

## **Лекция 1.**

*Основные понятия и определения радиоэлектронной борьбы: радиоэлектронная разведка, радиоэлектронное противодействие, радиоэлектронная маскировка и радиоэлектронная защита.*

### **Основная литература**

1. Вакин С. А., Шустов Л. Н. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки. – М.: Советское радио, 1968 – 448 с.
2. Радзиевский В. Г., Сирота А. А. Теоретические основы радиоэлектронной разведки. – М.: Радиотехника, 2004 – 432 с. (2 экз. в библиотеке ОмГУ)
2. Цветнов В.В., Демин В.П., Куприянов А.И. Радиоэлектронная борьба: радиомаскировка и помехозащита. – М.: Из-во МАИ, 1999. – 240 с.
3. Цветнов В.В., Демин В.П., Куприянов А.И. Радиоэлектронная борьба: радиоразведка и радиопротиводействие. – М.: Изд-во МАИ, 1999. – 248 с.
4. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1986. – 448 с.
5. Денисов В.П., Дубинин Д.В. Фазовые радиопеленгаторы. – Томск: Изд-во ТУСУР, 2002. – 251 с.
6. Ратынский М. В. Адаптация и сверхразрешение в антенных решетках – М.: Радио и связь, 2003. – 200 с.

**Радиоэлектронная борьба** – это совокупность взаимосвязанных по цели, задачам, месту и времени мероприятий, действий, направленных на выявление радиоэлектронных средств и систем противника, их подавлению, а также по радиоэлектронной защите своих радиоэлектронных систем и средств от средств радиоэлектронного противодействия (РЭП).

Понятие РЭБ включает радиоэлектронную разведку (РЭР), которая выявляет радиоэлектронные средства (РЭС) противника и добывает о нем сведения, нужные для РЭП, а также радиоэлектронную защиту и радиоэлектронную маскировку (РЭМ), противостоящую радиоэлектронной разведке противника.

В ограниченных таким образом рамках организованную проблему РЭБ можно представить схемой как на рис. 1.

Системы РЭБ работают во всех освоенных к настоящему времени диапазонах волн – от сверхдлинных радиоволн и инфранизкочастотных колебаний земной коры до волн ультрафиолетового излучения и используют все известные в технических приложениях физические поля (электромагнитные, акустические, сейсмические и др.).

Сосредоточим внимание только на задачах РЭБ в радиодиапазоне электромагнитных волн поскольку изложение всех аспектов проблемы РЭБ во всей их широте, глубине и многообразии – это попытка объять необъятное.

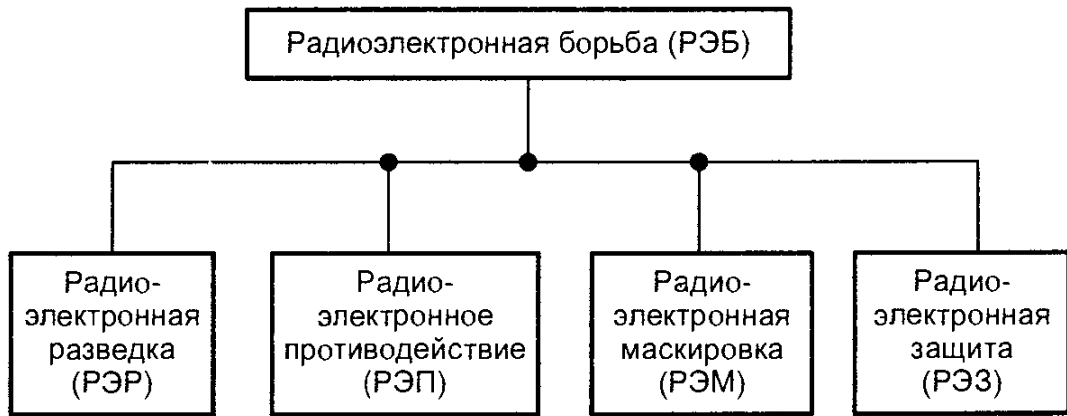


Рис. 1.

*Радиоэлектронная разведка – сбор разведывательной информации на основе приема и анализа электромагнитного излучения. Радиоэлектронная разведка использует как перехваченные сигналы из каналов связи между людьми и техническими средствами, так и сигналы работающих РЛС, станций связи, станций радиопомех и иных радиоэлектронных средств.*

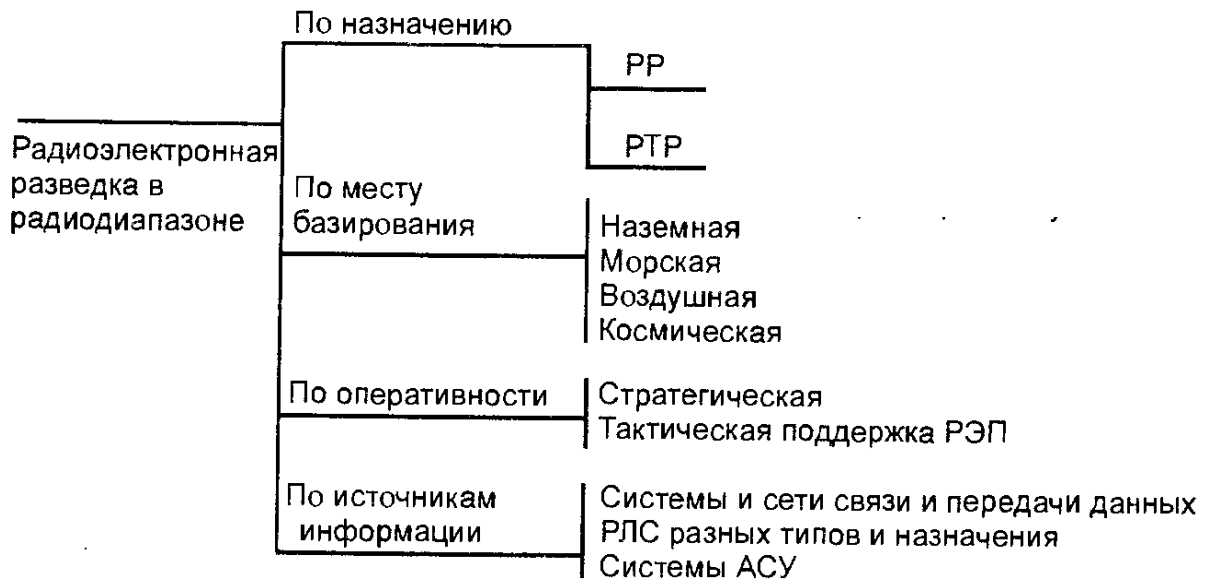


Рис. 2.

*Радиоэлектронная разведка включает следующие виды разведки:*

- *Радиоразведка — перехват каналов связи между людьми;*
- *Радиотехническая разведка — перехват каналов связи между радиоэлектронными средствами, а также сигналов РЛС и других устройств. Радиотехническая разведка (РТР) добывает сведения о параметрах (пространственно-временных) сигналов РЭС противника путем поиска, обнаружения, пеленгования излучений.*

*Назначением радиотехнической разведки является:*

- *выявление системы радиоэлектронного обеспечения противника;*
- *определение параметров РЭС.*

*Кроме радиотехнической разведки, существуют и другие виды разведки с применением радиоэлектронных средств, например:*

*— радиолокационная разведка, осуществляемая с помощью РЛС, с целью выявления объектов противника;*

*— телевизионная разведка, осуществляемая с помощью самолетных и других телевизионных устройств.*

Телевизионные средства разведки предназначены для передачи на расстояние движущихся или неподвижных изображений по радиоканалу или по проводам электрических сигналов. Они позволяют получать разведывательные данные о войсках противника в наглядной форме и в короткие сроки. Аппаратура телевизионной разведки применяется как авиацией, так и наземными разведгруппами. С ее помощью можно обнаружить войска на марше и в районах расположения, проводить изучение объектов поражения перед нанесением по ним ракетных, ядерных ударов, оценивать результаты огневого воздействия по войскам.

Телевизионная аппаратура является перспективным средством разведки. Ее совершенствование специалисты связывают прежде всего с решением проблемы создания малогабаритной телевизионной аппаратуры, работающей в условиях слабой освещенности.

Передача движущихся изображений в военном телевидении производится с частотой 25-30 кадров в секунду на ультракоротких волнах, которые распространяются практически прямолинейно, и максимальная дальность такой телевизионной передачи определяется высотой расположения передающей антенны: чем выше она, тем дальше от нее возможен прием.

*Радиотехническая разведка является одним из основных способов получения информации о параметрах и дислокации радиоэлектронных средств противника и их координатах.*

*С помощью радиотехнической разведки решаются следующие задачи:*

*— определяется несущая частота;*

*— измеряется направление прихода волны и местоположение радиоэлектронного устройства;*

*— опознается образ разведываемого радиоэлектронного устройства (РЛС обнаружения, радиолиния и т. д.);*

*— производится измерение (оценка) параметров разведываемых радиоэлектронных устройств (частота повторения, длительность импульсов, структура боковых лепестков антенны, поляризация, вид модуляции и т. д.);*

*— производится запись данных разведки в запоминающем устройстве для последующего анализа.*

Результаты радиотехнической разведки используются для принятия решения о выборе способов радиопротиводействия в сложившейся боевой обстановке, а именно:

*— устанавливается необходимость подавления выявленных радиоэлектронных средств;*

*— определяются силы и средства для радиопротиводействия;*

*— выбирается оптимальный режим работы передатчиков помех (вид помех, вид помеховой модуляции, момент включения и выключения передатчиков помех).*

**Радиоэлектронное противодействие (РЭП)** – это комплекс мероприятий и действий по нарушению работы и снижению эффективности РЭС противника в информационном конфликте. Для противодействия ставятся помехи (активные и пассивные помехи) радиоэлектронным системам и средствам противника, применяются ложные радиолокационные цели и ловушки, изменяются условия распространения электромагнитных волн. В случаях, когда применение противодействия приводит к полному нарушению работы радиоэлектронных средств противника, оно именуется подавлением РЭС.

Когда говорят о поражении РЭС, имеют в виду не только огневое поражение в результате применения оружия, но и функциональное поражение мощным электромагнитным полем. Такое воздействие приводит к выходу из строя или как минимум к необратимому изменению характеристик элементов РЭС. Классификация средств и методов радиоэлектронного противодействия представлена на рис. 3.

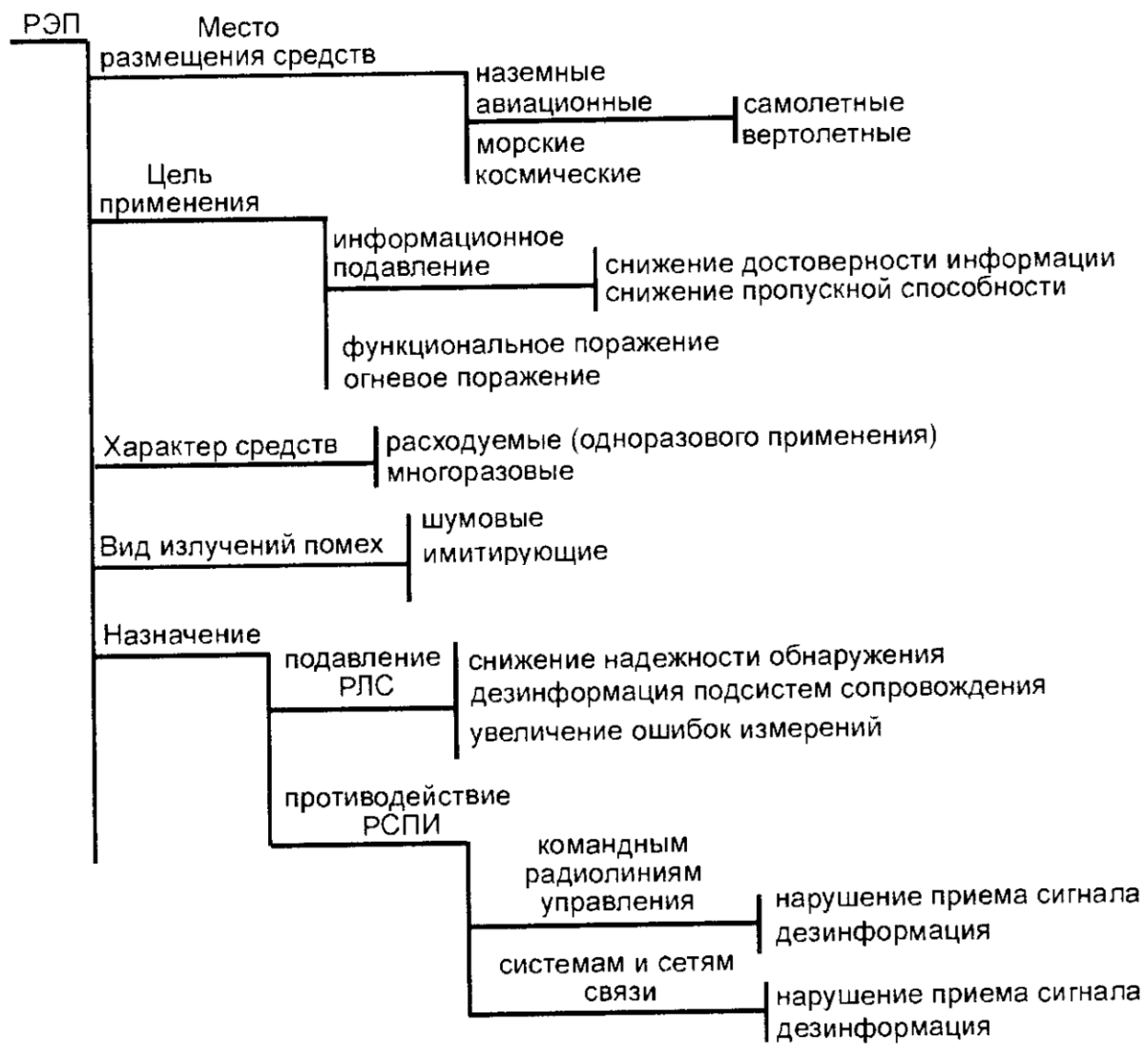


Рис. 3.

*По своей структуре преднамеренные помехи могут быть шумовыми или имитирующими сигнал. Шумовые помехи, подобно шуму естественного происхождения, маскируют сигнал и потому относятся к классу маскирующих.*

*Имитирующие (дезинформирующие) помехи служат для внесения ложной информации. По структуре они подобны полезным сигналам РЭС и поэтому создают ложные сигналы или отметки целей, подобные реальным. Этот эффект снижает пропускную способность РЭС, приводит к потере части полезной информации, увеличивает вероятность ошибки при приеме сообщения и стимулирует принятие ошибочных решений, а при воздействии на средства управления оружием срывает автоматическое сопровождение целей по направлению, дальности, скорости, перенацеливает системы на ложные цели, имитируемые помехами.*

*По соотношению областей значений параметров помех и сигналов активные маскирующие помехи подразделяют на заградительные и прицельные. У заградительных помех области значений параметров значительно превосходят соответствующие области у сигналов. Так, заградительные по частоте помехи по ширине спектра могут значительно превышать полосу частот, занимаемую сигналом объекта противодействия. То же справедливо и для помех, заградительных по углам. Заградительные помехи могут подавлять одновременно несколько РЭС без точного наведения параметров помехи на соответствующий параметр сигнала подавляемого РЭС. Следовательно, применение таких помех не предъявляет серьезных требований к оперативной радиотехнической разведке для поддержки РЭБ.*

*Прицельные помехи имитируют сигнал по некоторому параметру. В частности, прицельные по частоте помехи имеют ширину спектра, соизмеримую (равную или несколько превышающую) с шириной спектра сигнала подавляемого РЭС. Эффективность воздействия имитирующей помехи зависит от точности совмещения по параметру с сигналом и, во всяком случае, выше.*

*Пассивные помехи создаются в настоящее время путем выбрасывания большого количества диполей, эффективно рассеивающих электромагнитные волны. Мощность сигнала, отраженного от облака диполей, может значительно превышать мощность сигнала от самолета.*

*Ложные цели—радиолокационные ловушки — представляют собой летательные аппараты (ракеты), выпускаемые с самолетов или с земли, имеющие достаточно высокие эффективные площади рассеяния. Последнее достигается применением специальных переизлучателей (пассивных или активных).*

*Преднамеренное изменение электрических свойств среды может быть достигнуто как путем создания искусственно ионизированных областей, так и с помощью вносимых в среду различных поглощающих и рассеивающих примесей (например, дымов). Созданные аномалии вызывают в районах их возникновения нарушение обычных условий распространения радиоволн.*

**Радиоэлектронная маскировка (РЭМ)** – это комплекс технических и организационных мероприятий, направленных на снижение эффективности средств радио и радиотехнической разведки противника. Радиоэлектронная маскировка применяется для снижения заметности объектов радиоэлектронных разведок различных классов и разного назначения.

*Объекты разведки заметны постольку, поскольку приемникам средств разведки доступна информация, содержащаяся в их (объектов) электромагнитных излучениях, т.е. приемники средств разведки могут обнаружить и выделить на фоне помех сигналы объектов разведки.*

*Объекты разведки создают электромагнитное излучение несколькими способами. Во-первых, излучают радиоэлектронные системы и средства, расположенные на объекте. Излучение РЭС делится на основное, в полосе спектра сигнала около несущей частоты и в главном лепестке диаграммы направленности передающей антенны (ДНА), и побочное излучение на частотах вне спектра передаваемого сигнала и в боковых лепестках ДНА.*

*Но кроме излучения (основного и побочного) радиопередающих устройств через передающие антенны приходится учитывать и непреднамеренное излучение РЭС. Такое непреднамеренное излучение сопровождает работу радиоприемных устройств (прежде всего это излучение гетеродинов), вычислительных систем, в которых по внутренним магистралям циркулируют весьма широкополосные сигналы; закрытых (не предназначенных для работы с излучением) информационных систем типа кабельных линий связи и передачи данных. Такое излучение информативно для средств радиотехнической разведки.*

***Во-вторых,** электромагнитное излучение объектов разведки может возникать за счет рассеяния энергии падающих радиоволн, создаваемых внешним по отношению к самому объекту излучателем, Такое рассеянное (отраженное) излучение становится доступным средствам радиолокационной разведки.*

***В-третьих,** электромагнитное излучение разных частотных диапазонов может возникать в результате взаимодействия движущегося объекта со средой, в которой происходит движение. Так образуется свечение (излучение в видимой части спектра электромагнитных волн) плазмы в зоне ударной волны уплотнения, которую толкает перед собой летательный аппарат в атмосфере. Нагревание поверхности летательного аппарата из-за трения о воздух сопровождается более низкочастотным излучением ИК- и радиодиапазона, Эти излучения делают объекты заметными для средств инфракрасной и радиотепловой разведки, Трение корпуса о воздух и трение газов, истекающих из реактивных и ракетных двигателей, также может приводить к электризации летательного аппарата. Стеkanie заряда и сопровождающие его искровые разряды вызывают импульсное электромагнитное излучение радиодиапазона.*

*На рис. 4 показаны пути и способы уменьшения заметности, т. е. способы радиомаскировки.*

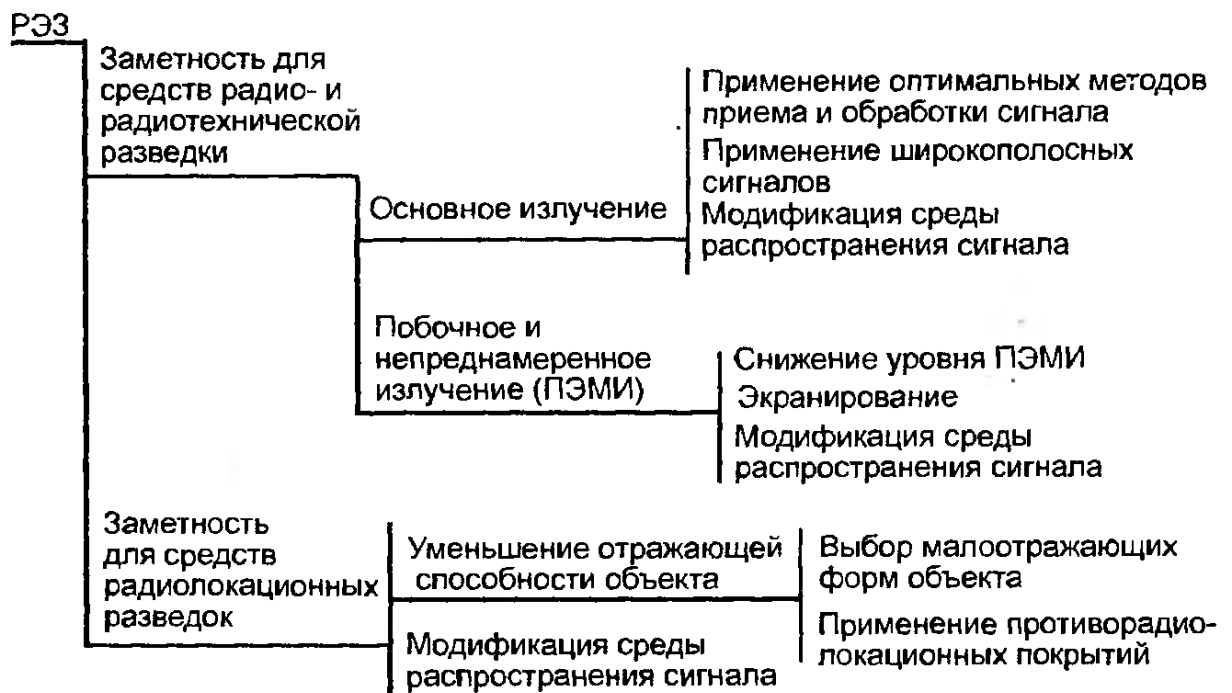


Рис. 4.

Большинство радиоэлектронных систем и средств работают с излучением сигналов, что нарушает их незаметность, демаскирует объект, использующий РЭС. Для повышения скрытности снижают мощность основного излучения. Понижать мощность сигнала можно как за счет рационального выбора структуры основного излучаемого сигнала маскируемых РЭС, так и за счет организации его обработки на приемной стороне. Т.е. необходим поиск и обоснование таких алгоритмов кодирования и декодирования сообщений и таких способов модуляции и демодуляции несущих колебаний, при которых на выходе радио канала обеспечивается наилучшее воспроизведение сообщений при заданной мощности передаваемого сигнала или требуется сигнал минимальной мощности для обеспечения заданного качества передачи или воспроизведения сообщений.

Энергетическая скрытность основного излучения РЭС улучшается при использовании широкополосных сигналов (сигналов с большой базой, обладающих очень большим значением произведения ширины спектра на длительность  $B = \Delta f T \gg 1$ ). За счет увеличения базы можно создавать сигналы с очень малой спектральной плотностью мощности и тем самым затруднять их обнаружение при некогерентной обработке в приемнике средства разведки. Также можно создавать сигналы с большой априорной для разведки неопределенностью параметров,

Но основное излучение маскируемых РЭС отнюдь не всегда доступно для приема средствами радиоэлектронных разведок. Почти все радиолокационные системы и системы радиоуправления, а также многие системы передачи информации концентрируют мощность основного излучения в относительно узкой области пространства, т. е. используют направленное излучение. Если в этой области нет средств РТР противника или, вернее, средства разведки могут присутствовать в этой области лишь с очень малой вероятностью, основное излучение РЭС хорошо скрыто, но и в этом случае РЭС демаскируется своими побочными и непреднамеренными электромагнитными излучениями (ПЭМИ).

Побочные и непреднамеренные излучения распределены по частотам вне основной полосы спектра сигнала и вне сектора пространства, где локализован главный лепесток ДНА. Эти излучения создаются устройствами формирования и преобразования сигналов, боковыми лепестками диаграмм направленности антенн, неоднородностями, нарушающими непрерывность экранов и фидерных трактов. Для снижения уровня побочных и непреднамеренных излучений применяют специальные конструктивные меры и прежде всего экранирование элементов РЭС.

Важное направление в технике снижения заметности РЭС – уменьшение вторичного (отраженного, рассеянного) излучения радиолокационных целей. Это излучение не связано с работой собственных РЭС маскируемых объектов и возникает за счет взаимодействия объектов с радиолокационными полями. Коэффициент пропорциональности между мощностью волны, падающей на поверхность маскируемого объекта, и мощностью сигнала, излучаемого в направлении на антенны приемных устройств средств радиолокационной разведки, имеет размерность площади и называется эффективной поверхностью рассеяния (ЭПР). Для уменьшения ЭПР существуют два основных способа, применяемых как порознь, так и совместно, в комплексе. Первый способ – выбор малоотражающей формы радиолокационной цели. Второй способ применение специальных противорадиолокационных покрытий, уменьшающих энергию отраженного целью радиолокационного сигнала.

Однако уменьшение ЭПР радиолокационных целей очень дорогой и не очень эффективный метод радиолокационной маскировки. В соответствии с основной формулой радиолокации мощность принимаемого от цели сигнала линейно связана с величиной ЭПР и обратно пропорциональна четвертой степени дальности. То есть дальность обнаружения целей средствами радиолокационной разведки пропорциональна  $\sqrt[4]{\sigma}$ , где  $\sigma$  – ЭПР. Поэтому для снижения мощности сигнала и улучшения условий маскировки ЭПР нужно снижать очень значительно не в разы, а на порядки.

Без учета отражений от подстилающей поверхности мощность отраженного сигнала у принимающей антенны задается уравнением:

$$P_r = \frac{P_t G_t A_r \sigma F^4}{(4\pi)^2 R^4}.$$

Обозначения:

$P_r$  — мощность сигнала, принимаемая антенной;

$P_t$  — мощность передатчика;

$G_t$  — усиление передающей антенны (коэффициент направленного действия);

$A_r$  (иногда  $S$ ) — эффективная площадь (апертура) приемной антенны,  $A_r = G \cdot \lambda^2 / 4\pi$ , где  $G$  — усиление антенны,  $\lambda$  — длина волны.

$\sigma$  — эффективная площадь рассеяния цели в данном ракурсе;

$F$  — коэффициент потерь при распространении сигнала;

$R$  — расстояние от РЛС до цели.

Таким образом, принимаемая мощность уменьшается пропорционально 4-й степени расстояния.



Коэффициент  $F$  можно принять равным 1, если считать, что волна распространяется в вакууме без потерь и без интерференции.

Кроме перечисленных способов снижения заметности, для уменьшения мощности сигнала, доступного средствам радиоэлектронных разведок, могут применяться целенаправленные воздействия на среду распространения электромагнитных полей. В результате такого воздействия энергия электромагнитного поля сигнала преобразуется в кинетическую энергию движущихся заряженных частиц или в тепловую энергию, выделяемую токами в рассеянных в пространстве проводниках. Часть энергии электромагнитного поля рассеивается (переизлучается) элементами модифицированной среды распространения сигнала по направлениям, отличным от направлений на приемники средств разведки.

**Радиоэлектронная защита (РЭЗ)** охватывает все методы и средства, которыми располагает радиоэлектроника, включая мероприятия по обеспечению скрытности действия радиосистем и средств, методы комплексирования и дублирования, специальные методы помехоустойчивой обработки сигналов.

Классификация методов помехозащиты показана на рис. 5. Различают три основные группы методов.



Рис. 4.

Так, для защиты от перегрузок, приводящих к нелинейным эффектам и, как следствие, к ухудшению частотной избирательности по побочным каналам приема, применяют линейризацию широкополосного высокочастотного тракта приемника.

Селекция предусматривает отстройку сигнала от помех за счет использования различия в их свойствах и параметрах.

**Пространственную селекцию** осуществляет антенная система, с помощью которой формируют необходимые диаграммы направленности. Такие ДНА обеспечивают максимальный уровень полезного сигнала и возможно более низкий уровень мешающего, когда ДНА ориентируются минимумами на источники помех.

**Временная селекция** осуществляется лишь приемным устройством с использованием всех имеющихся различий сигналов и помех.

**Частотная селекция** использует различие сигналов и помех по их спектральным свойствам. Спектры могут различаться несущими частотами и шириной занимаемой полосы частот. Частотная селекция рассматривается как очень мощное средство помехозащиты от преднамеренных активных и пассивных помех.

Для повышения эффективности частотной селекции применяют управление частотными свойствами зондирующего сигнала. Такое управление затрудняет постановку помех, близких к сигналу по спектральным свойствам. Чаще всего для управления частотными свойствами используют:

- изменения (чаще по случайному закону) несущей частоты, например изменение частоты от импульса к импульсу;
- изменение частоты повторения импульсов (иногда такую частотную модуляцию называют вобуляцией);
- многочастотное излучение.

**Поляризационная селекция**, использует различие в поляризации входящих волн сигналов и помех, осуществляется с помощью специальных поляризационных фильтров, совмещаемых с антенной системой.

**Функциональная селекция** предусматривает выделение сигналов с помощью нескольких независимых каналов приема с последующей совместной обработкой всей их совокупности [5]. Для функциональной селекции используется широкий комплекс мероприятий, требующий специальных методов построения трактов приема и обработки радиосигналов.

**Структурная селекция** позволяет разделять помехи с сигналом, которому при формировании на передающей стороне придана известная приемнику форма (структура). Для осуществления структурной селекции сигналы кодируют, причем используемые для этой цели коды делают сигналы максимально отличающимися от любых возможных помех.

**Адаптация** (приспособление к внешним условиям) предусматривает изменение структуры и параметров защищаемых РЭС при изменении помеховой обстановки. Цель адаптации оптимизировать характеристики помехоустойчивости в заранее неизвестных условиях работы.

**Многоканальный прием** использует пространственную и временную взаимную когерентность сигналов, пришедших к приемнику по разным трассам и потому наблюдаемых на разных временных интервалах. Такой способ селекции позволяет уменьшить влияние помех, действующих на сигналы только на некоторых (возможно, заранее и неизвестных) трассах распространения, и за счет этого существенно повысить помехоустойчивость радиоприемных устройств.

**Компенсация помех** (обычно на выходе УПЧ) применяется как последний резерв помехозащиты. Компенсацию осуществляют специальные схемы подавления сигналов, принятых боковыми лепестками ДНА.