

Радиолокационные системы

Под редакцией А.И. Николаева

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по специальности
210601 «Радиоэлектронные системы и комплексы»*

2-е издание



МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА
2018

УДК 621.396.7
ББК 32.95
P15

Авторы:

В.В. Ахияров, С.И. Нефедов, А.И. Николаев, Г.П. Слукин,
И.Б. Федоров, В.Ю. Шустиков

Рецензенты:

кафедра «Радиотехнические системы» СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
(зав. кафедрой «Радиотехнические системы»
д-р техн. наук, проф. *В.М. Кутузов*);
д-р техн. наук, проф. *П.А. Бакулев*

P15 **Радиолокационные системы** : учебное пособие /
[В. В. Ахияров, С. И. Нефедов, А. И. Николаев и др.] ;
под ред. А. И. Николаева. — 2-е изд. — Москва : Изда-
тельство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — 349, [3] с.: ил.

ISBN 978-5-7038-4823-4

Изложены вопросы применения радиолокационных систем (РЛС) различного назначения в реальных условиях их функционирования, учитывающих влияние окружающей среды, подстилающей поверхности, воздействия помех. Рассмотрены задачи, требования и принципы построения РЛС управления воздушным движением, РЛС обнаружения, наведения и целеуказания, а также РЛС ракетно-космической обороны.

Содержание учебного пособия соответствует курсу лекций, который авторы читают в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов технических вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Радиотехника». Может быть полезно аспирантам, работникам научно-исследовательских организаций и промышленности, занимающимся вопросами разработки РЛС различного назначения.



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку Издательства обеспечивает МГТУ им. Н.Э. Баумана.

УДК 621.396.7
ББК 32.95

ISBN 978-5-7038-4823-4

© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Оглавление

Предисловие	6
Список основных сокращений	10
Глава 1. Классификация и общие характеристики радиолокационных систем	12
1.1. Классификация РЛС	12
1.2. Тактико-технические характеристики РЛС	16
1.3. Обобщенная структурная схема РЛС	23
Глава 2. Методы измерения и расчета вторичного излучения радиолокационных целей	32
2.1. Общие сведения о радиолокационных характеристиках объектов	32
2.2. Методы измерения радиолокационных характеристик объектов	37
2.3. Методы расчета отражательных характеристик радиолокационных целей	40
2.4. Строгие методы теории дифракции	41
2.5. Приближенные методы расчета полей рассеяния	46
2.6. Основы стелс-технологий	56
Глава 3. Влияние подстилающей поверхности и атмосферы на характеристики радиолокационных систем	61
3.1. Общие сведения о рассеянии радиолокационного сигнала подстилающей поверхностью	61
3.2. Основы теории рассеяния радиоволн на статистически неровной поверхности	65
3.3. Рассеяние радиоволн морской поверхностью	70
3.4. Рассеяние радиоволн турбулентной атмосферой	73
3.5. Влияние подстилающей поверхности на дальность действия и зоны видимости РЛС	76
3.6. Общие свойства ионосферы	84
Глава 4. Методы расчета дальности действия однопозиционных радиолокационных станций	90
4.1. Максимальная дальность действия РЛС в свободном пространстве	90

4.2. Уравнение дальности радиолокации с учетом влияния Земли	94
4.3. Влияние кривизны Земли на максимальную дальность обнаружения цели и интерференционный множитель.....	95
4.4. Влияние атмосферной рефракции на дальность действия РЛС.....	97
4.5. Максимальная дальность действия РЛС с учетом ослабления в тропосфере	101
4.6. Влияние режима обзора пространства на дальность действия радиолокатора	107
4.7. Примеры учета факторов, влияющих на дальность действия РЛС в свободном пространстве.....	111
4.8. Методы повышения дальности действия РЛС.....	118
Глава 5. Методы защиты радиолокационных станций от имитирующих помех	125
5.1. Классификация и средства создания активных имитирующих помех	125
5.2. Классификация и средства создания пассивных имитирующих помех	133
5.3. Методы защиты от импульсных помех	136
5.4. Методы стабилизации уровня ложных тревог	144
Глава 6. Радиолокационные системы (комплексы) управления воздушным движением	148
6.1. Классификация РЛС управления воздушным движением и основные требования, предъявляемые к ним.....	148
6.2. Принципы построения и основные технические характеристики трассовых и аэродромных радиолокационных комплексов	154
6.3. Примеры отечественных РЛС УВД	160
6.4. Примеры зарубежных РЛС УВД.....	168
Глава 7. Радиолокационные системы (комплексы) обнаружения, наведения и целеуказания наземного базирования	171
7.1. Назначение РЛС обнаружения, наведения и целеуказания. Классификация, основные этапы развития	171
7.2. Методы обзора пространства и измерения координат, применяемые в РЛС ОНЦ	180
7.3. Радиолокационные системы (комплексы) обнаружения, наведения и целеуказания боевого режима	196

7.4. Особенности построения РЛС дальнего обнаружения и предупреждения дежурного режима.....	218
Глава 8. Радиолокационные системы обнаружения мало-высотных целей	233
8.1. Особенности обнаружения и измерения координат МВЦ	233
8.2. Назначение и тактико-технические требования, предъявляемые к РЛС обнаружения МВЦ	240
8.3. Основные технические решения в наземных РЛС обнаружения МВЦ.....	244
8.4. Назначение, основные тактико-технические характеристики и принципы построения РЛС обнаружения маловысотных целей «Каста-2Е1» (51У6).....	248
8.5. Назначение, тактико-технические характеристики и принципы построения РЛС «Каста-2Е2» (39Н6Е)	256
Глава 9. Радиолокационные системы ракетно-космической обороны	289
9.1. Принципы построения системы ракетно-космической обороны и назначение информационных систем, входящих в ее состав	289
9.2. Особенности фоно-целевой обстановки при обнаружении средств ракетно-космического нападения.....	295
9.3. Радиолокационные средства системы предупреждения о ракетном нападении.....	300
9.4. Радиолокационные средства систем противоракетной обороны.....	321
9.5. Радиолокационные системы контроля космического пространства.....	338
Заключение.....	347
Литература.....	349

Предисловие

Создание радиолокационных систем (РЛС) — одно из самых значительных достижений мировой цивилизации XX века. Разработанные для дальнего обнаружения воздушных объектов и повышения эффективности стрельбы зенитной артиллерии, РЛС прочно вошли в повседневную жизнь. Радиолокационные средства военного назначения используются во всех видах вооруженных сил РФ и развитых зарубежных стран. Они обеспечивают своевременное обнаружение и предупреждение о космических, баллистических, воздушных, наземных и надводных объектах, наведение на них в случае необходимости управляемого и неуправляемого оружия, определение государственной принадлежности и др. Еще более широкий круг задач с использованием радиолокации и радиолокационных методов решается в гражданских сферах: управление воздушным движением для контроля и обеспечения безопасности полетов; сельское и лесное хозяйство, в частности, исследования состояния растительного покрова, определение вида почвы, ее температуры, влажности и др.; геодезия и география, в частности, поиск минеральных месторождений, отработка техники разведки полезных ископаемых, распределение транспорта и оценка состояния систем связи и др.; океанография, в частности, картографирование береговой линии, проведение ледовой разведки, наблюдение за биологическими ресурсами и др.; гидрология, в частности, изучение стока грунтовых вод и загрязнения водных поверхностей, определение характера снегового и ледового покрова, наблюдение за режимом работы рек и др.

В последние годы широкое развитие получают методы подповерхностного зондирования для определения рельефа дна морей и наличия подземных объектов (трубопроводов, замаскированной техники), нахождения биообъектов за препятствиями.

Такое разнообразное применение радиолокации, широкий круг задач, решаемых радиолокационными средствами, обусловили необходимость создания отдельной учебной дисциплины, дополняющей уже традиционный курс, существующий в МГТУ им. Н.Э. Бау-

мана, — «Теоретические основы радиолокации» (ТОРЛ). В курсе ТОРЛ обычно приводятся необходимые сведения о характеристиках объектов радиолокации и об основных закономерностях радиолокационного наблюдения, являющихся общими для большинства РЛС: обнаружение, разрешение, измерение и помехозащита. Влияние подстилающей поверхности и атмосферы на характеристики радиолокационных станций не рассматривалось, обработка принимаемых сигналов полагалась оптимальной, а помехи — стационарными маскирующими (активными и пассивными). Поэтому в курсе «Радиолокационные системы» наряду с изучением особенностей различных видов РЛС и комплексов определенное внимание уделяется изучению реальных условий работы радиолокаторов и влияния окружающей среды на условия их функционирования, а также методам защиты от имитирующих помех.

Предлагаемое учебное пособие охватывает только часть типов радиолокационных средств наземного базирования: РЛС управления воздушным движением, РЛС обнаружения, наведения и целеуказания, РЛС ракетно-космической обороны.

Основой пособия являются материалы лекций, которые авторы в течение нескольких лет читают студентам МГТУ им. Н.Э. Баумана, ранее опубликованные учебные пособия и оригинальные работы авторов, результаты научно-исследовательских работ в области радиолокации, выполненные с участием авторов, материалы научно-технических семинаров секции «Информационные технологии в радиолокации» Научного совета «Новые информационные технологии» Отделения информатики, вычислительной техники и автоматизации РАН, проводимых в МГТУ им. Н.Э. Баумана под руководством академика РАН И.Б. Федорова, работы отечественных и зарубежных специалистов, приведенные в списке литературы, а также описания радиолокационных станций, изданные предприятиями-разработчиками радиолокационной техники.

В главе 7 с разрешения В.В. Литвинова использованы материалы учебника «Основы построения радиолокационного вооружения радиотехнических войск»*.

Учебное пособие соответствует программам учебных дисциплин «Радиолокационные системы» и «Радиотехнические системы и комплексы» и состоит из девяти глав.

* Основы построения радиолокационного вооружения радиотехнических войск / под ред. В.В. Литвинова. Харьков: ВИРТА ПВО, 1988. 348 с.

Глава 1 вводная. В ней приведена классификация РЛС, обобщенная структурная схема радиолокатора и изложены основные тактико-технические характеристики таких систем.

В главе 2 описаны методы измерения и расчета вторичного излучения радиолокационных целей. Изложены краткие сведения об экспериментальном получении радиолокационных характеристик объектов, приведены строгие и приближенные методы расчета полей рассеяния объектов радиолокации.

В главе 3 рассмотрено влияние подстилающей поверхности и среды распространения радиоволн на характеристики РЛС. Изложены основы теории рассеяния радиоволн от земной и морской поверхностей и от турбулентной атмосферы. Описано влияние подстилающей поверхности и атмосферы на дальность действия и области видимости наземных РЛС.

В главе 4 приведены методы расчета дальности однопозиционных РЛС с учетом влияния Земли, атмосферной рефракции и ослабления в тропосфере. Проанализировано влияние обзора и возможных энергетических потерь принимаемых сигналов в антенном и приеме-индикаторном трактах радиолокатора на дальность действия РЛС. Изложены основные методы повышения дальности действия РЛС при сохранении ее энергетического потенциала.

В главе 5 изложены методы защиты радиолокационных станций от имитирующих помех. Рассмотрены задачи, классификация, средства и способы создания активных и пассивных имитирующих помех и их влияние на работу радиолокационных станций. Приведены методы, ослабляющие влияние однократных активных имитирующих помех, уводящих системы автосопровождения РЛС управления оружием, и многократных импульсных помех, а также методы стабилизации уровня ложных тревог.

В главе 6 рассмотрены радиолокаторы управления воздушным движением (УВД). Приведены классификация РЛС УВД, требования, предъявляемые к таким радиолокаторам в целом и к их основным характеристикам, и примеры отечественных и зарубежных РЛС УВД.

Глава 7 содержит сведения о РЛС обнаружения, наведения и целеуказания (ОНЦ). Приведена классификация РЛС ОНЦ, рассмотрены тактико-технические требования, предъявляемые к таким системам, принципы их построения, позволяющие реализовать предъявляемые требования, и примеры построения отечественных и зарубежных РЛС, находящихся на эксплуатации.

В главе 8 рассмотрены РЛС обнаружения маловысотных целей (МВЦ). Проанализированы особенности обнаружения и измерения координат маловысотных целей, приведены назначение и основные тактико-технические требования, предъявляемые к таким РЛС. Изложены основные технические решения, реализуемые в наземных РЛС обнаружения МВЦ. Приведены примеры построения двух отечественных РЛС обнаружения маловысотных целей: «Каста 2Е1» и «Каста 2Е2». Рассмотрены назначение, тактико-технические характеристики и принципы построения этих РЛС.

В главе 9 приведены тактико-технические требования и принципы построения РЛС ракетно-космической обороны. Рассмотрены основные типы радиолокационных станций раннего надгоризонтного и загоризонтного обнаружения систем предупреждения о ракетном нападении, радиолокационные станции дальнего обнаружения, станции сопровождения и наведения систем противоракетной обороны, РЛС системы контроля космического пространства и противокосмической обороны.

Глава 1 написана А.И. Николаевым, глава 2 — В.В. Ахияровым, глава 3 — В.В. Ахияровым и И.Б. Федоровым, глава 4 — В.В. Ахияровым и А.И. Николаевым, главы 5–8 — А.И. Николаевым, глава 9 — С.И. Нефедовым, Г.П. Слукиным, И.Б. Федоровым и В.Ю. Шустиковым. Общее редактирование выполнено А.И. Николаевым.

Авторы выражают глубокую признательность рецензентам: доктору технических наук, профессору П.А. Бакулеву и коллективу кафедры «Радиотехнические системы» СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (зав. кафедрой — доктор технических наук, профессор В.М. Кутузов) за полезные советы, которые были учтены авторами.

Авторы также признательны Н.В. Белявцевой, А.С. Головневой за помощь, оказанную при подготовке рукописи.

Все замечания и пожелания по содержанию книги следует направлять по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., 5. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Список основных сокращений

АПОИ	— аппаратура первичной обработки информации
АПОС	— аппаратура первичной обработки сигналов
АПУ	— антенно-поворотное устройство
АРМ	— автоматизированное рабочее место
АСУ	— автоматизированная система управления
АЦП	— аналого-цифровой преобразователь
ВАРУ	— временная автоматическая регулировка усиления
ВКО	— воздушно-космическая оборона
ВКС	— воздушно-космические силы
ВО	— воздушный объект
ВОИ	— вторичная обработка информации
ВРЛ	— вторичный радиолокатор
ВТО	— высокоточное оружие
ГТД	— геометрическая теория дифракции
ДНА	— диаграмма направленности антенны
ИКО	— индикатор кругового обзора
КА	— космический аппарат
ЛА	— летательный аппарат
КВС	— комплекс вычислительных средств
ЛЧМ	— линейная частотная модуляция
МВП	— маловысотное поле
МВЦ	— маловысотная цель
ММВ	— миллиметровые волны
МШУ	— малозумящий усилитель
НИП	— несинхронная импульсная помеха
НЛЧМ	— нелинейная частотная модуляция
ОВД	— организация воздушного движения
ОГП	— опознавание государственной принадлежности
ОНЦ	— обнаружение, наведение, целеуказание
ПАП	— постановщик активных помех

ПБО	— подавление боковых ответов
ПВО	— противовоздушная оборона
ПКО	— противокосмическая оборона
ПРЛ	— первичный радиолокатор
ПРО	— противоракетная оборона
ПРР	— противорадиолокационная ракета
РКО	— ракетно-космическая оборона
РЛИ	— радиолокационная информация
РЛК	— радиолокационный комплекс
РЛС	— радиолокационная станция (система)
РЛС БР	— РЛС боевого режима
РЛС ДР	— РЛС дежурного режима
РЛС МВЦ	— РЛС обнаружения маловысотных целей
РЛС ОНЦ	— РЛС обнаружения, наведения и целеуказания
РЛС УВД	— РЛС управления воздушным движением
РЛЦ	— радиолокационная цель
РМО	— рабочее место оператора
РНС	— радионавигационная система
СДЦ	— селекция движущихся целей
СККП	— система контроля космического пространства
СПРН	— система предупреждения о ракетном нападении
УВД	— управление воздушным движением
УПЧ	— усилитель промежуточной частоты
ФАР	— фазированная антенная решетка
ФКМ	— фазокодовая манипуляция
ФТД	— физическая теория дифракции
ШАРУ	— шумовая автоматическая регулировка усиления
ШОУ	— широкополосный усилитель — ограничитель — узкополосный усилитель (фильтр)
ШУВЧ	— широкополосный усилитель высокой частоты
ЭПР	— эффективная площадь рассеяния

Глава 1. Классификация и общие характеристики радиолокационных систем

1.1. Классификация РЛС

Классифицировать радиолокационные системы (РЛС), так же как и радиотехнические системы, можно по различным признакам [1–5].

В зависимости от используемых классификационных признаков различают следующие РЛС:

- по месту установки — РЛС наземного, корабельного (морского), авиационного (воздушного), космического и смешанного базирования;

- назначению — РЛС обнаружения целей (обзорные РЛС), управления оружием (следающие РЛС), обеспечения полетов, метеорологические, навигационные, опознавания государственной принадлежности, многофункциональные;

- рабочему диапазону длин волн — РЛС декаметрового, метрового, дециметрового, сантиметрового, миллиметрового диапазонов длин волн, многодиапазонные радиолокационные станции;

- виду излучения — РЛС импульсного, непрерывного, квазинепрерывного, шумового (квазишумового) и комбинированного излучения;

- числу измеряемых координат — двухкоординатные (обычно дальность и азимут — дальномеры, или дальность и угол места — высотомеры), трехкоординатные (обычно дальность, азимут и угол места);

- числу занимаемых позиций — однопозиционные и многопозиционные.

Рассмотрим более подробно задачи, решаемые РЛС в зависимости от места их установки.

Наземные РЛС включают РЛС надгоризонтного обнаружения (НГО), загоризонтного обнаружения (ЗГО) и подповерхностной радиолокации (ППРЛ) [1–5].

Глава 2. Методы измерения и расчета вторичного излучения радиолокационных целей

2.1. Общие сведения о радиолокационных характеристиках объектов

Определение эффективной площади рассеяния. Как правило, для характеристики вторичного излучения цели в заданном направлении используется *эффективная площадь рассеяния* (ЭПР). Величина ЭПР определяется отношением плотности потока энергии, рассеянного в направлении приемника, к плотности потока энергии электромагнитной волны, падающей на цель. Условия возбуждения и приема поясняет рис. 2.1.



Рис. 2.1. Возбуждение и прием вторичного излучения:

а — приемник и передатчик разнесены; б — приемник и передатчик совмещены

В окрестности радиолокационной цели (РЛЦ) создается плотность потока энергии первичной волны $\Pi_{ц}$, Дж/(с·м²) = Вт/м², определяемая модулем вектора Пойнтинга. В точке приема на расстоянии r от цели плотность потока энергии вторичной волны обозначается $\Pi_{пр}$.

Реальную цель можно заменить эквивалентной целью, которая изотропно рассеивает всю падающую на нее энергию и создает вблизи приемника такую же плотность потока $\Pi_{пр}$, что и реальная цель. Отношение мощности $P = 4\pi r^2 \Pi_{пр}$, рассеиваемой эквива-

Глава 3. Влияние подстилающей поверхности и атмосферы на характеристики радиолокационных систем

3.1. Общие сведения о рассеянии радиолокационного сигнала подстилающей поверхностью

Определение мощности сигнала, отраженного от подстилающей поверхности. Радиолокационные отражения от земной поверхности характеризуются величиной σ_0 — *удельной ЭПР* (ЭПР единицы площади земной поверхности), в то время как сосредоточенные вторичные отражатели характеризуются ЭПР σ [2, 4]. Полная ЭПР элемента разрешения земной поверхности зависит от облучаемой площади, которая определяется рядом параметров РЛС: длительностью зондирующих (или сжатых) импульсов, шириной ДНА и т. д. Поэтому введение удельной ЭПР σ_0 позволяет получить характеристику отражающих свойств земной поверхности, не зависящую от перечисленных параметров.

Эффективная площадь рассеяния участка поверхности (элемента разрешения) площадью S определяется выражением $\sigma = \sigma_0 S$. При малых углах падения ψ площадь

$$S \approx r \Delta\beta \frac{c\tau}{2 \cos \psi},$$

где r — дальность; $\Delta\beta$ — ширина луча по азимуту; c — скорость распространения электромагнитных волн; τ — длительность импульса (рис. 3.1, *a*). При больших углах падения, когда величина облученной площади определяется, главным образом, шириной луча антенны, а не длительностью сигнала, площадь $S \approx r^2 \Omega_a$, где Ω_a — телесный угол диаграммы направленности антенны в стерadianах (рис. 3.1, *b*).

Использование такого параметра, как удельная ЭПР, подразумевает, что отраженный от земной поверхности сигнал форми-

Глава 4. Методы расчета дальности действия однопозиционных радиолокационных станций

4.1. Максимальная дальность действия РЛС в свободном пространстве

В свободном пространстве на расстоянии r от РЛС плотность потока энергии электромагнитной волны, создаваемой ненаправленным излучателем, определяется отношением излучаемой импульсной мощности передатчика к площади поверхности сферы $4\pi r^2$. С учетом направленных свойств антенны, имеющей коэффициент усиления $G(\beta, \varepsilon)$, где β и ε — угловые координаты по азимуту и углу места, плотность потока энергии $S_{ц}$ в направлении цели (β, ε) увеличивается в $G(\beta, \varepsilon)$ раз:

$$S_{ц} = \frac{P_{и}G(\beta, \varepsilon)}{4\pi r^2}, \quad (4.1)$$

где $P_{и}$ — импульсная мощность.

Плотность потока энергии отраженной волны в точке расположения приемной антенны РЛС

$$S_{пр} = \frac{S_{ц}\sigma}{4\pi r^2},$$

или

$$S_{пр} = \frac{P_{и}G(\beta, \varepsilon)\sigma}{4\pi r^2}.$$

Умножая $S_{пр}$ на эффективную площадь приемной антенны $A(\beta, \varepsilon)$, находим мощность отраженного сигнала, поступающего на вход приемника:

$$P_{пр} = S_{пр}A(\beta, \varepsilon) = \frac{P_{и}G(\beta, \varepsilon)A(\beta, \varepsilon)\sigma}{(4\pi r^2)^2}. \quad (4.2)$$

Глава 5. Методы защиты радиолокационных станций от имитирующих помех

5.1. Классификация и средства создания активных имитирующих помех

Имитирующими (дезинформирующими) называют помехи, трудно отличимые от полезных сигналов РЛС, но несущие *дезинформацию* [2]. Имитирующие помехи не создают сплошного маскирующего и подавляющего фона полезным сигналам и потому реализуются при меньших средних мощностях излучения, чем маскирующие помехи. Характер дезинформации зависит от назначения и специфики РЛС. Так, задачей дезинформации РЛС обнаружения, наведения и целеуказания может быть усложнение наблюдаемой обстановки и срыв целераспределения между огневыми средствами. Задачей дезинформации РЛС наведения зенитного управляемого оружия является нарушение работы РЛС автоматического сопровождения цели (по дальности, угловым координатам, радиальной скорости) в интересах индивидуальной защиты объекта наведения (самолета и т. д.).

Имитирующие помехи могут быть активными или пассивными. Активные имитирующие помехи создаются излучениями радиоаппаратуры, а пассивные имитирующие помехи — за счет отражения зондирующих сигналов от различных пассивных отражателей, находящихся в зоне действия РЛС. Рассмотрим средства создания и классификацию имитирующих помех.

Классификация активных имитирующих помех. Классификация активных имитирующих помех приведена на рис. 5.1. По происхождению активные имитирующие помехи могут быть преднамеренными (умышленными) и непреднамеренными (взаимными), а по характеру воздействия на РЛС — имитирующими и маскирующими. Активные имитирующие помехи несут ложную информацию о числе и координатах целей, законах изменения

Глава 6. Радиолокационные системы (комплексы) управления воздушным движением

6.1. Классификация РЛС управления воздушным движением и основные требования, предъявляемые к ним

В системах управления воздушным движением (УВД) используются наземные и бортовые РЛС. К наземным относятся первичные (с пассивным ответом) радиолокаторы (ПРЛ) и вторичные (с активным ответом) радиолокаторы (ВРЛ); к бортовым — метеонавигационные РЛС, радиовысотомеры и др. Рассмотрим наземные первичные и вторичные радиолокаторы.

Первичные радиолокаторы управления воздушным движением. Классификация ПРЛ УВД представлена в табл. 6.1 [22]. Требования к радиолокаторам УВД согласуются в Международной авиационной организации (ICAO — International Civil Aviation Organization). В соответствии с рекомендациями ICAO основные тактические характеристики ПРЛ различных типов должны удовлетворять значениям, приведенным в табл. 6.2. Указанные требования берутся за основу при проектировании ПРЛ. При этом точное совпадение тактических характеристик РЛС с данными, приведенными в табл. 6.2, не обязательно. Однако требуемые характеристики, как правило, соблюдаются ведущими мировыми производителями РЛС УВД.

Таблица 6.1. Основные типы первичных радиолокаторов УВД

Российское обозначение	Обозначение ICAO	Основные особенности
Трассовый радиолокатор (ТРЛ), 2-координатный	Air Route Surveillance Radar (ARSR), 2D	Большая дальность, низкий темп обновления информации, средние и большие высоты

Глава 7. Радиолокационные системы (комплексы) обнаружения, наведения и целеуказания наземного базирования

7.1. Назначение РЛС обнаружения, наведения и целеуказания.

Классификация, основные этапы развития

Назначение РЛС обнаружения, наведения и целеуказания (ОНЦ). Радиолокационные системы (комплексы) ОНЦ предназначены для обеспечения безопасного, экономичного, регулярного воздушного движения и другой деятельности по использованию воздушного пространства России в интересах экономики, обороны и безопасности государства, а также обслуживания воздушного движения (управления полетами) над открытым морем (т. е. за пределами государственной границы России), где ответственность за организацию воздушного движения возложена международными договорами на Российскую Федерацию [20].

К основным задачам, решаемым РЛС обнаружения, наведения и целеуказания, относятся*:

1) обнаружение и измерение координат воздушных объектов над территорией России (и над другими территориями, закрепленными за РФ) для постоянного контроля воздушного пространства и управления воздушным движением;

2) ведение радиолокационной разведки воздушного противника, т. е. непрерывный обзор воздушного пространства для своевременного обнаружения воздушных объектов на максимально

* Кизилов М.Т., Михайлов Б.В., Шрамченко А.В., Третьяков В.А. Проблемы объединения систем и средств различных ведомств в Единую автоматизированную радиолокационную систему страны в интересах безопасности полетов // Радиопромышленность. М.: ОАО «НИИЭР», 2000. Вып. 4. С. 22–30.

Глава 8. Радиолокационные системы обнаружения маловысотных целей

8.1. Особенности обнаружения и измерения координат МВЦ

Радиолокационные системы обнаружения МВЦ, как уже отмечалось в 7.1, относятся к РЛС ОНЦ боевого режима второго типа. Однако по сравнению с РЛС ОНЦ боевого режима первого типа они имеют ряд особенностей, связанных с решением задач обнаружения и измерения координат МВЦ на фоне отражений от земной поверхности.

Дальность обнаружения МВЦ с учетом интерференционного изменения ДНА. Дальность действия РЛС с учетом влияния земли может быть определена в соответствии с выражением (4.10):

$$r = \sqrt[8]{\frac{\mathcal{E}GA\sigma_{ц}}{(4\pi)^2 vN_0}} \sqrt{\frac{4\pi h_a h_{ц}}{\lambda}} = \sqrt{r_0} \sqrt{\frac{4\pi h_a h_{ц}}{\lambda}}, \quad (8.1)$$

что позволяет связать дальность обнаружения r МВЦ с дальностью действия r_0 РЛС в свободном пространстве. Соотношение (8.1)

справедливо, как уже указывалось в 4.2, при значениях $\frac{2\pi h_a}{\lambda} \frac{h_{ц}}{r} \leq \leq 0,5$, т. е. при

$$h_{ц} \leq \frac{\lambda r}{4\pi h_a}. \quad (8.2)$$

Если подставить максимальное значение высоты цели из выражения (8.2) в формулу (8.1), то получим, что при этой высоте полета цели $r = r_0$.

Таким образом выражение (8.1) описывает нижнюю кромку зоны видимости РЛС в пределах дальности от 0 до r_0 и показывает, что максимальная дальность обнаружения целей на малых высотах (при малых углах места) пропорциональна корню восьмой степени из энергетического потенциала РЛС.

Глава 9. Радиолокационные системы ракетно-космической обороны

9.1. Принципы построения системы ракетно-космической обороны и назначение информационных систем, входящих в ее состав

Ракетно-космическая оборона — комплекс организационных мероприятий, технических средств и воинских формирований, объединенных единым командованием и единой логикой управления для решения следующих основных задач*:

- информационного обеспечения высшего руководства страны и всех звеньев управления вооруженными силами полными, своевременными и достоверными данными о текущем состоянии ракетной и космической обстановки во всем приземном пространстве и, особенно, о ее изменениях, несущих угрозу безопасности страны;

- уменьшения последствий состоявшегося ракетного нападения путем уничтожения атакующих баллистических ракет на траекториях полета;

- обеспечения суверенных прав на беспрепятственное ведение законной космической деятельности и парирование угроз, исходящих из космического пространства, путем уничтожения военных космических систем, несущих такие угрозы, если иные методы ликвидации угроз не достигли результатов.

Исходя из этих задач, вся система ракетно-космической обороны разделена на четыре автономные подсистемы. Две из них носят характер информационных систем, а две являются системами поражения. К информационным системам относятся автономно функционирующие системы предупреждения о ракетном нападении

* *Первов М.А.* Системы ракетно-космической обороны создавались так. М.: Изд-во АВИАРУС-XXI, 2003. 432 с.

Заключение

В пособии изложены общие вопросы функционирования РЛС различного назначения в реальных условиях и рассмотрены задачи, тактико-технические требования и принципы построения некоторых наземных РЛС. К общим вопросам функционирования РЛС отнесены вопросы определения ЭПР реальных целей, методы учета влияния среды распространения радиоволн на характеристики РЛС, возможности повышения дальности действия и защищенности РЛС от активных имитирующих помех. Рассмотрены РЛС управления воздушным движением, РЛС обнаружения, наведения и целеуказания и РЛС ракетно-космической обороны.

Охватить в одной книге все многообразие РЛС практически невозможно, поэтому даже наземные РЛС рассмотрены не полно. Так, применительно к РЛС наземного базирования не рассмотрены радиолокационные средства ЗРК, обеспечивающие наведение зенитных управляемых ракет на воздушные (и некоторые баллистические) цели, и достаточно многочисленный класс наземных РЛС, ведущих радиолокационную разведку на поле боя. Определенный интерес для решения народно-хозяйственных и оборонных задач представляют также метеорологические РЛС, РЛС опознавания государственной принадлежности и РЛС подповерхностного зондирования. Кроме того, постоянно развиваются существующие и появляются новые типы радиолокационных средств, поэтому авторы предполагают подготовить вторую часть учебного пособия, в котором будут изложены задачи, требования и некоторые принципы построения ряда видов радиолокационных средств, не вошедших в данную книгу. К основным из них, кроме указанных выше, можно отнести РЛС морского (корабельного), воздушного (авиационного) и космического базирования.

Радиолокационные системы корабельного базирования по решаемым задачам и тактико-техническим требованиям во многом близки к РЛС наземного базирования, однако имеют и свои специфические особенности, которые необходимо отразить.

Значительную роль в интересах решения народно-хозяйственных и оборонных задач играют РЛС воздушного (авиационного) базирования. Особо следует отметить РЛС обзора земной и водной поверхности, позволяющие повысить наши знания о состоянии сельскохозяйственных посевов, в гидрологии, геологии, океанологии и др.

Также в последнее время существенно расширился круг задач, решаемых РЛС космического базирования. Кроме ставших уже традиционными задач обеспечения сближения, стыковки и посадки космических аппаратов, РЛС космического базирования обеспечивают глобальное дистанционное зондирование и исследование Земли и других планет.

Предполагается также рассмотреть и некоторые перспективные направления развития РЛС. К ним можно отнести РЛС сверхкороткоимпульсного излучения и РЛС с длительным когерентным накоплением, голографические и биорадиолокаторы, многочастотные и многодиапазонные РЛС, РЛС с повышенной скрытностью и живучестью.

Авторы надеются, что учебное пособие будет полезным при изучении дисциплин «Радиолокационные системы» и «Радиотехнические системы и комплексы».

Литература

1. Информационные технологии в радиотехнических системах: учеб. пособие / под ред. И.Б. Федорова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 846 с.
2. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник / под ред. Я.Д. Ширмана. М.: Радиотехника, 2007. 512 с.
3. *Лёзин Ю.С.* Введение в теорию и технику радиотехнических систем: учеб. пособие для вузов. М.: Радио и связь, 1986. 280 с.
4. Справочник по радиолокации: в 4-х т. / под ред. М. Скольника. М.: Сов. радио, 1976–1979.
5. *Бакулев П.А.* Радиолокационные системы: учебник для вузов. М.: Радиотехника, 2004. 320 с.
6. Морская радиолокация / под ред. В.И. Винокурова. Л.: Судостроение, 1986. 256 с.
7. Радиолокационное вооружение военно-морского флота России / под ред. И.И. Тынянкина и В.Ф. Измайлова. М.: ООО Изд-во «Научтехлитиздат», 2004. 446 с.
8. *Черняк В.С.* Многопозиционная радиолокация. М.: Радио и связь, 1993. 416 с.
9. Многофункциональные радиолокационные системы: учеб. пособие для вузов / под ред. Б.Г. Татарского. М.: Дрофа, 2007. 283 с.
10. Радиолокационные системы многофункциональных самолетов. Т.1.: РЛС – информационная основа боевых действий многофункциональных самолетов. Системы и алгоритмы первичной обработки радиолокационных сигналов / под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. М.: Радиотехника, 2006. 656 с.
11. *Верба В.С.* Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Состояние и тенденции развития. М.: Радиотехника, 2008. 432 с.
12. Теоретические основы радиолокации: учеб. пособие для вузов / под ред. Я.Д. Ширмана. М.: Сов. радио, 1970. 560 с.
13. Теоретические основы радиолокации: учеб. пособие для вузов / под ред. В.Е. Дулевича. М.: Сов. радио, 1978. 608 с.
14. *Кобак В.О.* Радиолокационные отражатели. М.: Сов. радио, 1975. 248 с.
15. *Марков Г.Т., Петров Б.М., Грудинская Г.П.* Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Сов. радио, 1979. 376 с.

16. *Черный Ф.Б.* Распространение радиоволн. М.: Сов. радио, 1972. 464 с.
17. *Басс Ф.Г., Фукс И.М.* Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. М.: Наука, 1972. 424 с.
18. *Исимару А.* Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т. 2: Многократное рассеяние, турбулентность, шероховатые поверхности и дистанционное зондирование. М.: Мир, 1981. 317 с.
19. *Татарский В.И.* Распространение радиоволн в турбулентной атмосфере. М.: Наука, 1967. 548 с.
20. Основы построения радиолокационного вооружения радиотехнических войск / под ред. В.В. Литвинова. Харьков: ВИРТА ПВО, 1988. 348 с.
21. *Бакулев П.А., Степин В.М.* Методы и устройства селекции движущихся целей. М.: Радио и связь, 1986. 288 с.
22. *Вовшин Б.М., Леонов Ф.Е.* Радиолокационные средства УВД: основные типы, технические решения, направления развития // Прикладная радиоэлектроника. 2004. Т. 3. № 4. С. 49–60.
23. Мобильная радиолокационная станция обнаружения низколетящих целей дежурного режима «Каста-2Е» (51У6). М.: ФГУП ВНИИРТ, 2004. 130 с.
24. *Федоров И.Б., Служкин Г.П., Нефедов С.И.* Перспективы применения технологии длительного когерентного накопления в обзорных радиолокационных станциях // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. 2005. Спец. выпуск. С. 112–132.
25. *Леонов С.А.* Радиолокационные средства противовоздушной обороны. М.: Воениздат, 1998. 180 с.
26. Мобильная радиолокационная станция обнаружения низколетящих целей дежурного режима «Каста-2Е» (39Н6Е). М.: ФГУП ВНИИРТ, 2005. 160 с.
27. История отечественной радиолокации / под ред. С.В. Хохлова. М.: Издат. дом «Столичная энциклопедия», 2015. 736 с.

Учебное издание

Ахияров Владимир Влерович
Нефедов Сергей Игоревич
Николаев Александр Иванович
Слукин Геннадий Петрович
Федоров Игорь Борисович
Шустиков Владимир Юрьевич

Радиолокационные системы

Редактор *Н.Е. Овчеренко*
Технический редактор *Э.А. Кулакова*
Художник *Я.М. Ильина*
Корректор *Е.Г. Купрянова*
Компьютерная графика *О.В. Левашовой*
Компьютерная верстка *О.В. Беляевой*

В оформлении использованы шрифты
Студии Артемия Лебедева.

Оригинал-макет подготовлен
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Подписано в печать 15.12.2017. Формат 60 × 90 1/16.
Усл. печ. л. 22,0. Тираж 500 экз.

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
press@bmstu.ru
www.baumanpress.ru

Отпечатано в ПАО «Т8 Издательские Технологии»
109316, Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5.