

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет имени  
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»(ВлГУ)**

Институт информационных технологий и радиоэлектроники

Кафедра радиотехники и радиосистем

Полушин Петр Алексеевич

"Помехи и борьба с ними"

Методические указания  
к лабораторным занятиям по дисциплине «Помехи и борьба с ними» для студентов  
ВлГУ, обучающихся по направлению 11.04.01 «Радиотехника»

Владимир, 2018

## **СОДЕРЖАНИЕ**

**Введение**

### **1. Теоретические сведения**

**1.1. Активные маскирующие помехи**

**1.2. Активные имитирующие помехи**

**1.3. Маскирующие пассивные помехи**

**1.4. Пассивные имитирующие помехи**

### **2. Некоторые расчетные формулы**

### **3. Задания на работы**

**Список литературы**

**Заключение**

## **Введение**

Обучение по дисциплине «Помехи и борьба с ними» проводится с целью специализированной подготовки студентов в области радиотехнического противодействия. Современная обстановка требует, чтобы специалисты в этой области были готовы столкнуться не только с помеховой обстановкой, возникающей при функционировании предприятий промышленности, транспорта и связи, но и с воздействием организованных помех, специально предназначенных для ухудшения работы радиотехнических систем радиолокационного и радионавигационного оборудования.

Поскольку функционирование радиоэлектронной продукции ОПК может происходить в конфликтных ситуациях различного плана, то работники должны быть ознакомлены с особенностями преднамеренных помех и путями устранения их негативного влияния. Для этого в практические указания включен определенный набор специализированных теоретических сведений.

Дисциплина "Помехи и борьба с ними" относится к профессиональному циклу дисциплин и основывается на знании предметов бакалаврского образования, таких, как «Математика», «Физика», «Основы теории связи» и предметов магистерского образования, логически и содержательно-методически связана с ними. Полученные знания могут быть использованы при подготовке магистерской диссертации, а также в процессе разработки и проектирования радиоаппаратуры.

В связи с необходимостью актуализации знаний и навыков по изучаемой дисциплине в практические занятия по ней дополнительно включены сведения по видам организованных помех и некоторым современным путям борьбы с ними в радионавигационных и радиолокационных системах.

Лабораторные занятия по дисциплине «Помехи и борьба с ними» должны научить студентов разбираться в особенностях воздействия сложной помеховой обстановки в различных условиях эксплуатации систем передачи информации и мерах по обеспечению электромагнитной совместимости радиосредств. С использованием компьютерных средств студенты выполняют расчеты в соответствии с заданиями и исследуют соответствующие особенности обработки сигналов.

Набор приводимых в методических указаниях заданий по расчету помехоустойчивости и электромагнитной совместимости радиосредств может быть использован студентами самостоятельно при подготовке к занятиям и в СРС.

## **1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

### **Организованные (преднамеренные) помехи.**

Воздействие специально организованных (преднамеренных) помех следует ожидать в конфликтных ситуациях, когда радиоэлектронная война становится одним из видов действий противников. Рассмотрим основные виды организованных помех.

#### **1.1. Активные маскирующие помехи.**

Активными помехами называются радиосигналы, создаваемые специальными радиопередатчиками и предназначенные для ухудшения или исключения нормальной работы радиоэлектронных средств (РЭС) противника. Активные маскирующие помехи создают на входе приемника подавляемого РЭС фон, который затрудняет обнаружение полезных сигналов, их распознавание и определение параметров. Как правило, маскирующие помехи линейно суммируются с сигналом на входе приемника и поэтому называются аддитивными.

Активные маскирующие помехи можно разделить на три группы: непрерывные шумовые помехи, хаотические импульсные помехи и последовательности детерминированных импульсных сигналов. Использование маскирующих помех любого типа приводит к уменьшению вероятности правильного обнаружения полезного сигнала, увеличению вероятности ложной тревоги и снижению точности измерения его характеристик. В панорамной импульсной РЛС с индикатором в качестве выходного устройства при приеме сигналов от одной цели и отсутствии помех на экране электронно-лучевой трубки образуется одна отметка. Помеха вызывает образование вдоль всей развертки дальности мерцающих (флуктуирующих) отметок, которые затрудняют обнаружение сигнала.

При использовании в РЛС системы автоматического слежения за целью по дальности положение следящих импульсов дальномера однозначно определяется местонахождением импульсных сигналов на временной оси. Наличие шумовой помехи нарушает нормальную работу этой системы, так как случайное изменение амплитуды импульсных сигналов по всей шкале дальности делает невозможным устойчивое расположение следящих импульсов дальномера в определенном положении.

Аналогичная картина имеет место при воздействии помехи на канал передачи радиотелеграфных или радиотелефонных сигналов. Помеха, складываясь с полезными

сигналами, искажает последние на выходе приемника, что снижает вероятность правильного распознавания переданных сигналов.

Эффективность маскирующих помех зависит от многих факторов, и, в первую очередь, от временной и частотной структуры как помехи, так и сигнала, а также от энергетического соотношения помехи и сигнала на входе приемника подавляемого РЭС.

#### *Характеристика непрерывных шумовых помех.*

Помехи этого вида являются наиболее универсальными. Они с успехом могут быть использованы для подавления радиоэлектронных средств любого назначения при самых разнообразных режимах их работы. Непрерывные шумовые помехи могут маскировать полезные сигналы на временной и частотной осях, а также по направлению прихода. Шумовые помехи представляют собой непрерывные высокочастотные колебания, один или несколько параметров которых (амплитуда, частота, фаза) изменяются случайным образом. Реализуемые средства создания помех характеризуются следующими особенностями:

- постоянством значений основных параметров при выбранном режиме работы передатчика помех (к таким параметрам относятся, например, мощность излучаемых колебаний, ширина спектра помех;
- относительной узостью спектра излучаемых колебаний;
- сравнительной равномерностью спектральной плотности помехи.

Напряжение шумовой помехи  $u_n(t)$  на входе приемника представляет собой стационарный эргодический узкополосный случайный процесс, имеющий нормальный закон распределения мгновенных значений и равномерный частотный спектр в пределах рабочей полосы. (Нормальный шум с равномерным ограниченным спектром).

Напряжение помехи представляет собой случайный процесс, который зависит только от времени. Случайный процесс является стационарным (в широком смысле), если его математическое ожидание не изменяется во времени, а функция корреляции зависит лишь от временного сдвига между двумя рассматриваемыми моментами времени. Реально создаваемые непрерывные шумовые помехи оказывают худшее маскирующее действие, чем нормальный шум.

Количественно эффективность помехи характеризуется коэффициентом подавления, который определяет минимально необходимое отношение мощности помехи  $P_a$  к мощности сигнала  $P_c$  на входе приемного устройства в пределах полосы пропускания его линейной части приемника для заданной степени подавления. Под заданной степенью подавления для РЭС различного вида могут пониматься разные события.

В системах передачи информации эффект подавления будет состоять в увеличении вероятности общей ошибки распознавания этих. В радиолокации необходимый эффект подавления в обзорных устройствах заключается либо в увеличении вероятности ложной тревоги до уровня, при котором нормальная работа невозможна (вероятность правильного обнаружения остается постоянной), либо в снижении вероятности правильного обнаружения ниже допустимого предела при постоянстве вероятности ложной тревоги. Заданная степень подавления радиолокационных устройств, обеспечивающих автоматическое слежение за целями, может выражаться вероятностью срыва слежения. Чем меньше значение коэффициента подавления (при прочих равных условиях), тем эффективнее помеха.

#### *Виды непрерывных шумовых помех.*

*Прямошумовые помехи.* Прямошумовые помехи в наибольшей степени приближаются к нормальному шуму. Могут применяться два пути создания прямошумовых помех. Первый из них состоит в использовании генератора шума высоких частот. Колебания, образующиеся на выходе такого генератора, усиливаются по мощности и излучаются в пространство. Второй путь заключается в использовании метода гетеродинирования для переноса в область высоких частот шума

низкочастотного генератора. Прямошумовая помеха является одним из достаточно эффективных видов помех.

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

Если модулирующий шум имеет постоянную спектральную плотность в пределах от нулевой частоты до максимальной, то спектральная плотность модулированного колебания так же будет постоянной в пределах рабочей полосы передатчика. Из-за наличия в спектре помехи составляющей на несущей частоте, не создающей маскирующего эффекта, эффективность подобной помехи снижается. Также на качестве помехи сказывается ограничение амплитуды колебаний, имеющее место в любом передатчике.

При возрастании уровня исходного сигнала до ограничителя эффективность помехи сначала возрастает, а затем падает. Это объясняется тем, что в начале увеличивается уровень боковых шумоподобных составляющих относительно уровня несущей. Когда же исходный уровень начинает значительно превышать порог ограничения, то после ограничителя генерируемая помеха превращается в последовательность импульсов одинаковой амплитуды, подавляющая способность которых заметно меньше.

*Частотно-модулированные шумовые помехи.*

Они образуются путем частотной модуляции исходным шумовым сигналом. В зависимости от выбранных параметров частотного модулятора может меняться форма спектра помехи и должна выбираться такой, чтобы обеспечить его максимальную равномерность. При глубоком ограничении она становится близкой по свойствам к хаотичной импульсной помехе.

### *Хаотичные импульсные помехи (ХИП).*

В общем виде помехи указанного типа можно представить как последовательность радиоимпульсов со случайной частотой заполнения, амплитудой, длительностью и интервалом следования. Практическая реализация таких помех затруднительна. Значительно проще реализовать последовательность радиоимпульсов, имеющих постоянную амплитуду и характеризующихся случайным изменением длительности импульсов и временных интервалов между ними. Могут быть созданы радиоимпульсы с заданной частотой заполнения, постоянными амплитудой и длительностью, но со случайно меняющимся интервалом между импульсами.

Хаотические импульсные помехи оказывают эффективное воздействие на командные радиолинии управления (КРУ), линии радиосвязи, а также на некоторые типы радиолокационных станций. Они вызывают полное или частичное подавление передаваемых команд, изменение значений параметров модуляции поднесущих колебаний и образование ложных команд. При оценке влияния помех на работу КРУ одним из важнейших показателей является среднее число помеховых импульсов, поступающих на вход приемника в единицу времени. Оптимальное значение зависит от вида полезного сигнала. Кроме этого, существенное значение имеет и отношение импульсных мощностей помехи и сигнала.

При подавлении линий радиотелеграфной и радиотелефонной связи для эффективности ХИП также необходимо оптимальным образом подбирать средние значения длительностей помеховых импульсов и пауз между ними. Считается, что для подавления линии телефонной радиосвязи, исходя из энергетического спектра речи, целесообразно иметь среднее значение частоты следования импульсов помехи 300—400 Гц при скважности, равной двум.

ХИП могут отличаться от полезных сигналов по ряду показателей. Различия заключаются во временной структуре. Иногда ХИП используются для подавления ка-

налов радиосвязи, которые в ряде случаев характеризуются непрерывным сигналом, в то время как помеха носит явно выраженный импульсный характер. Обычно имеют место различия в ширине спектра сигнала и помехи. При организации защиты от помех одним из важных факторов является то, что значения средней частоты помехи и сигнала всегда различны. При создании активных помех минимальная ошибка настройки передатчиков помех сопоставима с полосой пропускания приемника подавляемой РЭС и может способствовать существенному снижению эффективности помех.

#### *Последовательности детерминированных импульсных сигналов*

Примером помех указанного типа являются многократные синхронные импульсные помехи, представляющие собой серию радиоимпульсов, излучаемых в ответ на сигнал, принятый устройством радиопротиводействия от радиолокационной станции. Импульсы помехи по форме и длительности соответствуют полезному сигналу. Существенным обстоятельством является синхронность огибающих помеховых импульсов относительно начала отсчета времени в РЛС. В то же время помехи имеют ряд отличий от полезных сигналов. Как правило, имеет место существенное превышение помехи над сигналом по амплитуде (мощности). Следовательно, большое значение для защиты от помех приобретает амплитудная селекция. Импульсы помехи часто могут характеризоваться постоянством амплитуды и периода следования, что делает возможным использование череспериодной компенсации помех.

При борьбе с помехами этого типа очень важное значение может иметь различие частот сигнала и помехи. Существенное значение для ослабления эффективности помехи имеет изменение в РЛС от периода к периоду частоты следования импульсов или высокой частоты сигналов. При этом помеха может маскировать лишь те области, которые удалены от радиолокационной станции на расстояние, превышающее расстояние до источника помех.

#### **1.2. Активные имитирующие помехи.**

Активные имитирующие помехи обычно предназначаются для внесения ложной информации в подавляемое радиоэлектронное устройство. Под действием имитирующей помехи может происходить перегрузка соответствующих информационных каналов. В

этом случае помехи приводят к тому, что радиоэлектронное устройство работает на пределе пропускной способности, или аппаратурная пропускная способность канала становится недостаточной для передачи необходимой информации.

Чтобы исключить возможность фильтрации, помеховый имитирующий сигнал не должен значительно отличаться от имитируемого сигнала по несущественным (сопутствующим) параметрам. Например, при имитации ложной цели, находящейся на одном пеленге с действительной целью, но на иной дальности, помеховый сигнал должен иметь одинаковую с полезным сигналом поляризацию и несущую частоту. Однако по информационному параметру он отличается от полезного, т. е. помеховые сигналы излучаются по отношению к полезным с некоторой задержкой. Информационные и сопутствующие параметры помехового и полезного сигналов должны иметь между собой статистическую связь, которая в ряде случаев может переходить в функциональную зависимость.

В соответствии с назначением подавляемого РЭС различают имитирующие помехи для противодействия РЛС, линиям радиосвязи, командным радиопередачам управления, системам радионавигации и др. Из большого разнообразия активных имитирующих помех РЛС можно выделить две группы: первая предназначена для подавления РЛС, работающих в режиме обнаружения, а вторая служит в основном для подавления РЛС, работающих в режиме автоматического сопровождения.

*Имитирующие помехи для подавления импульсных РЛС, работающих в режиме обнаружения.*

Помехи этой группы создают на экране РЛС ложные отметки, не отличающиеся от отметок реальных целей. При действии таких помех, которые, в свою очередь, подразделяются на многократные и однократные ответные импульсные помехи, можно в значительной степени дезориентировать оператора и перегрузить систему обработки информации.

Многократная ответная импульсная помеха представляет собой серию радиоимпульсов, излучаемых в ответ на принятый сигнал подавляемой РЛС. Радиоимпульсы помехи и полезного отраженного сигнала по форме, длительности и мощности идентичны. Различают синхронные и несинхронные по отношению к частоте следования зондирующих импульсов РЛС многократные ответные помехи.

Несинхронные импульсные помехи создаются излучением пачек радиоимпульсов в произвольные моменты времени, в общем случае не связанные с временным положением зондирующих импульсов. Несинхронные импульсные помехи могут создаваться

для имитации взаимных помех, чтобы усложнить общую радиотехническую обстановку и ввести в заблуждение лиц, ответственных за электромагнитную совместимость. Отличие несинхронных импульсных помех и импульсного полезного сигнала по частоте повторения используется при создании устройств помехозащиты.

Синхронные импульсные помехи формируются станциями многократных импульсных помех, построенными по принципу многократной ретрансляции импульсных сигналов подавляемой РЛС. На экранах РЛС многократные ответные помехи порождают серии отметок, имитирующих несуществующие цели. Отметки могут быть впереди или сзади реальной цели. Для создания упреждающих отметок время задержки помеховых импульсов имеет порядок периода следования зондирующих импульсов.

Однократная ответная помеха — это радиоимпульс, излучаемый в ответ на принятый сигнал подавляемой РЛС с некоторой задержкой, изменяющейся в нужном диапазоне. Время задержки обычно меняется так, чтобы создать на экране РЛС имитацию реально движущейся цели. Скорость изменения задержки соответствует скорости движения имитируемой цели (танка, корабля, самолета).

При достаточно большой мощности передатчика помех за счет воздействия через боковые лепестки диаграммы направленности антенны на экране РЛС создается несколько ложных отметок, движущихся с определенной скоростью, что значительно осложняет работу оператора или вычислительной машины.

*Имитирующие помехи РЛС, работающим в режиме автоматического сопровождения.*

Имитирующие помехи, которые создаются РЛС, работающим в режиме автоматического сопровождения, приводят к следующим эффектам:

- измерение информационного параметра осуществляется с недопустимо большими ошибками;
- неправильно решается задача разрешения сигналов;
- во многих случаях изменяются характеристики преобразования сигналов и ухудшаются динамические свойства системы;
- нарушается работа схем в режиме автоматического сопровождения (по дальности, скорости и угловым координатам) и происходит срыв слежения.

*Имитирующие помехи системам автоматического сопровождения по направлению.*

Канал автоматического сопровождения по направлению (АСН), осуществляющий угловую селекцию целей, а также измерение ее угловых координат и их производных, является одним из основных измерительных каналов РЛС управления оружием. В большинстве случаев потеря информации об угловых координатах цели (или нарушение угловой селекции цели) приводит к невыполнению задачи, решаемой РЛС.

Способы создания помех каналу АСН зависят от числа независимых каналов (антенн) приема. Так, работа одноканальной системы АСН, в которой информация об угловых координатах цели получается за счет сканирования антенны, может быть нарушена при создании помехи из одной точки (помеха по частоте сканирования). Однако эта помеха полностью устраняется в моноимпульсных системах АСН, имеющих два независимых канала приема (две разнесенные точки приема.) Для подавления двухканальных систем АСН применяются помехи, создаваемые из двух и более точек пространства.

Следует заметить, что существует принцип «старшинства» помехи, т. е. помеха, создаваемая из двух и более точек пространства является эффективной как для двухканальной (моноимпульсной) системы АСН, так и для одноканальной системы (с коническим сканированием).

В некоторых случаях помехи «низшего» класса могут оказывать действие на системы АСН, имеющие несколько независимых каналов приема. Например, моноимпульсные системы АСН могут быть подавлены помехой, создаваемой из одной точки, с поляризацией, ортогональной поляризации полезного сигнала. При этом используется несовершенство антенных систем, имеющих различные диаграммы направленности на основной и ортогональной поляризациях.

Системам АСН могут быть созданы помехи из одной, двух и более точек пространства.

К одноточечным помехам относятся:

- помеха, прицельная по частоте сканирования;
- помеха, заградительная по частоте сканирования;
- прерывистая помеха;
- помеха на кросс-поляризации.

Из двух и более точек могут создаваться:

- некогерентные помехи;

- когерентные помехи;
- мерцающие помехи.

Помеха, прицельная по частоте сканирования представляет собой амплитудно-модулированное колебание. Частота помеховой модуляции примерно совпадает с частотой сканирования антенны. Помеха, прицельная по частоте сканирования, может быть создана лишь тем РЛС, частота сканирования которых либо точно известна, либо может определяться в процессе радиотехнической разведки.

*Помеха, заградительная по частоте сканирования.*

Когда частота сканирования антенны РЛС неизвестна, может применяться помеха, заградительная по частоте сканирования. Различают шумовую и скользящую заградительные по частоте сканирования помехи. Помеха первого вида – это гармонический сигнал несущей частоты, модулированный по амплитуде низкочастотным шумовым напряжением с равномерным спектром, перекрывающим диапазон возможных частот сканирования. Если несущая модулируется по амплитуде синусоидальным напряжением, частота которого периодически изменяется в определенном диапазоне, то формируется скользящая заградительная помеха. Прицельные и заградительные по частоте сканирования помехи нарушают также работу измерителей угловой скорости линии визирования систем самонаведения ракет при методе пропорционального наведения.

*Некогерентные многоточечные помехи.* Некогерентные помехи создаются двумя и более разнесенными в пространстве передатчиками. Между фазами генерируемых высокочастотных колебаний отсутствует детерминированная связь. Излучаемые колебания могут быть модулированными и немодулированными.. Вид модулирующей функции в значительной степени определяет эффективность помех.

В простейшем случае некогерентные помехи создаются двумя отражающими объектами (например, парой самолетов, кораблей и др.). Действие такой немодулированной помехи проявляется в создании угловой ошибки сопровождения целей. Если угловое расстояние между целями и меньше ширины луча подавляемой РЛС, то определяемое равноточечное направление ориентируется на эффективный центр парной цели, положение которого зависит от отношения мощностей помеховых сигналов.

*Мерцающие и прерывистые помехи.*

Мерцающие помехи создаются с помощью двух (и более) передатчиков помех путем их поочередного включения. Зарубежные специалисты рассматривают мерцающую

помеху как эффективный способ радиоэлектронного противодействия РЛС управляемых ракет.

При анализе воздействия мерцающих помех на систему автоматического сопровождения по дальности существенным является то, что в каждый данный момент включен один из передатчиков. Это позволяет оценивать эффективность мерцающих помех, анализируя воздействия на систему сопровождения помеховых сигналов каждого из источников при использовании пеленгационной характеристики угломерного устройства для одиночного источника.

Частным случаем мерцающих помех является *прерывистая помеха*. Она представляет собой периодическую последовательность мощных радиоимпульсов, излучаемых одним передатчиком помех с определенной скважностью. Действие прерывистых помех на систему автосопровождения по дальности со сканирующей антенной основано на использовании переходных процессов, протекающих в системе АРУ при поступлении на ее вход мощных импульсных сигналов. Вследствие инерционности системы АРУ коэффициент усиления приемного тракта не может изменяться скачком, также приемное устройство имеет ограничение по уровню сигнала сверху и снизу. По этим причинам прерывистая помеха приводит к перегрузке приемника и вызывает перерывы поступления информации в угломерный канал за счет срезания переменной составляющей с частотой сканирования в интервалах времени, примыкающих к началу и концу импульса помехи.

Эффективность прерывистой помехи зависит от интенсивности помехового сигнала, длительности помеховых импульсов, периода их следования и параметров системы АРУ.

*Двухточечные когерентные помехи.* Возможность создания помех каналам АСН с помощью двух разнесенных и пространстве когерентных источников основывается на искажении фазовой и амплитудной структуры электромагнитного поля в раскрыве антенны угломерного устройства.

Если размеры антенны малы, так что можно считать распределение амплитуды электрического поля по ее раскрыву равномерным, то определение угловых координат источника излучения сводится к определению пространственного положения нормали к поверхности равных фаз. Для одиночного точечного источника эта поверхность представляет собой сферу, и нормаль к любой ее точке совпадает с направлением - на источник — цель.

Когерентная помеха создается естественным образом при сопровождении сложной цели. В этом случае фазовая и амплитудная диаграммы случайным образом вращаются вокруг эффективного центра цели. Система автосопровождения по направлению фиксирует резкие возмущения в моменты наложения на антенну РЛС участков с инверсией фазы.

*Помеха на кросс-поляризации.*

Для большинства современных антенн наряду с излучением на собственной поляризации существует паразитное излучение на ортогональной поляризации (кросс-поляризованное излучение). В сильной степени оно проявляется у зеркальных антенн, содержащих отражатели с двойной кривизной. Диаграмма направленности антенн на ортогональной поляризации значительно отличается от основной диаграммы. Явление искажения результирующей диаграммы направленности антенны РЛС при облучении ее полем с ортогональной поляризацией используется при создании помех на кросс-поляризации. Поляризованная помеха может вызывать значительные ошибки измерения угловых координат.

*Помехи системам автоматического сопровождения по дальности.*

К имитирующим помехам системам автоматического сопровождения по дальности относятся импульсные уводящие помехи. Эти помехи представляют собой последовательность ответных импульсов, задержанных относительно сигнала на величину, монотонно изменяющуюся от нуля до некоторого заданного значения. В момент включения передатчика помех время задержки помехового сигнала равно нулю, вследствие чего на вход системы сопровождения поступает одновременно два совмещенных по времени импульса – сигнал и помеха. Если амплитуда помехового импульса больше амплитуды сигнала, то при увеличении задержки строб дальности начнет перемещаться за более мощным помеховым сигналом. При значении времени задержки, превышающем апертуру характеристики временного различителя, система АСД «потеряет» цель и перейдет на слежение за помехой.

Однако несмотря на то, что автодальномер будет сопровождать имитируемую помеховым сигналом ложную цель, РЛС будет получать информацию об угловом положении цели. Канал автосопровождения по направлению функционирует нормально, так как помеховый сигнал несет информацию об угловых координатах цели, на которой

размещен источник помех. Для внесения помеховых возмущений в канал автосопровождения по направлению после окончания серии помеховых импульсов передатчик помех выключается и система автосопровождения по дальности переходит в режим поиска. Таким образом, уводящая по дальности помеха вызывает ошибки в измерении дальности (а следовательно, и скорости) и приводит к перерывам информации в угломерном канале.

#### *Помехи системам автоматического сопровождения по скорости*

Системам автоматического сопровождения по скорости (АСС) также создаются уводящие помехи, которые осуществляют увод строга скорости и вызывают прекращение автосопровождения по доплеровской частоте полезного сигнала.

Возможность увода строга скорости основана на особенностях воздействия двух сигналов (полезного и помехового) с различными амплитудами и частотами на частотный детектор.

При поступлении на частотный детектор системы АСС двух сигналов устойчивый нуль обобщенной дискриминационной характеристики смещается за частотой более мощной помехи. Несущая частота помехи плавно изменяется, и строб скорости перемещается вслед за частотой помехи. Система АСС переходит на автосопровождение помехи. Пока длится цикл увода, канал АСС выдает ложную информацию о скорости и ускорении цели. Угловое сопровождение цели не нарушается, так как сигналы с селектора скорости поступают на вход канала автосопровождения по дальности. После прекращения цикла увода сигнал в строге скорости пропадает, и система АСС переходит в режим поиска. РЛС в течение цикла увода получает ложную информацию о скорости и ускорении цели. Кроме того, информация об угловых координатах цели поступает прерывисто только в промежутках времени действия помехового сигнала. Во время поиска РЛС теряет цель. Значение скважности поступления информации может быть подсчитано для заданной РЛС и конкретной помехи. На скважность существенное влияние оказывает продолжительность цикла увода и скорость поиска системы АСС.

### **1.3. Маскирующие пассивные помехи**

Один из наиболее широко известных способов создания маскирующих пассивных помех сводится к разбрасыванию в атмосфере большого числа дипольных отражателей. Наибольшее распространение дипольные отражатели получили для подавления РЛС. Дипольные отражатели представляют собой тонкие металлизированные пассивные вибраторы, резонансная частота которых совпадает (или близка) с несущей частотой

подавляемой РЛС. Если число диполей, попадающих в импульсный объем подавляемой РЛС велико, а размеры облака значительны, то помеховый сигнал оказывается существенно интенсивнее сигнала, поступающего от цели (например, самолета), находящегося внутри этого облака.

Дипольные отражатели должны удовлетворять широкому кругу подчас трудно совместимых друг с другом требований. Многие из них обусловлены тем, что постановка помех ведется, как правило, с самолетов или летательных аппаратов других типов. Дипольные отражатели изготавливаются на основе либо фольги, либо стекловолокна, покрытого чрезвычайно тонким слоем цинка или алюминия. Поперечные размеры дипольного отражателя измеряются десятками, а иногда и сотыми долями миллиметра. При этом отражатели не должны изгибаться после сброса их в атмосферу и ломаться во время хранения и транспортировки. Кроме того, поверхности диполей необходимо обрабатывать так, чтобы не происходило их слипания друг с другом даже при длительном хранении.

Основными характеристиками дипольных отражателей являются: эффективная площадь рассеяния, диапазонность, характер и время развертывания облака диполей, спектры сигналов, отражаемых этим облаком, и ширина полосы, маскирующей цель.

Серьезным недостатком дипольных отражателей как средства радиопротиводействия является их относительно малая диапазонность. Приведенные выше выражения для определения ЭПР диполей относятся к тому случаю, когда отражатель настроен в резонанс с частотой облучающей его РЛС. Длина диполя при этом должна быть несколько меньше половины длины волны подавляемой станции. Степень укорочения зависит от поперечных размеров диполя. В связи с тем, что для сокращения веса диполей и габаритов пачек отражатели стараются сделать по возможности более тонкими, указанное «укорочение» диполей, как правило, оказывается незначительным.

Чтобы сделать облако дипольных отражателей более широкодиапазонным, в пачку комплектуются диполи разной длины, однако такой способ расширения диапазонных свойств пассивных помех связан со значительным увеличением веса диполей, необходимых для образования облака отражателей с заданной средней эффективной отражающей площадью. Проблема широкодиапазонности пассивных помех может быть решена также с помощью аппаратуры, способной «нарезать» дипольные отражатели нужной длины непосредственно на борту летательного аппарата – постановщика помех в соответствии с длиной волны подавляемой станции.

При постановке пассивных помех самолетом сброшенные им пачки дипольных отражателей попадают в струи воздуха, характеризующиеся высокой степенью турбулентности. Диполи, разлетаясь под действием большого числа сильно «закрученных» местных вихрей, приобретают значительные скорости и образуют относительно небольшие по размерам облака. При этом как распределение концентрации диполей, так и распределение их пространственной ориентации являются случайными.

В течение небольшого интервала времени, непосредственно следующего за развертыванием пачки, ориентация диполей в облаке примерно равновероятна по всем направлениям. В дальнейшем, когда влияние направления движения постановщика помех становится незначительным, рассеяние диполей в пространстве продолжается за счет вихревого движения отдельных участков атмосферы. При этом размеры облака продолжают возрастать, а среднее значение концентрации диполей в нем – уменьшаться; причем эта концентрация будет неодинаковой в различных местах внутри облака. Скорости, с которыми движутся разные диполи как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях, также оказываются различными. Геометрический центр облака в целом смещается относительно начальной точки развертывания под действием ветра и спускается вниз за счет силы тяжести. В подавляющем большинстве случаев рассеяние диполей в горизонтальной плоскости больше, чем вертикальное их рассеяние. Поэтому облако диполей, как правило, представляет собой образование, вытянутое в горизонтальной плоскости, причем его наибольший размер совпадает с направлением скорости ветра.

Возможные различия в ориентации двух групп диполей приводят и к различию в скоростях их снижения. Горизонтально ориентированные отражатели образуют «медленную», а вертикально ориентированные — «быструю» группы диполей. Отражатели с промежуточными пространственными ориентациями обладают и промежуточными скоростями снижения. Различие в скоростях снижения постепенно приводит и к пространственному «расслоению» облака в вертикальной плоскости – создаются два движущихся с различными скоростями уплотненных слоя отражателей, разделенных между собой областью, в которой диполи имеют меньшую концентрацию. Расстояние между указанными слоями в связи с разницей в скоростях снижения монотонно увеличивается.

В общем случае спектр сигнала, отраженного облаком диполей, не совпадает со спектром сигнала облучающего это облако. Такое различие объясняется движением относительно подавляемой РЛС всего облака как единого целого, и хаотическим

перемещением диполей внутри него. Еще одной причиной расширения спектра отраженного сигнала является различие скоростей ветра на разных высотах.

Помехи, создаваемые дипольными отражателями, воспроизводятся приемно-индикаторными устройствами подавляемых станций как очень узкополосный шумовой сигнал, чем и определяются маскирующие свойства таких помех. Однако различия спектров, свойственные помеховым и рабочим сигналам, позволяют отфильтровывать помехи и тем самым существенно снизить их эффективность. Это обстоятельство широко используется в импульсных РЛС с системами селекции движущихся целей, а также при использовании непрерывных зондирующих сигналов и импульсов с большой частотой повторения.

Вместе с тем, создаваемые дипольными отражателями помехи при традиционных методах их применения являются эффективным средством прикryтия высокоскоростных целей (например, самолетов) от наблюдения импульсными радиолокационными системами, не имеющими специальных схем защиты от подобных помех. Необходимые для подавления таких РЛС плотности отражателей (темпы сбрасывания пачек отражателей) оказываются относительно невысокими. Что же касается РЛС с непрерывными и квазинепрерывными (при большой частоте следования импульсов) зондирующими сигналами, то их нужно считать хорошо защищенными от воздействия помех рассматриваемого класса.

Помехи ставятся, как правило, периодическим сбрасыванием пачек дипольных отражателей с самолета или какого-либо другого летательного аппарата – постановщика помех. Если пачки сбрасываются достаточно часто, формируемые ими облака сливаются друг с другом, в результате чего образуются довольно широкие и протяженные области пространства, внутри которых хаотически «разбросаны» дипольные отражатели. Такие области пространства называются полосами пассивных помех (полосами дипольных отражателей). Сигналы РЛС, отражаясь от облучаемой полосы, засвечивают экран индикатора РЛС в тех его точках, которые соответствуют координатам полосы отражателей. При этом на экране создаются засвеченные «коридоры». Яркость засветки «коридора» зависит от мощности отраженного диполями сигнала, которая, в свою очередь, при прочих равных условиях пропорциональна количеству диполей, одновременно отражающих зондирующий сигнал РЛС. Когда эта яркость достаточно велика, то на ее фоне бывает затруднительно или невозможно выделить отметку, создаваемую целью, например, самолетом, идущим в полосе дипольных отражателей или над этой полосой. Если выходное устройство станции представляет собой не визуальный индикатор, а какой-либо автомат, то и этот автомат не в состоянии выделить сигнал цели

из шумоподобного сигнала, порождаемого отражениями от полосы диполей. Важной характеристикой полосы дипольных отражателей является ширина маскируемой области. Применительно к полосам диполей, поставленным для подавления РЛС дальнего обнаружения и целераспределения, наиболее эффективной представляется характеристика «разлета» диполей в направлении, перпендикулярном оси полосы.

#### **1.4. Пассивные имитирующие помехи**

Пассивные имитирующие помехи создаются с помощью ложных целей, радиолокационных ловушек и дипольных отражателей. Особенностью помех этого класса является то, что для их создания используется энергия электромагнитных волн зондирующих сигналов подавляемой РЛС. Как правило, с помощью пассивных имитирующих помех создаются радиолокационные образы целей.

Ложные цели осуществляют имитацию движущихся реальных целей. В качестве ложных целей могут служить различные макеты реальных целей. Для имитации самолетов применяют ракеты, оснащенные стартовыми или маршевыми двигателями, наличие которых позволяет осуществлять автономный, управляемый или неуправляемый полет в течение длительного времени (до нескольких десятков минут). Чтобы ракеталожная цель создавала такой же по интенсивности и спектру сигнал, как и имитируемый объект, она оборудуется соответствующими пассивными ретрансляторами.

Ложные цели применяются в основном для противодействия РЛС обнаружения и целераспределения и вызывают дезориентацию операторов РЛС, перегрузку вычислительных устройств системы целераспределения, увеличение времени на опознавание образа целей, отвлечение ударных средств на поражение ложных целей.

В отличие от ложных целей радиолокационные ловушки предназначаются для срыва автоматического сопровождения цели РЛС или головкой самонаведения управляемой ракеты. Применение ловушки приводит к срыву атаки управляемой ракеты или к значительному промаху снаряда, безопасному для прикрываемого самолета. Чтобы обеспечить переключение системы наведения (самонаведения) снаряда на ловушку, ее ЭПР должна быть несколько больше ЭПР прикрываемого объекта. Увеличение ЭПР ловушек достигается установкой на них пассивных переизлучателей электромагнитной энергии (уголковых и линзовых отражателей, пассивных решеток и др.)

Радиолокационные ловушки могут быть буксируемыми и сбрасываемыми. Последние, в свою очередь, делятся на неуправляемые и управляемые. Буксируемая ловушка имеет небольшой вес, обтекаемую форму и в момент опасности выпускается с

прикрываемого объекта с помощью стартового приспособления (лебедка с тонким тросом).

Сбрасываемые неуправляемые ловушки служат для защиты самолетов и ракет. Они не имеют двигателей и представляют собой пассивные переизлучатели, обладающие большей эффективной площадью рассеяния, чем прикрываемый объект, подвергающийся атаке. В простейшем случае ловушкой может служить пачка дипольных отражателей. С самолета пачки дипольных отражателей выбрасываются специальным автоматом периодически с определенным интервалом. ЭПР раскрывшейся пачки больше ЭПР цели. Интервал сброса выбирается из условия попадания цели и ближайшего к ней облака помех в объем разрешения РЛС.

Перенацеливание ракеты на ловушку, создаваемую облаком дипольных отражателей, происходит за счет перехода на автосопровождение облака диполей сначала системой автосопровождения дальности, а затем и системой автосопровождения направления. Недостатком сбрасываемых неуправляемых ловушек являются значительные отличия их скорости и ускорения от аналогичных параметров реальной цели. Эти отличия могут быть использованы для селекции ловушек по соответствующим информационным и сопутствующим признакам. В сбрасываемых управляемых ловушках устранение этого недостатка достигается применением двигателей, которые обеспечивают управляемый полет и более плавный увод слежения.

При создании имитирующих помех для изменения ЭПР целей могут применяться противорадиолокационные покрытия и устройства управления переизлучаемой энергией. Противорадиолокационными покрытиями называются материалы со специальными свойствами. Эти материалы при нанесении на отражающие поверхности существенно снижают их радиолокационную наблюдаемость. Принцип действия покрытий основан на явлениях интерференции и поглощения электромагнитных волн в слоистых средах.

По принципу действия различают интерференционные, поглощающие и комбинированные противорадиолокационные покрытия. Интерференционные покрытия снижают интенсивность переизлучаемой энергии за счет взаимодействия двух и более когерентных пучков электромагнитных волн, прошедших различные пути распространения от цели до приемника РЛС. Покрытия, обеспечивающие снижение ЭПР цели в результате значительного поглощения падающих волн, называются поглощающими. На практике находят применение комбинированные покрытия, эффект действия которых вызывается интерференцией и поглощением падающих и отражающих волн. Комбинированные покрытия позволяют снизить коэффициент отражения в несколько десятков раз в широком диапазоне частот (более октавы).

Пассивные имитирующие помехи могут быть отфильтрованы на основе сопоставления признаков помехи с аналогичными характеристиками полезного сигнала. При этом возникает задача опознавания образа цели. Вид спектра, мощность помехи, скорость движения и ускорение цели могут часто служить отличительным признаком пассивных имитирующих помех от полезных сигналов.

## 2. НЕКОТОРЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

### Распространение радиоволн в свободном пространстве.

Вектор Пойтинга (для изотропного излучения)  $\Pi = \frac{P_1}{4\pi \cdot r^2}$ ,  $[\Pi] = \frac{Bm}{m^2}$ .

Среднее за период значение вектора Пойтинга  $\Pi = H_{действ.} \cdot E_{действ.}$ ,  $[\Pi] = \frac{Bm}{m^2}$ ,

где  $H_{действ.} = \frac{E_{действ.}}{120\pi}$ ,  $[H_{действ.}] = \frac{A}{m}$ . Отсюда  $\Pi = \frac{E_{действ.}^2}{120\pi}$ .  $E_{действ.} = \frac{\sqrt{30P_1}}{r}$ ,  $[E_{действ.}] = \frac{B}{m}$ .

На ДВ, СВ, частично на КВ удобна следующая формула:  $E_{действ.} = \frac{\sqrt{30P_1 D_1}}{r}$ , где  $D_1$

– диаграмма направленности.

На более коротких волнах параметры приема удобнее характеризовать мощностью на входе приемника. Чувствительность приемника – мощность на его входе, необходимая для помехоустойчивой обработки информации в смысле определенного критерия. На этих волнах удобно учитывать эффективную площадь антенны (площадь из которой антенна может извлекать энергию).

$$A = \frac{D_{np.} \cdot \lambda^2}{4\pi}, [A] = m^2. \Pi_{np.} = \frac{P_1 D_1}{4\pi \cdot r^2},$$

отсюда мощность на входе приемника  $P_{np.} = \frac{P_1 D_1 D_{np.} \cdot \lambda^2}{(4\pi \cdot r)^2}$ ,  $[P_{np.}] = Bm$ .

Потери при распространении в свободном пространстве.

$$L_{св.} = \frac{P_1}{P_{np.}} = \left( \frac{4\pi \cdot r}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{1}{D_1 D_{np.}}. \text{ Основные потери } L_{O.св.} = \left( \frac{4\pi \cdot r}{\lambda} \right)^2.$$

## Поглощение радиоволн при распространении в проводящей среде.

Предыдущие формулы характеризовались рассеянием волн в пространстве. На практике радиоволны распространяются и в частично проводящих средах, таких как: морская вода; почва; ионосфера и другие частично проводящие области атмосферы. В этих средах наводятся токи, которые вызывают активные потери, а также реактивные потери за счет диэлектрической проницаемости.

В случае идеального диэлектрика (нет токов проводимости):

$$E(x) = E_m \cdot e^{j\omega(t - \frac{x\sqrt{\epsilon}}{c})}$$

Скорость распространения в среде:  $V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$ , где  $\epsilon$  – действительное число. В случае проводящих веществ  $\epsilon$  становится комплексной величиной:  $\epsilon_k = \epsilon - j60\lambda\sigma$ . Волна становится затухающей.  $\sqrt{\epsilon_k} = n - jp$ , тогда  $E(x) = E_m \cdot e^{-\frac{\omega}{c}p} \cdot e^{j\omega(t - \frac{xn}{c})}$ , где  $\frac{\omega}{c}p = \delta$  – коэффициент поглощения ( $[\delta] = \frac{1}{м}$ ).  $\sqrt{\epsilon_k} = \epsilon - j60\lambda\delta = n^2 - p^2 - 2jnp$ .

Получаем следующую систему:  $\begin{cases} \epsilon = n^2 - p^2 \\ 60\lambda\sigma = 2np^2 \end{cases}$ , решением которой являются

следующие уравнения:  $n = \pm \sqrt{\frac{1}{2}[\epsilon + \sqrt{\epsilon^2 + (60\lambda\sigma)^2}]}$  и  $p = \pm \sqrt{\frac{1}{2}[-\epsilon + \sqrt{\epsilon^2 + (60\lambda\sigma)^2}]}$ .

Знаки  $\pm$  зависят от того, в какую сторону идет распространение волны.

*Случай малой проводимости среды распространения, ( $\epsilon \gg 60\lambda\sigma$ ).*

$$n \approx \sqrt{\epsilon}, \quad p \approx \frac{30\lambda\sigma}{\sqrt{\epsilon}}, \quad \text{где } \lambda \text{ - длина волны в вакууме. } \delta \approx \frac{60\pi\sigma}{\sqrt{\epsilon}} \quad V \approx \frac{c}{\sqrt{\epsilon}}$$

$$\lambda_{\text{среда}} \approx \sqrt{\epsilon}\lambda.$$

*Случай хорошей проводимости среды распространения, ( $\epsilon \ll 60\lambda\sigma$ ).*

$$n \approx p \approx \sqrt{30\lambda\sigma} \quad \delta \approx 2\pi\sqrt{\frac{30\sigma}{\lambda}} \quad V = \frac{c}{\sqrt{30\lambda\sigma}} \quad \text{Наблюдается очень сильная}$$

дисперсия сигнала.

### 3. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ (При необходимости с помощью моделирования).

**Задание 1.** Определить, возможно ли в РРЛ появление электромагнитной помехи от станции РЛС при условии, что РЛС, излучающая в импульсе мощность 2 МВт и работающая на частоте 1,3 ГГц, одновременно излучает третью гармонику, ослабленную на 50 дБ. Станция РРЛ расположена на расстоянии прямой видимости на расстоянии 9,6 км; усиление передающей и приемной антенн в направлении друг на друга на частоте помехи 3,9 ГГц составляет 20 дБ и 15 дБ соответственно. Допустимый уровень помехи на входе приемника РРЛ в полосе 3 МГц равен его порогу чувствительности  $P_R = -95$  дБм.

*Ответ:* Превышение над порогом приемника РРЛ. Составляет 18 дБ, таким образом, в приемнике РРЛ возможно появление ЭМП.

**Задание 2.** Определить степень влияния РЛС на работу РРЛ (из предыдущей задачи), если передатчик РРЛ, расположен в пределах прямой видимости на расстоянии 51 км от приемника. Усиление его рупорной антенны 40 дБ.

*Ответ:* Электромагнитная помеха не будет сказываться на работе приемного устройства при наличии в нем системы АРУ, т.к. уровень отношения сигнал/шум равен около 48 дБ.

**Задание 3.** Определить будет ли влиять помеха с уровнем плотности потока мощности, равным  $-73$  дБм/м<sup>2</sup>, на прием радиовещательного сигнала, если электрическая длина автомобильной радиовещательной штыревой антенны (длиной 1 м) равна 0,5 м. Потери из-за неэффективности антенны составляют 30 дБ. Пороговая чувствительность приемника на частоте 1 МГц при полосе пропускания 10 кГц равна  $-122$  дБм. Напряженность поля радиовещательного сигнала у поверхности Земли  $S_B = 60$  дБмкВ/м.

*Ответ:* Не будет, т.к. уровень электромагнитной помехи на 17 дБ ниже уровня радиовещательного сигнала.

**Задание 4.** Определить, может ли солнечная вспышка при плотности мощности ЭМП, равной  $-127$  дБм/(м<sup>2</sup> кГц) в полосе 25 кГц (или  $-113$  дБм/м<sup>2</sup>) влиять на приемное устройство, работающее на частоте 40 МГц, и характеризующееся отношением сигнал/шум около 0 дБ. При полосе пропускания 25 кГц чувствительность приемника составляет  $-120$  дБ м. Эффективная поверхность антенны равна 6,7 м<sup>2</sup>.

*Ответ:* Солнечная вспышка может быть причиной нарушения работы, т.к. создаст помехи, уровень которых превысит уровень собственного шума приемника (порог чувствительности) на 15 дБ.

**Задание 5.** Определить, возможно ли возникновение электромагнитной помехи самолетному приемнику от телевизионного передатчика. Самолетный приемник системы, работающий на частоте 1090 МГц, удален на 161 км от соответствующего передатчика, который излучает мощность 1 кВт (+60 дБм). Передатчик 26-го канала телевидения (542—548 МГц; 4,5 МВт; 97 дБм) находится на расстоянии 4,83 км от приемника.

*Ответ:* В этих условиях работы может возникнуть помеха, мешающая работе самолетного приемника.

**Задание 6.** Возможна ли в диспетчерской службе связь в часы «пик», если в обычные часы на частоте 450 МГц приемник подвижной диспетчерской связи, расположенный на расстоянии 30 м от дороги. Не в часы «пик» интенсивность движения небольшая (несколько автомобилей в минуту). При этом диспетчер может с трудом поддерживать связь с автомобилями, находящимися на границе зоны приема. Напряженность поля принимаемого сигнала в этом случае составляет 10 дБмкВ/м (3 мкВ/м). Определить влияние проходящих рядом автомобилей на качество приема при полосе частот диспетчерского приемника 50 кГц. Считать, что в часы «пик» (100 маш./мин) медианный уровень ИЭМП от систем зажигания увеличивается на 17 дБ.

*Ответ:* Зона приема уменьшается на 10%.

**Задание 7.** Определить влияние помех на телевизионный прием на краю зоны обслуживания данным телецентром. Считать, что типовые современные логопериодические телевизионные (ТВ) антенны на ОВЧ имеют усиление около 12 дБ. На частоте 9-го канала (186—192 МГц) эта антенна имеет эффективную площадь 2,8 м<sup>2</sup>, и чувствительность приемника при полосе 6 МГц составляет около —93 дБм. Это примерно соответствует приходящему потоку мощности —98 дБм/м<sup>2</sup>, а с учетом полосы 6 МГц —136 дБм/(м<sup>2</sup> кГц).

*Ответ:* Влияние помех в этой ситуации является приемлемым.

**Задание 8.** Определить величину отношения мощности помехи к шуму приемника, имеющего чувствительность  $-104$  дБм, входное сопротивление  $50$  Ом, полосу частот  $1$  МГц.

*Ответ:* 231 дБм.

**Задание 9.** Рассчитать величину ЭМП от передатчика тропосферной линии приемнику РЛС. Передатчик, работающий на частоте  $f_{от} = 1$  ГГц, имеет на выходе следующие уровни излучений: на основной частоте  $P(f_{от}) = 1$  кВт ( $+60$  дБм); на побочных частотах менее  $0$  дБм, а приемник имеет восприимчивость на основной частоте приема  $1,2$  ГГц, равную  $-100$  дБм, на побочных частотах приема равную  $-20$  дБм. Определить уровни помехи для каждой из четырех комбинаций, если потери при распространении радиоволн от передатчика к приемнику составляют  $100$  дБ.

*Ответ:* 60 дБ,  $-20$  дБ,  $0$  дБ,  $-80$  дБ.

**Задание 10.** - Определить помеху в полосе пропускания РП для случая воздействия УВЧ передатчика, имеющего полосу  $10$  кГц, на приемник с полосой  $1000$  кГц, если оба устройства работают на одной и той же частоте, а полученное превышение помехой порога восприимчивости РП составляет  $+80$  дБ.

*Ответ:* 40 дБ.

**Задание 11.** Определить режим работы самолетного УВЧ АМ приемника радиотелефонных сигналов, предназначенного для связи между диспетчерами аэропорта и пилотами самолетов. Помеха создается передатчиком аналогичной службы, но удаленным от передатчика полезного сигнала на расстояние примерно  $640$  км. Ширина полосы полезного АМ сигнала равна  $6$  кГц, глубина амплитудной модуляции равна  $50\%$ , уровень полезного сигнала на входе приемника на  $20$  дБ превышает собственный шум приемника, равный  $-110$  дБм для расстояний, достигающих до  $160$  км от передатчика, Уровень превышения мешающим сигналом собственного шума приемника в пределах зоны радиусом  $160$  км вокруг передатчика полезного сигнала меняется от  $7$  до  $12$  дБ.

*Ответ:* Приемник будет работать в надпороговой области.

**Задание 12.** Определить качество сигналов радиотелефонного приемника ОВЧ наземной подвижной службы при воздействии помех от РЛС и от ТВ передатчика ОВЧ. Радиотелефонный приемник предназначен для работы в пределах зоны действия

передающей станции (радиус 80 км). Уровень полезного сигнала на 10 дБ превышает уровень шума приемника в пределах рабочей зоны передатчика.

РЛС излучает импульсный сигнал с частотой повторения 400 имп/с, по результатам оценки ЭМП средний уровень мешающего сигнала в полосе приемника оказался на 10 дБ выше уровня шума приемника. Полмеха от ТВ передатчика на 5 дБ выше уровня шума приемника.

*Ответ:* Уровень качества – посредственный.

**Задание 13.** Определить уменьшение дальности действия РЛС наблюдения, предназначенной для работы в  $L$ -диапазоне (1 ГГц) с дальностью 160 км, если она находится на расстоянии 0,16 км от передатчика непрерывных немодулированных колебаний мощностью 1 кВт, работающего в той же полосе, используемого для сопровождения ракет. Считать, что главный лепесток ДН антенны ИП с максимальным усилением +30 дБ попадает в область боковых и заднего лепестков ДН антенны РЛС. Усиление боковых и заднего лепестков ДН антенны РЛС будем считать равным 10 дБ.

*Ответ:* Дальность действия РЛС уменьшится со 160 до 88 км.

**Задание 14.** Определить уровень помех приемнику РРЛ от связного ОВЧ передатчика. Уровень 10-й гармоники связного ОВЧ передатчика изменяется от –60 до –100 дБ относительно уровня мощности основного излучения при среднем значении –80 дБ. Мощность основного излучения данного передатчика составляет 100 Вт (+50 дБм). Чувствительность приемника равна 100 дБм, потери при распространении равны –70 дБ. 10-я гармоника может быть ослаблена на 60 дБ или на 100 дБ.

*Ответ:* 1 – мощность мешающего сигнала на 20 дБ превышает чувствительность приемника; 2 – мощность мешающего сигнала на 20 дБ меньше чувствительности приемника.

**Задание 15.** Рассчитать вероятность того, что паразитное излучение передатчика РЛС попадет в полосу пропускания СВЧ связного приемника. Передатчик обзорной РЛС работает на частоте 1 ГГц, СВЧ связной приемник — на частоте 2,3 ГГц, его полоса пропускания равна 10 МГц. Рассчитаем вероятность того, что паразитное излучение передатчика попадет в полосу пропускания приемника, равную 10 МГц.

*Ответ:* Вероятность составляет 0,06 (6%).

**Задание 16.** Оценить уровень помех самолетному навигационному приемнику, работающему на частоте = 1090 МГц от передатчика РЛС, работающего на частоте 220 МГц. Наибольшее приближение самолета к РЛС составляет 13 км, что соответствует ситуации, когда передатчик аэропорта и приемник самолета отстоят на 66 км. Номинальные значения параметров передатчиков и приемника приведены в табл. 3.6.

Передатчик РЛС: рабочая частота равна 220 МГц, пиковая выходная мощность равна 2 МВт, усиление антенны в рабочей полосе частот равно 25 дБ.

Передатчик аэропорта: рабочая частота равна 1090 МГц, пиковая выходная мощность равна 3 МВт, усиление антенны в рабочей полосе частот равно 3 дБ.

Самолетный приемник: рабочая частота равна 1090 МГц, усиление антенны в рабочей полосе частот равно 3 дБ, полоса пропускания равна 165 кГц, Чувствительность по урону собственных шумов равна –80 дБ.

*Ответ:* Среднее значение мощности помехи от передатчика РЛС на 14 дБ меньше чувствительности самолетного приемника и на 35 дБ меньше уровня полезного сигнала на входе самолетного приемника.

**Задание 17.** Оценить, может ли передатчик РЛС создавать помеху приемнику, настроенный на частоту 130 МГц, если передатчик РЛС, работает на частоте 1250 МГц. Промежуточная частота равна 30 МГц. Помеха прослушивается в приемнике как тон с частотой 800 Гц, что соответствует частоте манипуляции РЛС, и меняется по амплитуде с частотой сканирования антенны РЛС.

*Ответ:* Передатчик РЛС может создавать помехи, если частота гетеродина выше частоты сигнала.

**Задание 18.** Вычислить результирующее значение отношения сигнал/шум в следующей ситуации. Приемник УВЧ имеет чувствительность –110 дБм для отношения сигнал/шум, равного 5 дБ. Уровень сигнала на входе приемника –90 дБм.

*Ответ:* Действие помехи с уровнем –10 дБм привело к уменьшению коэффициента усиления приемника на 10 дБ и уменьшению отношения сигнал/шум до 15 дБ

**Задание 19.** Определить степень воздействия помехи приемнику, работающему на частоте 270 МГц и предназначенному для связи воздух — земля. Его антенна расположена на крыше Центра управления полетами (ЦУП) вместе с передающей антенной, к которой подключены два спаренных передатчика УВЧ с рабочими частотами,

равными 280 МГц и 291 МГц. На крыше ЦУП, кроме того, расположена антенна передатчика ОВЧ, работающего на частоте, равной 130 МГц. Все передатчики предназначены для связи земля — воздух-(рис. 6.6). Каждый из трех передатчиков имеет выходную мощность 100 Вт (+50 дБм) и работает на многовибраторную направленную антенну с усилением 10 дБ, шириной луча  $360^\circ$  в азимутальной плоскости и  $10^\circ$  в плоскости угла места. Приемник имеет чувствительность — ПО дБм; он также подключен к многовибраторной направленной антенне с усилением 10 дБ. Разнос по расстоянию между передающими и приемной антеннами порядка 15 м.

*Ответ:* Уровень помех может составлять от 16 до 25 дБм.

**Задание 20.** Вычислить напряженность  $E_{\Pi}$  поля помех в месте приема при следующих данных: излучаемая мощность станции помех равна 15 Вт, длина волны равна 35 см; коэффициент усиления передающей антенны равен 100, а приемной антенны также равен 100. Высота передающей антенны, равна 80 м, высота приемной антенны равна 20 м, расстояние между антеннами равно 8 км. Считать, что радиоволны распространяются над сухой почвой (относительная диэлектрическая проницаемость равна 4, удельная проводимость равна 0,001 см/м). Поляризация вертикальная.

*Ответ:*  $E_{\Pi}=18,9$  мВ/м.

## Список литературы

### Основная литература:

1. Защита от радиопомех. Под ред. Максимова М.В.-М.: Связь, 1996.-496с.
2. Канащенков А.И., Меркулов В.И. Защита радиолокационных систем от помех. Состояние и тенденции развития. – М.: Радиоэлектроника, 2003. – 416 с.
3. Седельников Ю.Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Учеб. Пособие. – Казань. ЗАО «Новое знание», 2006. – 304 с.
4. Лей Э. Цифровая обработка сигналов для инженеров и технических специалистов. Практическое руководство. / пер. с англ. – М.: «Группа ИДТ», 2007. – 335 с.
5. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи / пер. с англ. // Сост. Дональд Р.Ж. Уайт – М.: Сов. радио, 1977, Т. 1 – 348 с.; 1978, Т.2 – 272 с.; 1979, Т. 3 – 464 с.

## Дополнительная литература:

1. Телекоммуникационные системы и сети. В 3-х т. Т.2. Радиосвязь, радиовещание и телевидение / Под ред. В.П. Шувалова. – Горячая линия–Телеком, 2004. – 672 с.
2. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.
3. Айчфишер Э.С., Барри У.Д. Цифровая обработка сигналов. Практический подход / пер. с англ. — М.: Изд. дом “Вильямс”, 2009. – 987 с.
4. Князев, А.Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. – М.: Радио и связь, 1984. – 336 с.
5. Атражев, М.П. Борьба с радиоэлектронными средствами /М.П. Атражев, В.А. Ильин, Н.П. Марьин. – М.: Воениздат, 1972. – 272 с.
6. ГОСТ 30338-95. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Устройства радиопередающие всех категорий и назначений народнохозяйственного применения. Требования к допустимым отклонениям частоты. Методы измерения и контроля.
7. Вакин, С.А. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки / С.А. Вакин, Л.Н. Шустов. – М.: Сов. радио, 1968. – 448 с.
8. Блэттнер, Д. Методы радиопротиводействия / Д. Блэттнер // Зарубежная радиоэлектроника. – 1960. – №4. – С. 14–20.
9. Ковит, Д. Методы и техника радиопротиводействия и борьбы с ним / Д. Ковит [и др.] // Зарубежная радиоэлектроника – 1966. – №1. – С. 3–31.
10. Палий, А.И. Радиоэлектронная борьба. – М.: Воениздат, 1981. – 320 с.
11. Родионов, Я.Г. Выбор моментов времени сторон в игровых задачах помехозащиты радиосистем / Я.Г. Боголюбов // Изв. вузов. Радиоэлектроника, 1978, №7 – С. 111–113.
12. Харкевич, А.А. Борьба с помехами. – М.: Физматгиз, 1963. – 275 с.
13. Шлезингер, Р. Радиоэлектронная война / пер.с.англ. – М.: Воениздат, 1963. – 315 с.
14. Репин, В.Г. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем / В.Г. Репин, Г.П. Тартаковский. – М.: Сов. радио, 1977. – 432 с.
15. ГОСТ 30338-95. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Устройства радиопередающие всех категорий и назначений народнохозяйственного применения. Требования к допустимым отклонениям частоты. Методы измерения и контроля.

16. ГОСТ 23872-79. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Номенклатура параметров и классификация технических характеристик.
17. Уидроу, Б. Адаптивные компенсаторы помех. Принципы построения и применения / Б.Уидроу [и др.] // ТИИЭР. – 1975. – Т. 63. – №12. – С. 69–98.
18. Ремизов, Л.Т. Естественные радиопомехи. – М.: Наука, 1985. – 200 с.
19. Уидроу, Б., Адаптивная обработка сигналов / Б. Уидроу, С. Стирнс; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.
20. Грудинская Г.П. Распространение радиоволн. – М.: Высшая школа, 1987. – 244 с.

## **Заключение**

Магистратура, как форма образования, следующая за бакалавриатом, в служит для дальнейшего обучения на основе знаний, полученных при обучении бакалавров. По роду из будущей работы особо актуальными являются знания принципов работы основных типов оборудования, и методов подавления помех, используемых в радиотехнике. Это необходимо для понимания принципов работы оборудования, его особенностей, а также текущих и принципиально достижимых возможностей.

В связи с этим приобретает принципиальную важность научной подготовки магистров, получение ими фундаментальных знаний по различным направлениям науки, которые в дальнейшем помогут внедрять и осваивать наиболее современные виды оборудования.

Магистрант в процессе обучения должен освоить методы использования соответствующей справочной литературы и других источников технической информации, включая электронные источники, а также принципов классификации радиоэлектронных деталей различных видов и технические ограничения их параметров.

При выполнении лабораторных работ наряду с теоретическими знаниями студенты приобретут соответствующие практические навыки.

Тематика и содержание работ актуальны и необходимы работникам различных научно-практических организаций и предприятий, в том числе предприятий ОПК.