




СИБИРСКИЙ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

SIBERIAN  
FEDERAL  
UNIVERSITY

# ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА

Военно-технические основы  
построения средств и комплексов  
радиоэлектронного подавления

Министерство  
обороны РФ



УДК 621.396.969(07)  
ББК 68.520.1я73  
В634

**Авторы:**

Е. Н. Гарин, А. С. Осипов, А. Б. Гладышев, А. Н. Фомин,  
Е. Д. Михов, Д. С. Ермоленко, С. В. Серебринников, В. П. Молчанов,  
П. Ю. Зверев, В. М. Бацылев

**Рецензенты:**

*И. Н. Ицук*, доктор технических наук, доцент, начальник кафедры  
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского  
и Ю. А. Гагарина»;

*Ю. Л. Ратеев*, доктор технических наук, профессор кафедры РТВ ВКС  
Военного учетного центра СФУ

**В634 Военно-техническая подготовка. Военно-технические основы  
построения средств и комплексов радиоэлектронного подавления**  
: учебник / Е. Н. Гарин, А. С. Осипов, А. Б. Гладышев [и др.] ;  
под науч. ред. Е. Н. Гарина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Красно-  
ярск : Сиб. федер. ун-т, 2021. – 478 с.  
ISBN 978-5-7638-4449-8

Изложены теоретические основы радиоэлектронной борьбы, построения радио-  
передающих, радиоприемных устройств, антенно-фидерных систем автоматизиро-  
ванных станций помех КВ- и УКВ-диапазонов и комплексов РЭБ-Н. Рассмотрена  
современная элементная база аппаратуры станций помех.

Предназначен для студентов военных учебных центров, обучающихся по спе-  
циальностям 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы», 11.05.02 «При-  
менение и эксплуатация средств и систем специального мониторинга». Может быть  
полезен преподавателям, а также студентам других радиотехнических специаль-  
ностей.

**Электронный вариант издания см.:**  
<http://catalog.sfu-kras.ru>

**УДК 621.396.969(07)**  
**ББК 68.520.1я73**

ISBN 978-5-7638-4449-8

© Сибирский федеральный  
университет, 2021

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение.....</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы.....</b>	<b>7</b>
1.1. Роль и место радиоэлектронного подавления в системе радиоэлектронной борьбы.....	7
1.1.1. Общие сведения .....	7
1.1.2. Основные термины и определения.....	10
1.2. Радиоэлектронные помехи .....	15
1.2.1. Классификация радиоэлектронных помех. Общие сведения о заградительных помехах .....	15
1.2.2. Активные и пассивные помехи.....	22
1.2.3. Упрощенная структурная схема станции активных радиоэлектронных помех.....	31
1.3. Характеристика процесса радиоподавления радиополос.....	33
1.3.1. Каналы воздействия преднамеренных помех.....	33
1.3.2. Условия радиоподавления .....	42
1.4. Общие сведения о радиополосах и системах радиосвязи .....	48
1.4.1. Принцип воздействия преднамеренных помех на аналоговые и дискретные каналы связи .....	48
1.4.2. Многоканальные системы связи .....	62
1.5. Системы радиосвязи с повышенной помехозащищенностью .....	65
1.5.1. Применение сложных сигналов в системах радиосвязи ..	65
1.5.2. Частотное и временное разделение каналов .....	71
1.5.3. Особенности дискретных (цифровых) систем связи.....	75
1.6. Способы радиоподавления линий радиосвязи с повышенной помехозащищенностью .....	81
1.6.1. Способы радиоподавления линий радиосвязи со скачкообразным изменением рабочей частоты .....	81
1.6.2. Способы радиоподавления линий радиосвязи с широкополосными фазоманипулированными сигналами, помехоустойчивым кодированием, логической обратной связью .....	83
1.7. Основные положения теории эффективности средств радиоэлектронного подавления радиосвязи .....	91
1.7.1. Общие понятия и определения теории эффективности средств радиоэлектронного подавления радиосвязи.....	91

1.7.2. Характеристика показателей эффективности средств радиоподавления .....	93
1.8. Общая характеристика мер помехозащиты .....	104
1.8.1. Постановка задачи. Основные определения. Когерентное и некогерентное обнаружение сигналов .....	104
1.8.2. Оценка помехозащищенности .....	108
1.9. Применение теории массового обслуживания к решению задач радиотехнической разведки .....	111
1.9.1. Назначение и задачи радиотехнической разведки .....	111
1.9.2. Принципы создания одноканальных и многоканальных систем радиотехнической разведки с позиций теории массового обслуживания .....	115
1.10. Способы определения частоты .....	125
1.10.1. Общие сведения о способах определения частоты .....	125
1.10.2. Поисковые способы определения частоты .....	126
1.10.3. Беспойсковые способы определения частоты .....	134
1.10.4. Запоминание и измерение частоты .....	140
1.11. Пеленгация радиоэлектронных средств в интересах разведки .....	143
1.11.1. Способы пеленгации .....	143
1.11.2. Методы пеленгации .....	144
1.11.2. Беспойсковые и поисковые способы пеленгации .....	148
1.11.3. Определение местоположения .....	154
<b>Глава 2. Элементная база аппаратуры радиоэлектронного подавления .....</b>	<b>157</b>
2.1. Усилители сверхвысокой частоты .....	157
2.1.1. Основные параметры усилителей .....	157
2.1.2. Классификация усилителей сверхвысокой частоты .....	164
2.1.3. Однокаскадный транзисторный усилитель .....	168
2.1.4. Балансный усилитель сверхвысокой частоты .....	173
2.2. Твердотельные широкополосные сверхвысокочастотные усилители мощности на основе использования GaN-технологии ...	175
2.2.1. Преимущества использования GaN-технологии изготовления транзисторов .....	175
2.2.2. Суммирование выходной мощности транзисторных СВЧ-усилителей на основе многоканальных сумматоров мощности .....	185
2.3. Электронно-вакуумные приборы с динамическим управлением .....	202

2.3.1. Лампы бегущей волны.....	202
2.3.2. Пролетные клистроны.....	210
2.4. Цифровая и аналоговая схемотехника на интегральных микросхемах.....	217
2.4.1. Общие сведения об интегральных микросхемах.....	217
2.4.2. Аналоговые интегральные схемы.....	221
2.4.3. Цифровые интегральные схемы.....	234
<b>Глава 3. Основы построения средств и комплексов радиоэлектронного подавления.....</b>	<b>243</b>
3.1. Радиопередающие устройства КВ- и УКВ-диапазонов.....	243
3.1.1. Назначение, классификация и основные параметры радиопередающих устройств.....	243
3.1.2. Принципы построения радиопередающих устройств КВ- и УКВ-диапазонов.....	245
3.1.2.1. Схемы генераторов с самовозбуждением. Классификация схем.....	245
3.1.2.2. Диапазонные возбудители с кварцевой стабилизацией.....	251
3.1.2.3. Основные методы синтеза частот.....	261
3.2. Высокочастотный тракт.....	269
3.2.1. Назначение, типы и параметры длинных линий.....	269
3.2.1.1. Типы линий.....	270
3.2.1.2. Напряжения и токи в линии передачи.....	273
3.2.2. Элементы ВЧ-тракта.....	276
3.3. Радиоприемные устройства КВ- и УКВ-диапазонов.....	285
3.3.1. Назначение, классификация и основные характеристики радиоприемных устройств.....	285
3.3.2. Типовые схемы приемников станций помех КВ- и УКВ-диапазонов.....	290
3.3.2.1. Приемники прямого усиления.....	290
3.3.2.2. Супергетеродинные приемники.....	293
3.3.2.3. Входные цепи.....	297
3.3.2.4. Усилители радиочастоты.....	304
3.3.2.5. Усилители промежуточной частоты.....	310
3.3.2.6. Преобразователи частоты.....	315
3.3.2.7. Детекторы.....	320
3.4. Антенно-фидерные системы средств радиоэлектронного подавления.....	327

3.4.1. Назначение, классификация и основные параметры антенн.....	327
3.4.1.1. Назначение передающей и приемной антенн.....	327
3.4.1.2. Классификация антенн по диапазонам волн.....	329
3.4.1.3. Основные параметры антенн.....	336
3.4.2. Типы антенн, применяемых в автоматизированных станциях помех КВ- и УКВ-диапазонов.....	346
3.5. Принципы построения и функционирования станций помех радиосвязи.....	365
3.5.1. Структурная схема станции помех. Состав и назначение ее элементов.....	365
3.5.2. Принципы построения и функционирования станции помех.....	371
3.6. Общая структура и основные функции комплексов радиоэлектронного подавления.....	375
3.6.1. Назначение и общие принципы функционирования комплексов радиоэлектронного подавления.....	375
3.6.2. Особенности построения подсистем разведки, подавления и управления средств радиоэлектронного подавления.....	378
3.6.3. Автоматизированные комплексы частей радиоэлектронной борьбы.....	379
<b>Заключение.....</b>	<b>388</b>
<b>Библиографический список.....</b>	<b>390</b>
<b>Список сокращений.....</b>	<b>393</b>
<b>Приложение А.....</b>	<b>396</b>
<b>Приложение Б.....</b>	<b>470</b>

## Глава 1

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ

## 1.1. РОЛЬ И МЕСТО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПОДАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ

### 1.1.1. Общие сведения

Изобретение радио способствовало в начале XX в. внедрению в вооруженные силы радиоэлектронных средств. Применение радиоэлектроники в войсках и на флотах стимулировало разработку и внедрение способов их радиоразведки и подавления радиопомехами.

В связи с этим в армиях промышленно развитых государств интенсивно разрабатываются, совершенствуются, применяются способы и техника разведки и подавления в боевых действиях РЭС противника, а также обеспечения устойчивости действия аналогичных средств и систем своих войск (сил) и оружия, составляющие основу РЭБ. Как показывает анализ зарубежной печати, под РЭБ понимается комплекс мероприятий и действий по РЭП противника и защите своих войск (сил) и систем оружия от РЭП. Составными частями РЭБ являются радиоэлектронное поражение (РЭПр), радиоэлектронная защита (РЭЗ) и радиоэлектронно-информационное обеспечение РЭБ.

Структура проблемы РЭБ и взаимодействие ее составляющих приведены на рис. 1.1.1.

*Радиоэлектронное подавление представляет собой мероприятия и действия, проводимые войсками (силами) по подавляющему и дезинформирующему воздействию на РЭС и системы противника энергией электромагнитного (акустического) излучения.*

В современных боевых действиях для воздействия на РЭС противоборствующие стороны совместно со средствами РЭП используют

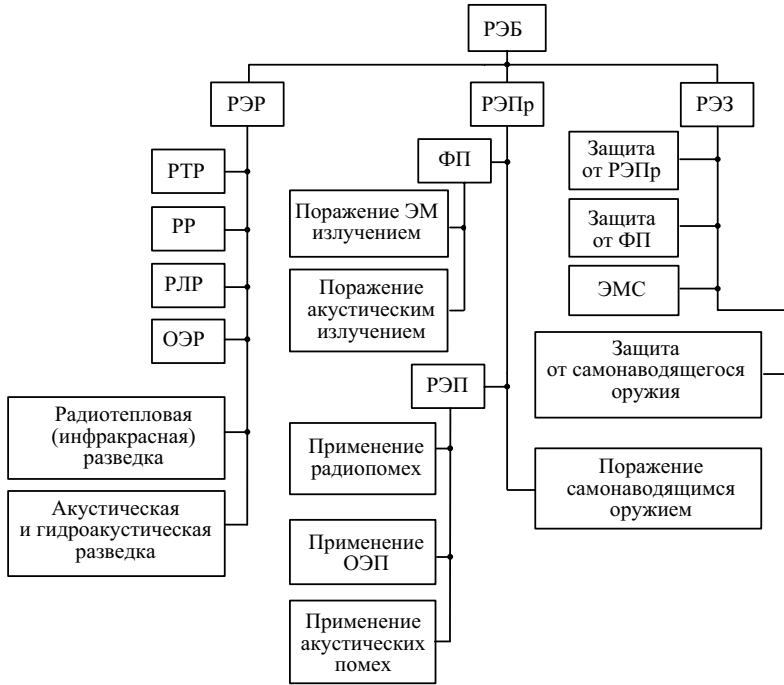


Рис. 1.1.1. Структура проблемы РЭБ

и различные средства поражения, прежде всего самонаводящиеся на источники электромагнитного (акустического) излучения снаряды.

Радиодезинформация в системе РЭП проводится для введения противника в заблуждение путем ложной работы РЭС своих войск (сил), изменения режимов их работы и имитации работы РЭС противоположной стороны. Основными способами радиодезинформации считаются: показ ложных демаскирующих признаков РЭС, объектов и обстановки; преднамеренное вхождение в радиосети и радионаправления противника, передача в них ложных информации и команд, искажение сведений, сигналов и позывных; повышение интенсивности работы РЭС на второстепенных направлениях при сохранении режима работы на главном.

Перечисленные мероприятия в совокупности с другими мерами по дезинформации могут вызвать у противника впечатление о сосредото-



точении войск и подготовке операций там, где в действительности этого нет. Из истории минувших войн известно, что радиодезинформация может иметь успех только при одновременном и комплексном подавлении дезинформируемых средств помехами, имитирующими наличие и движение целей, а также маскирующими передаваемые сигналы для введения в заблуждение операторов РЭС.

По мнению иностранных военных специалистов, радиодезинформация может быть успешной только в том случае, если она проводится в сочетании с такими мероприятиями по введению противника в заблуждение, как ложные агентурные данные, распространение необоснованных слухов, подвоз или вывоз грузов, сооружение ложных складов, демонстрация занятия войсками исходного положения, соответствующая активность авиации и т. п.

Способы, методы и приемы радиодезинформации в открытой отечественной и зарубежной печати широко не публикуются.

*Радиоэлектронная защита – это комплекс мероприятий по обеспечению эффективного и устойчивого функционирования РЭС в условиях воздействия на них РЭП противника.* Она достигается скрытием РЭС от радиоэлектронной разведки (РЭР) и защитой их от РЭП, а также контролем за излучениями РЭС своих войск (сил) и систем оружия.

Мероприятия по обеспечению РЭБ (радиоэлектронно-информационное обеспечение) предусматривают различные виды радиоэлектронной разведки: радиотехнической, радио- (РР), радиолокационной (РЛР), оптико-электронной (ОЭР) и других видов разведок (рис. 1.1.1), – а также поиск, перехват и анализ излучений, опознавание, определение местоположения РЭС противника, оценку создаваемой ими угрозы для последующего РЭП и выдачи целеуказания средствам поражения, а также управление своими силами и средствами РЭП.

Мероприятия РЭБ, проводимые в сочетании с огнем и маневром, считаются существенным фактором повышения боевой мощи войск (сил) и оружия. Их разделяют на наступательные (активные) и оборонительные (защитные, пассивные). К наступательным мероприятиям, являющимся главной составной частью РЭБ, относят РЭП противника, к защитным – радиоэлектронную защиту, направленную на обеспечение устойчивой работы РЭС своих войск (сил) и оружия. Все мероприятия и действия РЭБ взаимно увязываются и согласуются с боевыми действиями войск, авиации и флота.

В связи с возрастанием масштабов применения в армиях капиталистических государств РЭС, а также автоматизированных систем разведки, управления и высокоточного оружия возможности и роль РЭП и РЭЗ значительно возрастают. Империалистические государства организовали непрерывный перехват, анализ электромагнитных и акустических излучений и радиопеленгование их источников с помощью наземных, самолетных, корабельных и космических разведывательных систем. С учетом полученной информации разрабатываются (совершенствуются) средства и способы РЭБ. Это оказывает существенное влияние на ход и исход операции (боя), что подтверждается опытом локальных войн, развязанных империалистическими государствами в различных регионах мира.

Радиоэлектронное поражение, как следует из рис. 1.1.1, включает в себя функциональное поражение (ФП) и РЭП.

В зависимости от видов излучений, воздействующих на РЭС, РЭП подразделяют на электромагнитное подавление, использующее энергию электромагнитных волн (ЭМВ), и акустическое, использующее энергию акустических волн. Акустическое подавление РЭС, применяемых в водной среде, называют гидроакустическим подавлением (ГАП). Электромагнитное подавление можно условно разделить на радиоподавление (РП), осуществляемое в диапазонах радиоволн, в которых работают РЭС (радиосвязи, радиолокации, радионавигации, радиоуправления и др.), и световое (оптико-электронное) подавление (ОЭП) – в оптическом (световом) участке спектра ЭМВ, где функционируют оптико-электронные средства (инфракрасные, ультрафиолетовые, лазерные).

## 1.1.2. Основные термины и определения

РЭБ является видом оперативного обеспечения действий войск в операциях (боевых действиях).

Мероприятия РЭБ планируются заблаговременно и проводятся как в период подготовки, так и в ходе операций (боевых действий).

*РЭБ – совокупность согласованных мероприятий и действий войск (сил) по радиоэлектронному поражению радиоэлектронных объектов противника, радиоэлектронной защите своих радиоэлектронных объектов, а также по противодействию техническим средствам разведки противника* (радиоэлектронные объекты – радио-

электронные средства, размещенные на одной позиции или на одном носителе и функционально связанные решением единой задачи).

Цели РЭБ:

- ▶ дезорганизация управления войсками (силами) и оружием противника;
- ▶ снижение эффективности ведения разведки и применения оружия;
- ▶ обеспечение устойчивого управления своими войсками (силами) и оружием.

РЭБ осуществляется в тесном сочетании с огневым поражением (захватом, выводом из строя) основных объектов систем и средств управления войсками и оружием, разведки и РЭБ противника, другими видами оперативного обеспечения.

Цели РЭБ достигаются выполнением ряда задач, основными из которых являются:

- ▶ вскрытие (выявление) радиоэлектронной обстановки;
- ▶ РЭП систем и средств управления войсками, оружием, разведки и РЭБ противника;
- ▶ разрушение, уничтожение и (или) искажение программного обеспечения и информации в автоматизированных системах управления противника;
- ▶ снижение эффективности применения противником средств РЭП;
- ▶ комплексный технический контроль состояния защиты ВВТ и военных объектов от технических средств разведки противника и противодействие им;
- ▶ обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) РЭС.

Составными частями радиоэлектронной борьбы являются:

- ▶ радиоэлектронное поражение;
- ▶ радиоэлектронная защита и противодействие техническим средствам противника;
- ▶ радиоэлектронно-информационное обеспечение.

На рис. 1.1.2 показаны составные части радиоэлектронной борьбы в современной интерпретации.

**Радиоэлектронное поражение** осуществляется воздействием на радиоэлектронные объекты систем управления войсками и оружием противника средствами функционального поражения, радиоэлектронного подавления, самонаводящимся на излучение оружием, а также изменением условий распространения (отражения) электромагнитных (акустических) волн.



Рис. 1.1.2. Составные части РЭБ

**Функциональное поражение** заключается в разрушении (повреждении) элементов и узлов радиоэлектронных средств и целостности информации воздействием электромагнитным излучением и специальными программными средствами, включает поражение электромагнитным излучением и средствами программного воздействия.

Поражение электромагнитным излучением заключается в разрушении (повреждении) устройств и функциональных узлов радиоэлектронных объектов противника мощными излучениями специальных средств; поражение средствами программного воздействия – в затруднении функционирования или временном выводе из строя автоматизированных систем управления войсками и оружием противника, нарушении работоспособности программного обеспечения, целостности информации и ее носителей путем применения специальных программных средств.

**Радиоэлектронное подавление** заключается в снижении эффективности (качества) функционирования радиоэлектронных объектов противника путем воздействия на их приемные устройства активными и пассивными радиоэлектронными помехами.

В зависимости от используемого диапазона частот (длин волн) и среды их распространения радиоэлектронное подавление подразделяется на радиоподавление, оптико-электронное подавление и гидроакустическое подавление.

**Радиоподавление** ведется в диапазоне радиоволн и проявляется в нарушении работы радио, радиорелейных, тропосферных, спутниковых средств связи, средств радиолокации и радионавигации, технической разведки, радиовзрывателей авиационных, артиллерийских и инженерных боеприпасов противника путем воздействия на их приемные устройства электромагнитными излучениями.

**Оптико-электронное подавление** ведется в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн и заключается в снижении эффективности функционирования оптико-визуальных, телевизионных, лазерных и тепловизионных систем и средств разведки, наблюдения, связи и управления оружием противника путем воздействия на них активными помехами и применением ложных целей и ловушек.

**Гидроакустическое подавление** ведется в диапазоне акустических волн и заключается в нарушении работы гидроакустических средств обнаружения и связи, гидроакустических систем самонаведения противолодочного оружия противника путем создания гидроакустических помех автономными, самоходными, дрейфующими, буксируемыми или бортовыми средствами гидроакустического подавления подводных лодок и надводных кораблей.

**Поражение самонаводящимся на излучение оружием** заключается в уничтожении (выводе из строя, повреждении) радиоизлучающих устройств радиоэлектронных объектов противника авиационными, ракетно-артиллерийскими системами.

**Изменение условий распространения (отражения) электромагнитных (акустических) волн** заключается в изменении свойств среды их распространения (отражения) путем применения средств постановки пассивных помех, создания в атмосфере искусственных ионизированных образований и изменения свойств контрастности объектов в различных физических полях.

**Радиоэлектронная защита** осуществляется проведением мероприятий по устранению (ослаблению) воздействия на свои радиоэлектронные объекты средств радиоэлектронного поражения противника, электромагнитных и ионизирующих излучений, возникающих при применении ядерного оружия, устранением (ослаблением) непреднамерен-

ных (взаимных) радиопомех (обеспечение электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств своих войск), а также защитой войск и объектов от технических средств разведки противника.

**Защита от средств радиоэлектронного поражения противника** заключается в снижении эффективности воздействия на свои радиоэлектронные объекты средств функционального поражения, радиоэлектронного подавления и самонаводящегося на излучение оружия противника.

Защита от средств функционального поражения заключается в предотвращении (снижении) последствий поражения наших радиоэлектронных объектов мощным электромагнитным излучением и средствами программного воздействия противника.

Защита от радиоэлектронного подавления заключается в предотвращении или снижении последствий воздействий на приемные устройства своих РЭС активных и пассивных радиоэлектронных помех. Защита от поражения самонаводящимся на излучение оружием заключается в предотвращении уничтожения (вывода из строя, повреждения) радиоизлучающих устройств своих радиоэлектронных объектов боеприпасами с пассивными радиотехническими (гидроакустическими) системами наведения.

**Защита от электромагнитных и ионизирующих излучений, возникающих при применении ядерного оружия**, заключается в проведении организационных мероприятий и принятии технических мер, направленных на ослабление влияния электромагнитных импульсов и ионизирующего излучения ядерных взрывов на функционирование радиоэлектронных средств наших войск.

**Защита от непреднамеренных радиопомех (обеспечение ЭМС РЭС своих войск)** заключается в проведении организационных мероприятий и технических мер, направленных на снижение (исключение) взаимного влияния РЭС при их совместном применении в группировках своих войск.

**Защита войск и объектов от технических средств разведки противника** заключается в проведении организационных мероприятий и принятии технических мер, направленных на исключение или существенное затруднение добывания противником с помощью технических средств разведки охраняемых сведений о войсках, вооружении, военной технике и военных объектах.

**Радиоэлектронно-информационное обеспечение** осуществляется проведением мероприятий по выявлению и контролю функционирования радиоэлектронных объектов противника и наших войск, сбору,

анализу и обобщению данных радиоэлектронной обстановки, необходимых для организации и ведения РЭБ.

Радиоэлектронно-информационное обеспечение включает:

- ▶ техническую разведку радиоэлектронных объектов противника;
- ▶ комплексный технический контроль состояния функционирования своих радиоэлектронных объектов и состояния защиты от технических средств разведки противника;
- ▶ сбор, анализ и обобщение данных радиоэлектронной обстановки.

**Техническая разведка радиоэлектронных объектов** заключается в проведении радиотехнической, радиолокационной, оптико-электронной, гидроакустической разведки и подразделяется на общую и непосредственную (исполнительную).

**Объектами радиоэлектронной борьбы** являются объекты радиоэлектронного поражения – радиоэлектронные (автоматизированные) системы, комплексы и средства противника различного функционального назначения с их информационными и программными ресурсами; **объектами радиоэлектронной защиты** – аналогичные системы и комплексы своих войск.

## Контрольные вопросы и задания

1. Какова роль и значение РЭБ?
2. В чем заключается суть РЭП?
3. Что понимается под РЭП?
4. Что является объектами РЭП?
5. Перечислите составные части радиоэлектронной борьбы в современной интерпретации.

## 1.2. РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ ПОМЕХИ

### 1.2.1. Классификация радиоэлектронных помех. Общие сведения о заградительных помехах

**Радиоэлектронные помехи** – это непоражающие электромагнитные или акустические излучения, которые ухудшают качество функционирования РЭС, управляемого оружия и военной техники или систем обработки информации. Воздействуя на приемные устройства, помехи

имитируют или искажают наблюдаемые и регистрируемые оконечной аппаратурой сигналы или изображения, затрудняют или исключают выделение полезной информации, ведение радиопереговоров и обнаружение целей с помощью РЭС, снижают их дальность действия и точность работы автоматических систем управления. Под воздействием различных видов помех РЭС и системы могут перестать быть источниками необходимой информации, несмотря на их полную исправность и работоспособность.

Так как подавить разнообразные РЭС помехами одного вида невозможно, то применяют специальные виды помех, предназначенные для подавления радиолокации, радионавигации, радиосвязи, лазерной, инфракрасной техники и т. д.

Более того, для подавления средств одного и того же класса, но использующих различные виды сигналов и способы их обработки, применяются отличающиеся друг от друга виды помех.

### **Классификация радиоэлектронных помех**

Радиоэлектронные помехи классифицируют по различным признакам (рис. 1.2.1). По происхождению различают **естественные** и **искусственные помехи**.

**Естественными** являются помехи природного происхождения:

- ▶ атмосферные, образуемые электрическими процессами в атмосфере, главным образом грозowymi разрядами;
- ▶ космические, вызываемые электромагнитным излучением Солнца, звезд и Галактики;
- ▶ спорадические (нерегулярные) электромагнитные излучения околоземного пространства, вызываемые потоками заряженных частиц в ионосфере и магнитосфере;
- ▶ радиоизлучения полярных сияний и радиационных поясов Земли;
- ▶ отражения от метеорологических образований (дождь, снег, град, облака), земной и водной поверхности;
- ▶ акустические шумы океанов, морей и др.

**Искусственные** помехи создаются устройствами, излучающими энергию электромагнитных (акустических) колебаний, или отражателями, рассеивающими энергию падающих на них волн. В зависимости от источника образования эти помехи бывают непреднамеренными, вызываемыми источниками искусственного происхождения (посторонними передатчиками РЭС, установками электрооборудования и др.), и преднамеренными, создаваемыми специально для подавления РЭС.





Рис. 1.2.1. Классификация радиоэлектронных помех

Рассмотрим только преднамеренные искусственные помехи, создаваемые при ведении РЭБ.

По виду используемых излучений, энергия которых воздействует на РЭС, радиоэлектронные помехи подразделяют на **электромагнитные** и **акустические**. **Электромагнитные** и **акустические** помехи – это непоражающие электромагнитные и акустические излучения, которые ухудшают качество функционирования РЭС, работающих на принципе приема, усиления и преобразования энергии электромагнитных (акустических) волн. Электромагнитные помехи, создаваемые в диапазоне радиоволн, называют радиопомехами, в диапазоне световых (оптических) волн – световыми (оптико-электронными) помехами. Акустические помехи, создаваемые в водной среде, называют гидроакустическими.

По способу формирования (реализации) искусственные помехи подразделяют на **активные**, генерируемые специальными передатчиками помех, и **пассивные**, образуемые в результате рассеяния (отражения) различными объектами электромагнитных (акустических) волн, излучаемых РЭС.

По эффекту (характеру) воздействия на РЭС различают **маскирующие** и **имитирующие** помехи.

**Маскирующие** помехи ухудшают характеристики приемного устройства РЭС, что увеличивает количество принятых символов, сни-

жающих информативность сообщения, создают фон, на котором затрудняется или полностью исключается обнаружение, распознавание, выделение полезных сигналов или отметок целей. При увеличении мощности помех их маскирующее действие возрастает.

**Имитирующие** (дезинформирующие) помехи – это сигналы, излучаемые станцией помех для внесения ложной информации в подавляемые средства. По структуре они близки к полезным сигналам и поэтому создают в оконечном устройстве РЭС сигналы или отметки ложных целей, подобные реальным, снижают пропускную способность системы, вводят в заблуждение операторов, приводят к потере части полезной информации, увеличивают вероятность ложной тревоги.

Воздействуя на средства управления оружием, они срывают автоматическое сопровождение целей по направлению, дальности, скорости и перенацеливают их на цели, имитируемые помехой, а также вызывают ошибки сопровождения цели.

При воздействии имитирующих помех характеристики приемного устройства не ухудшаются. Эффект воздействия помех ухудшает качество обрабатываемой информации в результате ее разрушения либо старения, что увеличивает степень неопределенности при принятии решений.

В зависимости от способа наведения помех, соотношения ширины спектров помех  $\Delta f_n$  и полезных сигналов  $\Delta f_c$  (рис. 1.2.2, а) маскирующие помехи подразделяют на **заградительные** (рис. 1.2.2, в) и **прицельные** (рис. 1.2.2, б; 1 – помеха совпадает по частоте с сигналом; 2 – помеха не совпадает по частоте с сигналом РЭС).

Кроме указанных классификационных признаков, часто используется и такой, как интенсивность воздействия помехи на РЭС. Согласно этому признаку все помехи подразделяются на **слабые, средние, сильные и подавляющие**.

**Слабой** считается такая радиопомеха, энергетический уровень помехового сигнала которой в точке приема существенно меньше полезного сигнала. При воздействии данной радиопомехой имеют место кратковременные перебои в использовании РЭС как источника информации, а на экранах РЛС затрудняется выделение отметок от реальных целей. При этом снижение достоверности принимаемой противником информации составляет не более 10–15 %.

**Средней** считается радиопомеха, уровень помехового сигнала которой меньше полезного сигнала. При воздействии такой радиопомехой

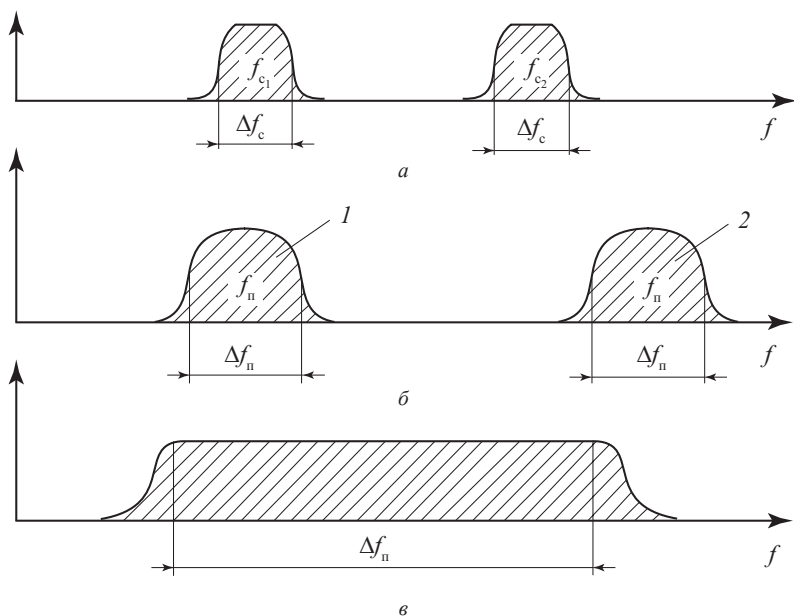


Рис. 1.2.2. Прицельные и заградительные помехи

имеют место перебои в использовании средств связи и радиолокации противника. При этом достоверность принимаемой противником информации снижается в пределах от 15 до 50 %.

**Сильная** радиопомеха создает на входе подавляемого приемного устройства помеховый сигнал, по амплитуде соизмеримый с полезным сигналом. При воздействии такой радиопомехой периодически теряется управление войсками (силами) и оружием противника в отдельных звеньях и на отдельных направлениях, а на экранах РЛС наблюдаются не все цели. При воздействии сильной радиопомехи достоверность принимаемой противником информации уменьшается с 50 до 80 %.

**Подавляющая** радиопомеха создает в точке приема такой уровень помехового сигнала, при котором противник полностью теряет управление войсками (силами) и не может эффективно применять управляемое оружие.

Подавляющие радиопомехи приводят к снижению достоверности принимаемой информации не менее чем на 80 %. При воздействии по-

давящих радиопомех прием полезного сигнала (выделение цели на экране индикатора) становится практически невозможным. При этом резко снижаются боевые возможности войск (сил) и боевых средств противника. Таким образом, с технической точки зрения воздействие помех может проявляться в виде следующих явлений:

- ▶ искажение формы полезного сигнала и изменение его основных параметров;
- ▶ подавление полезного сигнала (уменьшение отношения «сигнал – помеха») при прохождении сигналов и помех через нелинейные элементы;
- ▶ перегрузка приемника, его отдельных элементов (усилителей, преобразователей и др.), процессоров обработки сигналов и данных, индикатора.

С тактической точки зрения действие помех на радиолокационные системы может приводить либо к маскировке полезного сигнала (цели) помехами, либо к имитации полезных сигналов за счет формирования ложных сигналов (ложных целей).

С точки зрения теории передачи и преобразования сигналов воздействие помех на РЭС имеет линейные и нелинейные эффекты. Линейные эффекты, как правило, наблюдаются при малом уровне помех и состоят в том, что в приемные каналы добавляются мешающие колебания в виде независимых аддитивных составляющих. В этих случаях выходной эффект действия помех не зависит от действия сигнала и может рассматриваться самостоятельно. Искажение формы полезного сигнала за счет аддитивного сложения с помехой относится к линейным эффектам. Остальные проявления воздействия помех связаны с нелинейными эффектами.

### **Заградительные помехи**

**Заградительные** помехи имеют ширину спектра частот, значительно превышающую полосу, занимаемую полезным сигналом, что позволяет подавлять одновременно несколько РЭС без точного наведения передатчика помех (ПП) по частоте. Их можно создавать, не имея полных данных о параметрах сигналов подавляемых РЭС.

Особенностью заградительных помех является то, что при неизменной мощности ПП их спектральная плотность мощности  $G_n$  (Вт/МГц) уменьшается по мере расширения спектра излучения. При равномерном спектре она представляет собой отношение энергетического потенциа-

ла передатчика помех  $P_{\text{пн}}G_{\text{пн}}$  к ширине спектра частот помехи  $\Delta f_{\text{п}}$ . Для сплошной заградительной помехи

$$G_{\text{п}} = P_{\text{пн}}G_{\text{пн}} / \Delta f_{\text{п}}. \quad (1.2.1)$$

Например, если ПП, имеющий эквивалентную мощность 5 000 Вт, создает заградительные помехи в диапазоне частот от  $f_1 = 9\,500$  МГц до  $f_2 = 10\,000$  МГц ( $\Delta f_{\text{п}} = 500$  МГц), то  $G_{\text{п}} = 5\,000 / 500 = 10$  Вт/МГц.

**Прицельные** помехи имеют ширину спектра, соизмеримую (равную или в 1,5–2 раза превышающую) с шириной спектра сигнала подавляемого РЭС. Например, прицельные помехи радиолокации имеют спектр 5–10 МГц. Эффективность их воздействия зависит от точности совмещения по частоте с сигналом, спектральной плотности мощности и способов обработки сигналов в приемнике РЭС. Допустимая ошибка в настройке ПП при заданном эффекте подавления зависит от ширины спектра помехи и отношения спектральных плотностей мощности помехи к сигналу подавляемого РЭС. Для некоторых видов передач она не должна превышать половины ширины полосы пропускания приемника, а средняя частота спектра помехи должна примерно совпадать с несущей частотой подавляемого устройства. Так как РЭС имеют возможность быстро перестраиваться по частоте, то в составе станции прицельных помех применяется сложная аппаратура обнаружения сигналов, перестройки и наведения по частоте передатчика в широком диапазоне волн.

Прицельные помехи характеризуются высокой спектральной плотностью мощности. Поскольку прицельные помехи излучаются в узкой полосе частот, то могут быть реализованы маломощными ПП. Например, передатчик радиопомех, имеющий мощность излучения всего лишь 150 Вт и коэффициент усиления антенны  $G_{\text{пн}} = 100$ , способен создать в полосе 5 МГц плотность мощности, равную 3 000 Вт/МГц, а в полосе 0,5 МГц – 30 кВт/МГц.

Одним из способов формирования заградительных помех является применение скользящих по частоте помех, образуемых при быстрой перестройке передатчика узкополосных помех в широкой полосе частот. Благодаря этому в полосе частот каждого канала многоканального РЭС или нескольких станций последовательно сосредоточивается достаточно высокая плотность мощности, необходимая для их подавления. Однако при наличии схем защиты эффективность этих помех может оказаться ниже, чем заградительных, создаваемых передатчиком, не имеющим перестройки по частоте.

Недостатком прицельных помех является то, что они одновременно могут подавлять только одно РЭС, работающее в данном диапазоне волн.

По временной структуре излучения радиоэлектронные помехи подразделяют на **непрерывные** и **импульсные**. **Непрерывные** помехи представляют собой непрерывные электромагнитные и акустические излучения, модулированные по амплитуде, частоте или фазе. **Импульсные** помехи имеют вид немодулированных или модулированных радиоимпульсов.

В зависимости от интенсивности воздействия на РЭС маскирующие помехи подразделяют на слабые, средние и сильные (см. рис. 1.2.1).

## 1.2.2. Активные и пассивные помехи

### **Активные помехи. Способы формирования**

**Активные** помехи бывают немодулированными и модулированными. Первые характеризуются неизменными амплитудой, частотой и фазой излучаемых колебаний, а вторые – изменяемыми параметрами излучения.

**Немодулированные помехи** создаются непрерывными гармоническими колебаниями, излучаемыми на рабочей частоте подавляемого РЭС или в требуемом диапазоне частот. Такие помехи могут иногда применяться для подавления некоторых систем радиотелеграфирования и прослушиваются в виде тона разностной частоты, затрудняющего прием передаваемых сообщений.

**Модулированные помехи** создаются изменением одного или нескольких параметров несущего колебания ПП. Они могут иметь вид непрерывных или импульсных электромагнитных колебаний.

**Непрерывные помехи** представляют собой колебания, модулированные по амплитуде, частоте (фазе) или одновременно по амплитуде и частоте (фазе). В соответствии с видом модуляции различают амплитудно-модулированные (АМ), частотно-модулированные (ЧМ), амплитудно-частотно-модулированные помехи и т. д. В качестве модулирующего напряжения может использоваться и напряжение шума – шумовые помехи.

*Амплитудно-модулированные помехи* формируются в простейшем случае модуляцией амплитуды несущего колебания ПП гармоническими колебаниями или полосовым шумом. В результате модуляции оги-

бающая высокочастотных (ВЧ) колебаний изменяется в соответствии с видом модулирующего напряжения и в канале происходит маскировка сигнала помехой.

В результате воздействия АМ-помех сигнал маскируется или искажается. Кроме того, вследствие разности частот сигнала и помехи они вызывают в приемном устройстве (так же, как и немодулированные помехи) перегрузку усилителя промежуточной частоты (УПЧ), сопровождаемую подавлением сигналов и искажением их формы. Такие помехи могут быть использованы, в частности, для подавления радиосвязи. При воздействии на средства радиосвязи они вызывают маскирующий эффект.

*Частотно-модулированные помехи* формируются изменением во времени несущей частоты ПП в соответствии с законом изменения частоты модулирующего колебания. Основная ее энергия сосредоточивается в полосе частот, примерно равной удвоенному значению девиации несущей частоты. При модуляции несколькими низкочастотными колебаниями ЧМ-помехи на выходе приемника прослушиваются как звуковые сигналы различных тонов.

*Шумовые помехи* представляют собой непрерывные электромагнитные (акустические) колебания с хаотическим изменением по случайному закону амплитуды, частоты, фазы, поэтому их часто называют флюктуационными.

Напряжение шумовой помехи  $u_n(t)$  на входе приемника представляет собой случайный процесс, имеющий нормальный закон распределения мгновенных значений и равномерный частотный спектр в пределах полосы пропускания приемного устройства подавляемого РЭС.

Шум, параметры которого сохраняются примерно постоянными в широком диапазоне частот (гладкий шум), называют *белым* из-за сходства его частотного спектра со спектром белого света, который в видимой части является сплошным и равномерным. Этот шум обладает наибольшими маскирующими свойствами среди других видов помех.

Поскольку по своей структуре шумовые помехи близки к внутренним флюктуационным шумам приемных устройств, их часто трудно обнаружить и принять меры к ослаблению влияния на работу РЭС.

Влияние шумовых помех на РЭС сказывается в маскировке или подавлении полезных сигналов. Маскировка достигается наложением случайного процесса (шума) на сигнал, который смешивается с помехой, и поэтому его сложно выделить. При этом полезный сигнал частично изменяет или теряет характерные для него признаки либо наблюдает-

ся полное пропадание внутренних шумов радиоприемного устройства, что характерно для УКВ-диапазона.

В зависимости от принципа генерирования различают прямошумовые помехи и модулированные помехи в виде несущей, модулированной шумовым напряжением (модулированная шумовая помеха).

Прямошумовые помехи, как правило, образуются в результате усиления собственных шумов, возникающих в электронных приборах (электровакуумных лампах, полупроводниковых диодах и транзисторах). Такие помехи позволяют при сравнительно высокой спектральной плотности мощности перекрыть достаточно широкую полосу частот. Характер изменения их амплитуды во времени  $u_n(t)$  зависит от значений средней частоты спектра  $\omega_n$  и фазы  $\psi_n$  помех:

$$u_n(t) = U_n \cos(\omega_n t + \psi_n(t)). \quad (1.2.2)$$

*Прямошумовые помехи* не получили широкого применения из-за сравнительно низкой мощности источников первичного шума, необходимости его последующего многоступенчатого усиления и трудности сохранения высоких энтропийных свойств.

Шумовые модулированные помехи создаются модуляцией ВЧ-колебаний ПП по амплитуде, фазе или частоте флюктуационным шумовым напряжением. На практике часто используют комбинированную амплитудно-частотную или амплитудно-фазовую модуляцию.

*Амплитудно-модулированные шумовые помехи* представляют собой незатухающие гармонические колебания, модулированные по амплитуде шумом. На входе приемника

$$u_n(t) = U_n (1 + K_a \Delta U_{\text{мод}}(t)) \cos(\omega_n t), \quad (1.2.3)$$

где  $K_a$  – крутизна модуляционной характеристики передатчика помех;  $\Delta U_{\text{мод}}(t)$  – модулирующее напряжение, поступающее от генератора шума.

*Частотно-модулированные шумовые помехи* создаются при модуляции несущих гармонических колебаний шумовым напряжением с переменной частотой. Фазомодулированные шумовые помехи представляют собой ВЧ-колебания, модулированные по фазе шумом.

Эффективность шумовых помех зависит от отношения мощностей помехи к полезному сигналу. Воспринимаются они как по главному, так и по боковым лепесткам диаграммы направленности антенны (ДНА) подавляемых средств, маскируя полезные сигналы в системах радиосвязи.



*Импульсные помехи* (ИП) представляют собой серию немодулированных или модулированных высокочастотных импульсов. Модуляцией по амплитуде, частоте следования, длительности высокочастотных импульсов помех или по нескольким из этих параметров повышается эффективность их воздействия на РЭС. Можно так подобрать амплитуду и длительность излучаемых импульсов помех, что отличить их от истинных сигналов практически невозможно. Поскольку при создании ИП передатчик излучает электромагнитную энергию кратковременно, при незначительной его средней мощности можно получить высокую импульсную мощность. Применяются такие помехи для подавления работы радиолокационных, радионавигационных, радиорелейных и других РЭС, работающих как в непрерывном, так и в импульсном режимах.

Различают **синхронные** ИП, у которых частота следования импульсов равна или кратна частоте следования сигналов подавляемого средства, и **несинхронные**, когда частоты следования помех и сигналов не совпадают.

Синхронные ИП на экране индикатора наблюдаются в виде неподвижных или движущихся ложных отметок, аналогичных отметкам реальных целей. **Несинхронные хаотические** импульсные помехи (ХИП) представляют собой последовательности радиоимпульсов, параметры которых (длительность, амплитуда, временные интервалы между импульсами) изменяются случайным образом. ХИП могут эффективно воздействовать на командные системы радиотелеуправления, средства радиосвязи и некоторые типы РЛС. При воздействии на системы радиотелеуправления они подавляют передаваемые команды, образуют ложные команды, изменяют параметры модуляции поднесущих колебаний. В системах радиосвязи эти помехи маскируют передаваемые сообщения. В РЛС они образуют хаотически разбросанные по экрану отметки ложных целей. Чтобы отметки помех и целей меньше отличались друг от друга, помеховые импульсы модулируются по амплитуде. В результате отметки помех флюктуируют так же, как отметки целей.

Импульсные помехи могут генерироваться ИП или ретрансляторами сигналов, принятых от подавляемой станции (ответные помехи). Применяют однократные ответные помехи, когда в ответ на каждый принятый сигнал подавляемого РЭС излучается с некоторой задержкой один помеховый импульс, и многократные, когда происходит излучение на каждый сигнал серии импульсов помех, идентичных с ним по форме, длительности и мощности. В однократных ответных помехах время