дальность канала ответчик – запросчик.}$$

Индекс «3» обозначает параметры и характеристики запросчика, индекс «О» - те же параметры ответчика.

Например, если задан расчет ТТХ запросчика следует задаться параметрами самолетного ответчика (любого на усмотрение студента) и производить выбор и расчет параметров запросчика на основе вышеуказанных уравнений.

Несмотря на то, что многие параметры канала вторичного радиолокатора определены ГОСТами и требованиями IGAO, при проектировании необходимо произвести проверочный расчет этих каналов на оптимальную длину волны, разрешающую способность, чувствительность приемник, энергетический потенциал и другие его параметры. Следует отметить, что для данного типа РЛС понятие разрешающей способности лучше заменить на пропускную способность, а в качестве длительности импульса использовать длительность информационного сообщения.

При расчете параметров системы предупреждения столкновений, которая так же является вторичной радиолокационной системой, из всей структуры данного типа устройства следует проводить расчет только самолетного ответчика с адресным запросом.

В заключение отметим, что сложность расчета ТТХ радиолокационных систем и зачастую многократный их пересчет приводит к необходимости использования ЭВМ для этой цели. Программа расчета может быть составлена на любом языке программирования для ЭВМ, имеющейся в распоряжении проектанта. Распечатку программы и результатов расчета следует поместить в данный раздел проекта с комментариями и выводами.

В приложении методических указаний приведены программы расчета ТТХ в формате Mathcad: для первичной РЛС – приложение № 1, для вторичной (СО) – приложение № 2.

7. Методические указания к составлению структурной схемы радиолокатора

Расчет тактико-технических характеристик и методы, определяющие возможность выделения радиолокационной информации, позволяют представить структурную схему радиолокационной системы. В курсовом проекте должно быть изложено обоснование выбора этой схемы, причем разрабатываемый в дальнейшем блок или узел станции следует раскрыть более подробно, оценить его входные и выходные параметры. Обоснование использования отдельных блоков схемы должно быть конкретным в соответствии с расчетом ЭТХ и задачами, выполняемыми станцией. Так, например, при требуемой импульсной мощности РЛС более десятков киловатт в генераторе СВЧ должны использоваться мощные электронные приборы (магнетрон, платинотрон, пролетный клистрон, ЛПД и т.п.), что и следует отразить на структурной схеме. Или необходимость использования системы АПЧ должна быть доказана прикидочным расчетом нестабильности частоты ГСВЧ, гетеродина и величины доплеровских частот принимаемых

сигналов. Таким же образом следует обосновать использование наиболее важных элементов структурной схемы. Структурная схема должна быть представлена в пояснительной записке курсового проекта в соответствии с требованиями ЕСКД. Пример такой схемы для трассовой РЛС показана на Рис. 7.1

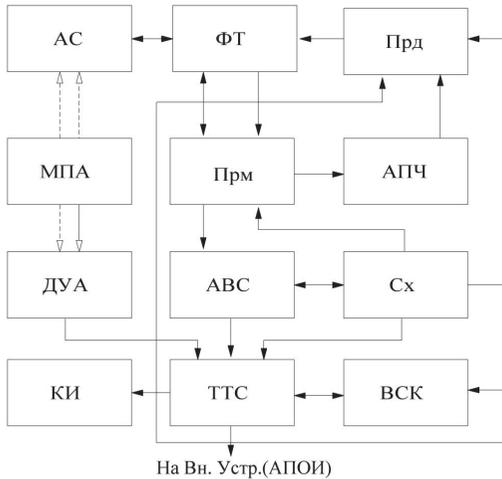


Рис.7.1 Обобщенная структурная схема трассовой РЛС

Обобщенная структурная схема трассовой РЛС состоит из следующих основных элементов:

- антенной системы АС с механизмом привода (МПА) и датчиком угловых положений антенны (ДУА);
- фидерного тракта (ФТ);
- передатчика (Прд) с устройством автоматической подстройки частоты (АПЧ);
- приемника (Прм);
- аппаратуры выделения сигналов (АВС) (в ряде радиолокаторов объединяемой с приемником в процессор сигналов);
- синхронизатора (Сх); тракта трансляции сигналов (ТТС) к внешним устройствам обработки и индикации;
- контрольного индикатора (КИ) и встроенной системы контроля (ВСК).

Далее следует описать принцип функционирования устройства, взаимосвязь элементов структурной схемы, прохождение и преобразования

сигналов с построением эпюр сигналов в наиболее важных точках. Особое внимание следует уделить описанию работы узла РЛС, разработка которого задана заданием.

8. Методические указания к разработке радиолокационного узла.

После выбора структурной схемы радиолокатора, изучения и осмысления принципа его действия, определения его характеристик необходимо произвести построение функциональной схемы детально разрабатываемого узла или блока. Пример построения структурной схемы входной цепи приемного устройства РЛС имеет вид, показанный на рис. 8.1

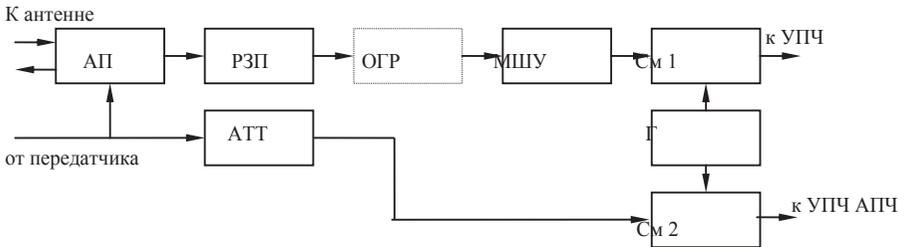


Рис. 8.1 Структурная схема ВЧ головки приемника РЛС.

На этой схеме: АП - антенный переключатель; РЗП – разрядник защиты приемника; ОГР – полупроводниковый ограничительный диод; МШУ – малошумящий усилитель СВЧ; См смеситель; Г – гетеродин; АТТ – аттенюатор.

Описание работы схемы следует начать от входа устройства и последовательно к концу. Например, так:

Входная цепь приемного устройства строится по двухканальной схеме (с отдельным каналом АПЧ) и однократным преобразованием частоты. На вход приемного устройства от антенны поступает отраженный сигнал и проходит через антенный переключатель, служащий для развязки приемного и передающего трактов. С выхода антенного переключателя сигнал поступает на разрядник защиты приемника и ограничитель, выполняющие функции защиты усилителя СВЧ от остаточного проникающего сигнала передатчика в тракт приемника. Отраженный сигнал усиливается малошумящим усилителем и поступает на вход смесителя сигнала, на второй вход которого подается сигнал гетеродина. Выходной сигнал смесителя промежуточной частоты поступает в канал УПЧ для его фильтрации и усиления.

При этом необходимо иметь в виду, что исходные данные, параметры входных и выходных сигналов должны вытекать из расчетов, проводимых в предыдущем разделе. Разработка функциональной схемы должна быть произведена оптимальным образом. Критерием последнего является минимальное количество каскадов, применение современной элементной

базы и схемотехнических решений, самостоятельность в решении инженерных задач.

Рекомендуется следующая последовательность действий на рассматриваемом этапе:

1) Исходя из функционального назначения проектируемого узла (блока, тракта), определяются требования к отдельным элементам устройства, выбирается схема построения отдельных элементов, характеристики и параметры входных и выходных сигналов.

2) Составляется функциональная схема разрабатываемого устройства.

3) Определяются временные характеристики работы устройства и составляются временные диаграммы его работы.

4) Составляется техническое описание устройства.

5) Осуществляется прикидочный расчет входных и выходных параметров сигналов каждого элемента

Разработка электрической схемы узла радиолокационной станции.

В соответствии со структурной и функциональной схемой разрабатываемого узла РЛС для каждого каскада этих схем необходимо выбрать электрическую схему его построения.

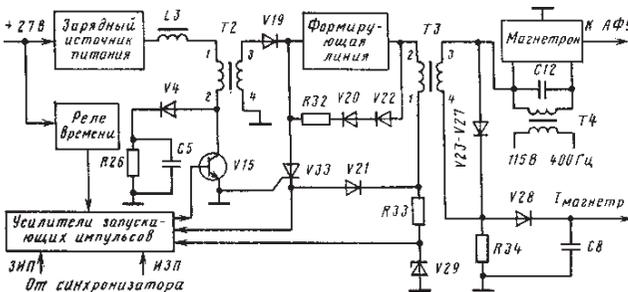


Рис.8.2 Принципиальная схема передатчика РЛС «Контур»

Построение каждой схемы ее описание и возможные для реализации параметры следует привести отдельным подразделом данного раздела курсового проекта. В ходе проектирования следует выбрать не менее трех последовательно включенных каскада и рассчитать все элементы выбранной электрической схемы. Результаты расчета следует свести в раздел «Перечень элементов».

В заключение расчетной части проекта приводится полная электрическая схема разрабатываемого узла, вместе с элементами согласования каскадов. Все схемы выполняются в соответствии с ГОСТ, на чертежах удобного формата. Входные и выходные сигналы, напряжения питания и должны поступать на стандартный электрический разъем. Пример построения электрической схемы модулятора некогерентного передатчика приведен на рис. 8.2

9. Методические указания по конструированию, настройке и регулировке устройства

Конструктивное оформление разрабатываемой РЛС должно отвечать на вопросы, в какой степени разработанная аппаратура может быть реализована и в каком виде (габариты и вес), она может быть выполнена.

При описании конструкции необходимо указать на какой элементной базе строится устройство (на лампах, транзисторах, микросхемах и т.д.), какие элементы СВЧ используются в конструкции (коаксиальные, полые волноводы, полосковые линии и т.д.).

Особое внимание следует уделить требованиям к схеме размещения аппаратуры на борту летательного аппарата, а радиолокаторов УВД на местности. Вопросы размещения необходимо рассматривать с учетом удобства технического обслуживания и эксплуатации. Например, схема размещения радиолокационной системы TCAS -II имеет вид, показанный на рис.9.1

В процессе изготовления радиолокационной аппаратуры и ее эксплуатации необходимо производить настройку и регулировку ее отдельных узлов. Эти виды работы могут определяться регламентом и технологией технического обслуживания, выполнением дополнительных работ по устранению отказов и неисправностей, выявленных в полете и в процессе обслуживания РЛС, в процессе работ, осуществляемых на авиаремонтных заводах.

Разрабатываемое в курсовой работе устройство после его изготовления должно подвергаться настройке и регулировке. Технологический процесс этих операций должен быть изложен в данном разделе проекта. Для этого, прежде всего, следует выявить и обосновать перечень параметров, требующих регулировки и настройки, определить разброс их величин, не приводящий к потере работоспособности изделия в целом.

В принципиальную схему разрабатываемого устройства должны быть введены элементы, с помощью которых осуществляется настройка и регулировка с расчетом и обоснованием пределов изменения величины этих элементов.

Особое внимание следует уделить выбору типа и марки измерительных приборов. Эксплуатационные характеристики приборов должны обеспечивать выполнение намеченных операций и удовлетворять требованиям современного уровня развития аппаратуры. Например, для регулировки и настройки амплитудно-частотной характеристики узла нельзя использовать технологию снятия ее по точкам с помощью генератора стандартных сигналов и лампового вольтметра, а следует воспользоваться измерителем частотных характеристик так, чтобы непосредственно наблюдать трансформацию АЧХ при настройке.

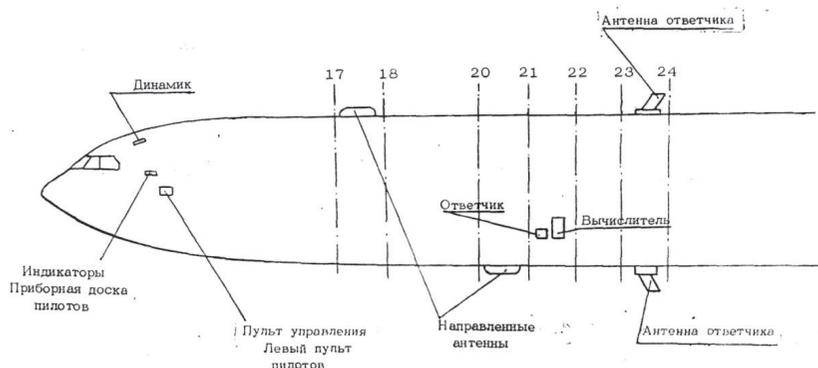


Рис. 9.1 Размещение системы TCAS -II на борту самолета

При подборе приборов необходимо учитывать их точностные характеристики, пределы измерений и возможность обеспечения заданных величин стимулирующих сигналов, таких как диапазон генерируемых частот, уровень глубины модуляции, девиации частоты и другие. Кроме того, следует учесть влияние прибора на процесс настройки и регулировки при подключении его к схеме, обусловленное конечной величиной его входного и выходного сопротивления.

После выбора типа прибора следует нарисовать структурную схему макета экспериментальной установки, указав все связи аппаратуры и настраиваемого узла.

В заключение данного раздела должна быть изложена подробная технология настройки и регулировки разрабатываемого узла по пунктам, в которой должны быть отражены ее ожидаемые результаты. Здесь же следует предложить соответствующие таблицы для занесения результатов измерений и построить графики эталонных характеристик параметров измерений.

10. Рекомендации по оформлению курсового проекта

Содержание курсового проекта определяется заданием. Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графического материала, предусмотренного заданием.

Текст расчетно-пояснительной записки раскрывает содержание выполненной работы и включает:

- краткий анализ задания на курсовой проект с целью уяснения поставленных для решения задач;
- обоснование технических требований к разрабатываемому устройству, не приведенных в задании;
- перечень возможных технических решений устройства и сравнительную оценку их по предъявленным требованиям;
- обоснование выбора наилучшего (оптимального) технического реше-

ния;

- расчет параметров отдельных элементов разрабатываемого устройства;

- описание эксперимента и полученные результаты (при наличии экспериментальных исследований, проведенных студентом) или математическо-

го моделирования на ЭВМ.

В выводах по проекту указывается:

- возможность реализации разработанного устройства по заданным техническим характеристикам;

- возможные пути (направления) совершенствования отдельных элементов (узлов) для достижения более высоких тактико-технических характеристик разработанного устройства.

В приложения выносятся наиболее громоздкие выкладки и вспомогательные материалы.

Объем расчетно-пояснительной записки не должен превышать 30 листов стандартного формата А4 (297×210).

Графическая часть курсового проекта представляет собой чертеж структурной (функциональной) схемы импульсного радиолокатора, выполненный на листе стандартного формата А1 (59

При оформлении курсовой работы рекомендуется применение следующих стандартов:

ГОСТ 2.102-68. Виды и комплектность конструкторских документов.

ГОСТ позволяет дать правильные названия чертежам и документам;

ГОСТ 2.104-68. Основные надписи. Дает правильное толкование графам «штампа»;

ГОСТ 2.105-68. Общие требования к текстовым документам;

ГОСТ 2.106-68. Текстовые документы. Дают формы листа текста, принцип разбиения на разделы и подразделы, требования к заполнению (нумерации формул и рисунков, формы ссылки и т.д.);

ГОСТ 2.301-68. Форматы. Дает схему построения форматов чертежей;

ГОСТ 2.304-68. Шрифты чертежные. Включает шрифты, как букв, так и знаков формул.

Графическая часть работы, выносимая в приложение к пояснительной записке, включает схемы, имеющие следующие шифры и наименования (ГОСТ 2.701-68):

Э1 - схема электрическая структурная;

Э2 - схема электрическая функциональная;

Э3 - схема электрическая принципиальная.

Правила выполнения электрических схем даны в ГОСТе 2.702-69.

11. Типовая структура курсового проекта и его защита

Типовая структура курсового проекта по разделам и объему представляется в следующем виде:

- титульный лист - 1 с.
- задание на курсовой проект - 1 с.
- введение - 1 с.
- анализ действующих аналогов схемы, обоснование и расчет тактико-технических характеристик проектируемой системы с представлением распечатки программы расчета на ЭВМ - 10-15 с.
- выбор и обоснование структурной схемы системы - 1-2 с.
- выбор и обоснование функциональной схемы разрабатываемого узла РЛС - 1-3 с.
- выбор и обоснование принципиальной схемы разрабатываемого узла РЛС - 4-6 с.
- методика настройки и регулировки - 1-2 с.

12. Защита курсового проекта

Защита курсового проекта производится в установленные сроки перед комиссией, в состав которой входит и преподаватель.

При приеме курсового проекта комиссия обращает особое внимание на тактическую и техническую стороны решения поставленной задачи, грамотность изложения, качество графического оформления, соблюдение стандартов ЕСКД. Графический материал может быть представлен в виде презентации, демонстрация которой осуществляется с помощью компьютерной установки.

На защите курсового проекта разрешается присутствовать студентам данной учебной группы.

Защита курсового проекта состоит из доклада на 8-10 минут и ответов на вопросы членов комиссии. Доклад должен характеризовать уровень проделанной работы, рассмотренные варианты, предложенные методы, встреченные при технической реализации трудности и пути их преодоления. Необходимо подчеркнуть эксплуатационную направленность курсового проекта.

Доклад должен содержать:

- название темы курсового проекта;
- постановку задачи (назначение и технические требования к разрабатываемому радиолокатору);
- обоснование принятых решений по принципам построения РЛС и ее основных систем;
- методику и результаты расчетов;

- методику и результаты экспериментальных исследований (при их наличии);
- выводы по проделанной работе.

По результатам защиты выставляется оценка. При выставлении оценки учитывается:

- научно-технический уровень курсового проекта, глубина обоснования принятых решений, правильность расчетов;
- качество выполнения расчетно-пояснительной записки и графического материала;
- четкость и логичность изложения доклада, правильность ответов на вопросы;
- степень самостоятельности при работе над проектом;
- наличие и результаты экспериментальных исследований или математического моделирования на ЭВМ.

При получении студентом неудовлетворительной оценки работа выполняется повторно по новой теме или перерабатывается прежняя тема в сроки, установленные заведующим кафедрой.

Доклад должен характеризовать уровень проделанной работы - рассмотренные варианты, предложенные методы, встреченные при технической реализации трудности и пути их преодоления. Необходимо подчеркнуть эксплуатационную направленность курсовой работы.

Содержание

	Стр.
1. Методические рекомендации по курсовому проекту.....	3
2. Программное обеспечение.....	5
3. Литература.....	5
4. Выбор задания на курсовой проект.....	7
5. Методические рекомендации к выполнению курсового проекта.....	9
6. Выбор и расчет тактических и технических характеристик радиолокатора.....	24
7. Методические указания к составлению структурной схемы радиолокатора.....	25
8. Методические указания к разработке радиолокационного узла.....	27
9. Методические рекомендации по конструированию, настройке и регулировке устройства.....	29
10. Рекомендации по оформлению курсового проекта.....	30
11. Типовая структура курсового проекта и его защита.....	32
12. Защита курсового проекта.....	32

Для заметок

Э.А. Лутин

Радиолокационные системы

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Подписано в печать 29.06.2020 г.
Формат 60x84/16 Печ. л. 2,25 Усл. печ. л. 2,09
Заказ № 590/0225-УМП28 Тираж 50 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А
Тел.: (495) 973-45-68
E-mail: zakaz@itsbook.ru