

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Военный факультет

Кафедра связи

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ ВОЕННОЙ СВЯЗИ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением вузов
Республики Беларусь по военному образованию в качестве
учебно-методического пособия для курсантов, обучающихся
по направлению специальности «Инфокоммуникационные технологии
(системы телекоммуникаций специального назначения)»*

Минск БГУИР 2017

УДК 355:621.39(076)
ББК 68.4я73+32.88я73
Э94

Авторы:

И. О. Мачихо, А. В. Кашкаров, Е. А. Масейчик, С. В. Романовский

Рецензенты:

кафедра управления органами пограничной службы факультета №1
государственного учреждения образования «Институт пограничной службы
Республики Беларусь» (протокол №18 от 19.05.2016);

начальник штаба управления связи Генерального штаба Вооруженных Сил
Республики Беларусь, первый заместитель начальника связи Вооруженных Сил
Республики Беларусь, полковник О. Н. Коршак

Э94 **Эффективность** системы военной связи : учеб.-метод. пособие /
И. О. Мачихо [и др.]. – Минск : БГУИР, 2017. – 102 с. : ил.
ISBN 978-985-543-295-2.

Содержит информацию для изучения вопросов оценки эффективности систем
военной связи.

Предназначено для курсантов и студентов, обучающихся по дисциплине
«Организация связи и боевое применение узлов и линий связи».

УДК 355:621.39(076)
ББК 68.4я73+32.88я73

ISBN 978-985-543-295-2

© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Предназначение, роль и место системы военной связи.....	5
2. Основы оценки эффективности функционирования систем военной связи ...	15
3. Радиоподавление и радиоэлектронная защита систем военной связи.....	19
4. Оценка эффективности радиоподавления радиосвязи	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	79
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Примеры номограмм для определения радиоразведки и радиоподавления УКВ-линий радиосвязи	80
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Номограммы для КВ-связи	81
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 Формулы и графики для расчета информационных показателей эффективности радиоподавления дискретных и аналоговых каналов связи.....	82
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ.....	95
ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	97
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	101

ВВЕДЕНИЕ

Материальной основой управления является связь. От качества, технологического уровня развития, подготовки специалистов связи напрямую зависит успех любой операции. При планировании боевых действий одно из главных мест занимают вопросы управления и организации связи. На текущем этапе развития войска связи представляют собой совокупность частей и подразделений связи, которым вполне под силу решать задачи управления в современном бою в рамках всех Вооруженных Сил.

На современном этапе развития средств вооруженной борьбы изменилось содержание работы командиров и штабов, повысились требования к обоснованности принимаемых решений, своевременности и качеству планирования боя (операции), возросла потребность в максимально точном предвидении развития обстановки, резко обострилась борьба за упреждение противника в действиях. При данных условиях управление войсками и оружием становится важнейшим фактором в достижении победы в бою, ведь больше половины потерь потенциальных возможностей обусловлено низким уровнем управления. К тому же при значительной стоимости новых видов оружия и военной техники повышать уровень боевой мощи Вооруженных Сил экономически целесообразней не путем количественного наращивания систем вооружения, а посредством роста качества управления силами и средствами.

В связи с этим повышение эффективности системы управления необходимо рассматривать как один из основных способов увеличения суммарного боевого потенциала войск. Система связи является одним из элементов системы управления, а военная связь является материальной основой управления. Следовательно, для повышения эффективности управления необходимо качественно развивать и совершенствовать систему военной связи.

1. ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ, РОЛЬ И МЕСТО СИСТЕМЫ ВОЕННОЙ СВЯЗИ

В современных условиях состояние управления в системах военного назначения (СВН) справедливо расценивается как один из важнейших показателей боевой мощи и боевой готовности Вооруженных Сил Республики Беларусь, уровня их организационного и технического совершенства. Это связано с тем, что реальное соотношение сил воюющих сторон в ходе боевых действий определяется не столько потенциальными, сколько реализованными боевыми возможностями противостоящих группировок, а степень реализации последних находится в прямой зависимости от эффективности управления войсками (силами).

Основной целью военных телекоммуникационных систем является создание единого автоматизированного механизма, который обеспечивает государственное и военное управление.

Задачами военных телекоммуникационных систем являются:

- создание универсальной среды, предоставляющей универсальные услуги связи в интересах всех подразделений и воинских частей;
- обеспечение гарантированного уровня информационной безопасности при оказании телекоммуникационных услуг.

Современные системы управления войсками (силами) относятся к классу организационно-технических систем, т. е. с одной стороны, они должны рассматриваться как совокупность взаимосвязанных и согласованных между собой технических элементов (средств, комплексов связи и автоматизации), с другой стороны, как организационно объединенный в воинские формирования личный состав, т. е. совокупность взаимосвязанных должностных лиц, совершающих согласованные действия. В соответствии с этим организационно-техническое построение системы управления разбивается на две части:

- техническое построение как совокупность взаимодействующих и сгруппированных технических средств для согласованной работы по выполнению задач технического (технологического) управления;
- организационное построение как совокупность взаимодействующего и объединенного в постоянные или временные подразделения личного состава для согласованной работы по выполнению задач организационного (оперативного) управления [1].

Причем, как и в любых организационно-технических системах, определяющая роль в управлении принадлежит человеку, т. е. организационному управлению.

В связи с указанным, с общесистемных позиций управление в организационно-технических системах представляет собой процесс осуществления прежде всего информационных воздействий на объекты управления для формирования их целенаправленного поведения. В этом определении необходимо обратить внимание на то, что при управлении организационно-техническими системами важнейшая роль принадлежит информационным воздействиям,

т. е. главное для осуществления собственно самого процесса управления – это наличие или отсутствие информации, а также ее ценность.

Необходимо отметить, что для любых организационно-технических систем, независимо от их природы и назначения, присущ ряд следующих характерных особенностей:

- в сохранении системы как целого решающая роль принадлежит информационным связям. Без обмена информацией между составляющими элементами такие системы не могут функционировать. При этом ослабление или потеря информационных связей между элементами системы неизбежно приводит к разрушению всех других связей и, как следствие, к распаду (разрушению) самой системы;

- системы способны переходить в различные состояния в соответствии с управляющими (информационными) воздействиями. Причем эти переходы не могут быть осуществлены мгновенно, а требуют какого-то времени;

- существует несколько доступных линий поведения системы, из которых орган управления выбирает наиболее предпочтительную по тем или иным критериям. Если же возможности выбора лучшей линии поведения нет, то управление теряет смысл, т. е. фактически отсутствует;

- для таких систем характерны определенные структуры, отражающие контуры управления (пути, по которым циркулирует информация в системе);

- процесс функционирования этих систем отличается целенаправленностью. Если цель не определена (или неизвестна), то, естественно, управление становится бессмысленным.

Системы являются открытыми для внешнего воздействия, т. е. влияние окружающей среды на них может иметь самые различные природу и последствия.

Помимо указанных, для систем военного назначения присущи также некоторые специфические особенности, важнейшие из которых могут быть сформулированы следующим образом:

- СВН по своей сути предназначены для функционирования в конфликтных ситуациях, ибо вооруженная борьба представляет собой достаточно сложный двухсторонний процесс, в котором каждая из противоборствующих сторон стремится уничтожить другую сторону. Во время боевых действий все элементы СВН подвергаются различным видам воздействия со стороны противника (огневому, радиоэлектронному, информационному и т. д.), что, как правило, приводит к нарушению функционирования как составляющих систему элементов, так и системы в целом;

- СВН должны функционировать, как минимум, при различных состояниях внешней среды: одно состояние соответствует мирному времени, другое – военному (боевым действиям). При этом управление войсками (силами) и оружием в мирное время направлено на то, чтобы обеспечить поддержание необходимой степени боевой готовности войск (сил) к

выполнению боевых задач, а в военный период, чтобы, безусловно, выполнить боевые задачи;

– информация, на основе которой вырабатываются управляющие воздействия, отличается значительной неполнотой, недостоверностью и противоречивостью. Причиной этому является то, что в конфликтных ситуациях стороны будут стремиться не допустить получение противником информации о своем состоянии и намерениях, а также нарушить или затруднить (исказить) информационный обмен в системе управления противоборствующей стороны.

Необходимо отметить, что понятие «управление» используется давно и значение его воспринимается достаточно интуитивно. Однако ему придают различный смысл и применяют в ситуациях различной степени сложности. Вместе с тем, где бы ни протекали процессы управления при управлении СВН, в управляющих устройствах автоматических систем, в нервной системе человека, в экономических и других структурах общества, они подчиняются единым законам. Эти наиболее общие законы управления системами различной природы изучает наука об управлении – кибернетика.

С позиций кибернетики любая управляемая система, независимо от ее физической природы, имеет структуру, включающую управляющий орган (субъект), объект (объекты) управления и информационную систему, обеспечивающую обмен информацией между ними. Система управления представлена на рис. 1.

Совокупность управляющих органов (субъектов) и информационной системы, обеспечивающей их нормальное функционирование, составляют систему управления.

Таким образом, информационная система является неотъемлемой частью системы управления войсками (силами). А поскольку органы управления СВН чаще всего располагаются на пунктах управления, пространственно распределенных в зоне оперативного построения, то и информационная система в общем случае будет представлять собой совокупность распределенных в пространстве технических средств и обслуживающего персонала, выполняющих задачи информационного обеспечения процесса управления войсками и оружием. Такую систему в дальнейшем будем называть военной телекоммуникационной системой (ВТКС).



Рис. 1. Система управления

В свою очередь, в информационных процессах, протекающих в пространственно-распределенных системах управления, всегда можно выделить две сугубо отличающиеся по целям и выполняемым задачам компоненты:

– процессы доставки информации от одного субъекта (пункта) управления;

– процессы обработки, преобразования и использования полученной информации при решении управленческих задач.

В соответствии с этим, при решении задач анализа и синтеза ВТКС, как правило, всегда представляется совокупностью двух взаимоувязанных подсистем: системы связи (телекоммуникации) военного назначения (ССВН), обеспечивающей процесс доставки (обмена) информации между субъектами системы управления, и системы обработки информации (СОИ), обеспечивающей преобразование информации к заданному виду, ее хранение и использование в процессе управления.

В наиболее общем виде процесс управления в системе (см. рис. 1), может быть представлен следующим образом.

Субъект управления по каналам ВТКС получает информацию о состоянии управления и внешней среды (информация состояния). На основе целей и информации состояния субъектом управления вырабатывается управляющее воздействие (командная информация), определяющее новое состояние объекта управления, в которое он должен перейти при приближении системы к цели. Командная информация передается через ВТКС объекту управления, который, восприняв эту информацию, выполняет предписанные ему действия.

Так как система функционирует в некоторой среде, являющейся источником возмущений (помех), а в работе элементов системы возможны ошибки, то новое состояние объекта управления не всегда будет совпадать с желаемым.

Поэтому, наряду с выполнением предписанных действий, объект управления передает управляющему органу информацию о своем состоянии практически постоянно.

Совокупность описанных выше мероприятий по управлению принято называть циклом управления. Циклы могут различаться по продолжительности и содержанию. Выполняя цикл за циклом, система постепенно приближается к цели своего функционирования.

Конечно, рассмотренная схема функционирования системы управления является весьма упрощенной и идеализированной. Идеализация прежде всего, заключается в том, что в реальных системах разделение процесса управления на последовательность более простых процессов не всегда оправдано. Так, сбор данных об обстановке продолжается и в период выработки решения, а до того,

как будет принято решение, довольно часто отдаются предварительные распоряжения [1].

В реальной системе управления субъекты и объекты управления сами представляют собой сложные системы, но и нередко выступают как элементы других, еще более сложных систем. Управляющий орган связан обычно с несколькими объектами управления, между которыми существует разделение функций. В свою очередь, сам он выступает как объект управления для вышестоящего органа данной системы.

Кроме того, т. к. вооруженная борьба представляет собой процесс противоборства как минимум двух сторон, управление должно рассматриваться как целенаправленное воздействие, по крайней мере, двух подсистем управления, стремящихся распространить управляющие воздействия друг на друга.

Под *своевременностью информационного обмена* понимают способность информационной системы обеспечивать доставку и обработку всех видов информационного обмена. Важнейшими из таких характеристик являются: своевременность, достоверность и безопасность информационного обмена.

Под *своевременностью информационного обмена* понимают способность информационной системы обеспечивать доставку и обработку всех видов информации между управляемыми объектами в заданные сроки. Количественной мерой у этой способности является время нахождения сообщений определенного вида в информационной системе, включающее время на доставку и обработку. Из-за большого числа случайных факторов, воздействующих на информационную систему, реальное время нахождения сообщений в ней будет также случайно. Поэтому за показатель своевременности информационного обмена принимают вероятность нахождения сообщения в информационной системе в течение времени, не превышающего допустимого.

Как отмечено ранее, согласно модели (см. рис. 1), военную телекоммуникационную систему, входящую в состав системы управления, можно представить совокупностью двух взаимосвязанных подсистем: системы связи военного назначения (ССВН), обеспечивающей доставку информации между органами управления, и системы обработки информации (СОИ), обеспечивающей преобразование и использование информации в процессе управления. С учетом этого на практике показатель своевременности часто представляют совокупностью двух показателей: своевременности доставки сообщений ССВН и своевременности обработки информации СОИ.

Под *своевременностью доставки сообщений ССВН* при этом понимают вероятность того, что время пребывания сообщений заданного вида в ССВН не превысит допустимого, а под *своевременностью обработки информации в СОИ* – соответственно вероятность того, что время обработки информации не превысит допустимого. Причем под временем обработки информации понимается период от получения объектом управления информации состояния до выработки управляющего воздействия (командной информации).

Своевременность информационного обмена является одним из важнейших факторов, существенно влияющих на оперативность, устойчивость и непрерывность управления войсками.

Под *достоверностью информационного обмена* обычно понимают способность информационной системы обеспечивать требуемую точность воспроизведения сообщений в пунктах доставки, а также сохранять эту точность при преобразовании информации.

Поскольку, как отмечалось ранее, системы управления войсками (силами) относятся к классу систем, в которых главным пользователем информации является человек (лицо, принимающее решение (ЛПР)), то понятие «точность воспроизведения информации» носит в общем случае субъективный характер, т. к. зависит от степени восприятия той или иной информации конкретным субъектом. В связи с указанным отыскать некоторую объективную меру точности воспроизведения информации весьма трудно.

В настоящее время при оценке точности воспроизведения сообщений, представляемых в аналоговом виде, например речевой информации, используют понятие слоговой разборчивости, точности видеоинформации – визуальной разборчивости.

При оценке точности воспроизведения сообщений дискретного вида широко используют понятие потерь достоверности, под которым понимают вероятность ошибочного приема элементарного символа (буквы, знака) сообщения. За показатель достоверности в данном случае целесообразно принять вероятность того, что число ошибок в сообщении не превысит допустимое значение.

Достоверность информационного обмена весьма существенно влияет на такие свойства процесса управления, как адекватность и устойчивость.

Под *безопасностью информационного обмена* в общем случае понимают способность информационной системы обеспечить скрытие факта, времени и места передачи информации, ее предназначения и содержания, а также противостоять вводу ложной информации. Как видно из данного определения, безопасность является интегральной характеристикой и поэтому может быть оценена комплексным показателем.

В настоящее время для оценки безопасности информационного обмена широко используются понятия скрытности и имитостойкости. Ввиду того что любая информация, циркулирующая в системе управления, обладает оперативной ценностью лишь определенное (допустимое) время, после которого она становится бесполезной, за показатель скрытности информационной системы обычно принимают вероятность того, что время вскрытия информации окажется не меньше допустимого значения [1].

За показатель имитостойкости обычно принимают вероятность отсутствия ложной информации в информационной системе.

Обеспечение своевременности, достоверности и безопасности информационного обмена в системах управления является главной целью функционирования ВТКС. Достижению этой цели должно уделяться основное

внимание на всех этапах жизненного цикла информационных систем: формулирования требований, разработки, создания и эксплуатации.

Возрастание роли информационных систем в современных системах управления войсками и возможностей по информационному воздействию на системы управления противника привели к необходимости введения понятия информационного противоборства как одной из важных составляющих вооруженной борьбы.

В настоящее время *информационное противоборство* формулируется как система согласованных мероприятий и действий войск по дезорганизации или нарушению военного управления противника, защите системы управления своих войск, завоеванию информационного превосходства над противником при подготовке и в ходе военных действий.

В условиях информационного противоборства второй не менее важной целью функционирования информационных систем является снижение своевременности, достоверности и безопасности информационного обмена в противоборствующей системе до уровня, приводящего к срыву (потере) управления.

В соответствии с этим содержание информационного противоборства включает две составные части, которыми охватывается вся совокупность действий, позволяющих достичь информационного превосходства над противником. Информационное противоборство представлено на рис. 2. Первой составной частью служит противодействие информационному обеспечению управления войсками противника (информационное противодействие). Оно включает мероприятия по нарушению конфиденциальности оперативной информации, внедрению дезинформации, блокированию добывания, обработки и обмена информацией (включая физическое уничтожение носителей информации) и блокированию фактов внедрения дезинформации на всех этапах информационного обеспечения управления противника.

Вторую часть составляют мероприятия по защите информации, средств ее хранения, обработки, передачи и автоматизации этих процессов от воздействий противника (информационная защита), включающие действия по деблокированию информации (в том числе защиту носителей информации от физического уничтожения), необходимой для решения задач управления и блокированию дезинформации, распространяемой и внедряемой в систему управления. Конечная цель информационного противоборства состоит в достижении информационного превосходства над противником, т. е. такого положения в информативности своих органов управления войсками, при котором они обеспечены более полной, точной, достоверной и своевременной информацией об обстановке, чем соответствующие органы управления противника. Информационное противодействие осуществляется путем проведения комплекса мероприятий, включающих техническую разведку систем связи и управления, перехват передаваемой по каналам связи оперативной информации, мероприятий по дезинформации, радиоэлектронное

и огневое подавление информационных систем противника. Информационная защита включает мероприятия по контрольной разведке (доразведке), проверке информации, защите от огневого поражения (захвата) элементов информационных систем, а также по радиоэлектронной защите. В неавтоматизированных системах управления войсками обмен информацией осуществлялся, как правило, непосредственно между должностными лицами, т. е. весь процесс передачи, обработки и хранения информации находился под контролем человека-оператора. Это существенно снижало эффективность информационного противодействия.

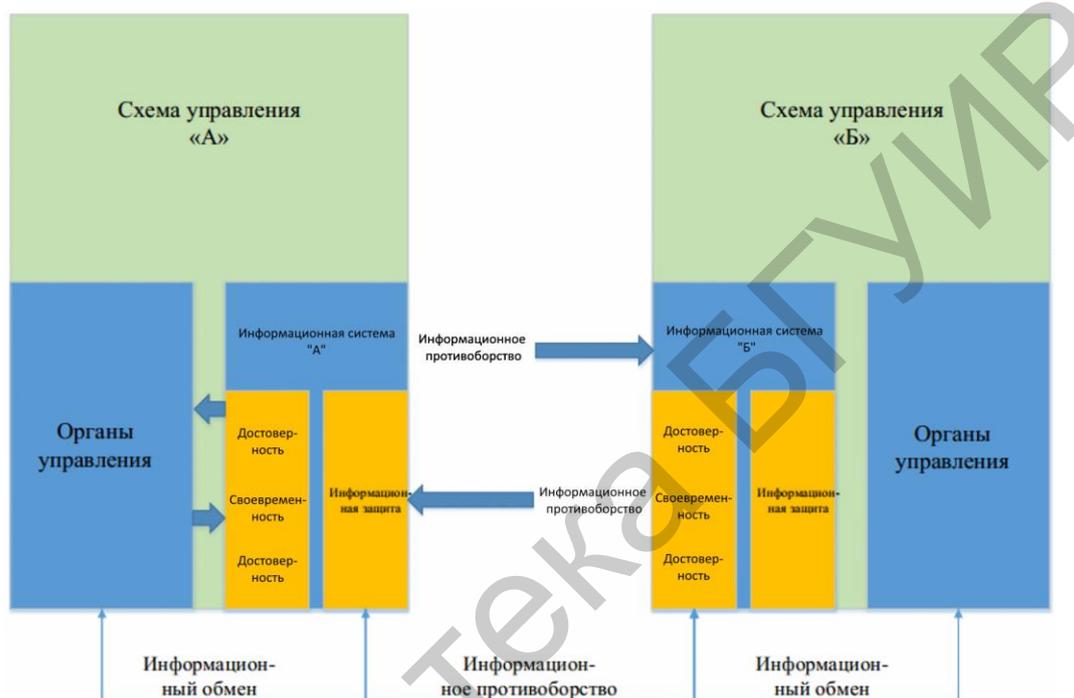


Рис. 2. Информационное противодействие

Автоматизация процессов управления, ее внедрение во все уровни и сферы государственной, экономической и военной деятельности неизбежно приводят к снижению подконтрольности человеку отдельных частей информационного процесса, а следовательно, к возрастанию роли информационного противодействия [1].

Факт ведения и последствия информационной борьбы не всегда очевидны для того, против кого она направлена. Другая сторона может не догадываться о том, что является объектом информационного воздействия, особенно если она существенно отстает в уровне развития теории и практики информационной борьбы [2].

Другой закономерностью является необходимость упреждающего решения информационной борьбы по отношению к боевым задачам операции (боя). Это обусловлено прежде всего первостепенной ролью информации в управлении войсками и оружием.

Другими словами, только после завоевания информационного превосходства могут эффективно решаться задачи завоевания боевого превосходства в воздухе и на земле.

Очевидно, что для решения задач информационного противоборства должны быть выделены определенные ресурсы, силы и средства информационной борьбой, которые составляют основу так называемого информационного потенциала [3]. Информационный потенциал характеризуется также уровнем автоматизации управления войсками, участвующими в операции (бою), и отражает степень их способности к захвату и удержанию информационного превосходства над противником.

Можно выделить еще одну закономерность – в информационном противоборстве выигрывает сторона, обладающая большим информационным потенциалом.

Поскольку в настоящее время в подавляющем большинстве случаев основу всех информационных систем, особенно систем связи военного назначения, составляют радиоэлектронные средства, то одной из важнейших составляющих информационной борьбы является радиоэлектронная борьба (РЭБ),

т. е. разновидность информационной борьбы, цели которой достигаются путем воздействия на радиоэлектронные средства (РЭС).

Примерная классификация важнейших составляющих информационной защиты системы управления войсками и их взаимосвязей представлена на рис. 3.

В последующих разделах будут подробно рассмотрены методы расчета показателей помехозащищенности и принципы построения систем радиоэлектронного подавления.

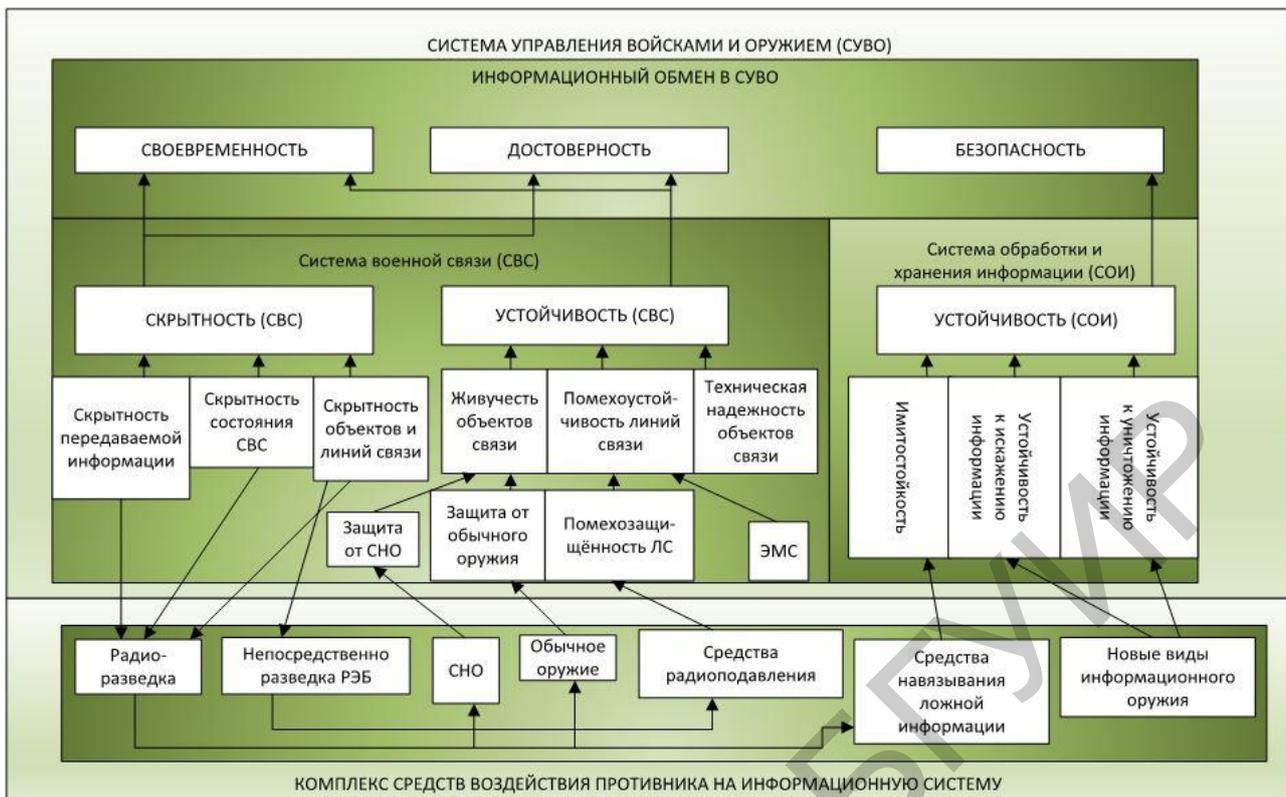


Рис. 3. Информационная защита системы управления войсками

2. ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОЕННОЙ СВЯЗИ

Эффективность функционирования системы военной связи рассматривается как мера обобщенного (интегрального) свойства, характеризующая степень ее соответствия своему предназначению. Эффективность отражает качество функционирования системы связи в данных условиях обстановки и показывает, насколько успешно решаются задачи связи в операции (бою).

Оценка эффективности системы (сети) связи имеет целью:

- прогнозирование основных показателей системы военной связи;
- определение степени соответствия системы военной связи предъявляемым требованиям (выявление «узких мест»);
- выбор рационального варианта структуры системы военной связи и его оптимизация;
- оценку качества функционирования действующей системы военной связи для принятия мер по повышению ее эффективности.

Отсюда видно, что для разрабатываемой системы военной связи оценка эффективности сводится в основном к определению ее возможностей и выявлению степени их соответствия предъявляемым требованиям. Поэтому задача оценки эффективности в общем виде состоит в определении значений необходимых показателей (параметров) системы военной связи, их сравнении с требуемыми и обобщению полученных результатов. Следовательно, задача оценки эффективности есть одна из задач анализа системы военной связи (системного анализа).

Исходя из целей и задач оценки эффективности системы военной связи, к ней предъявляются следующие общие требования:

1. *Всесторонность (полнота) оценки.* Необходимость этого требования диктуется задачами глубокого обоснования принимаемых решений по построению системы военной связи. Из общих положений теории эффективности известно, что для сложной системы, какой является и система военной связи, оценка ее эффективности по одному показателю (свойству) недостаточна. Поэтому оценка эффективности функционирования такой системы должна быть комплексной, учитывающей ее различные свойства.

2. *Объективность результатов оценки.* Результаты оценки эффективности должны отражать способность системы военной связи выполнять задачи связи в данных условиях обстановки. Поэтому ее оценка должна базироваться на достоверных исходных данных.

3. *Сравнимость результатов оценки эффективности с требованиями, предъявляемыми к системе военной связи.* Это означает, что показатели оценки эффективности и показатели, по которым предъявляются требования к ней, должны быть одни и те же.

Оценка эффективности системы военной связи может осуществляться на различных этапах ее синтеза (построения) и функционирования. Поэтому

основными этапами оценки эффективности ее функционирования являются:

1) оценка эффективности функционирования элементов (объектов) системы военной связи;

2) оценка эффективности функционирования каждой составной части системы военной связи;

3) оценка эффективности функционирования системы военной связи в целом.

Одним из важных и ответственных вопросов оценки эффективности является *выбор показателей и определение критериев*. Учитывая предъявляемые требования, в результате оценки эффективности желательно получить обобщенную характеристику (показатель), отражающую все структурные и функциональные свойства системы военной связи. Однако создать математическую модель для расчета такого показателя, отражающего все многообразие свойств системы (элемента, сети) в динамике их функционирования пока не представляется возможным. К тому же свойства связи и системы связи чрезвычайно разнородны, противоречивы относительно изменений параметров системы и внешних условий ее функционирования и требуют, как правило, построения своих моделей для расчета. Вследствие этого не принесли успеха также попытки введения для системы военной связи обобщенного показателя путем свертки показателей различных свойств и использования весовых коэффициентов. Именно поэтому считается, что комплексная всесторонняя и объективная оценка эффективности этой системы военной связи, а также ее элементов может быть осуществлена с помощью *системы показателей и критериев*.

Для каждого этапа (уровня) оценки эффективности и типа рассматриваемых систем связи, их частей и элементов возможна своя система показателей, включающая обычно основной и дополнительные показатели. При выборе основного показателя целесообразно исходить прежде всего из основного предназначения системы военной связи – передачи необходимых потоков информации, основным показателем эффективности которой может быть объем своевременно переданных сообщений $\lambda_{\text{исп}} [P(t_{\text{cc}} < t_{\text{тр}})]$, или вероятность своевременной передачи сообщений $P(t_{\text{cc}} < t_{\text{тр}})$, где P – вероятность своевременной передачи сообщений; t_{cc} – время нахождения сообщений в системе связи; $t_{\text{тр}}$ – требуемое время нахождения в системе связи.

Так как в существующих некоммутируемых системах связи процесс передачи информации представляет собой совокупность независимых операций по передаче сообщений на направлениях связи, то указанные показатели рассчитываются для каждого направления связи, а оценка эффективности существующих систем военной связи сводится к оценке совокупности отдельных направлений связи.

Выбор в качестве основного показателя вероятности своевременной передачи сообщения более предпочтителен для оценки систем связи, по которым передаются важные, поступающие с невысокой интенсивностью сообщения (например, в системах оповещения). Вместе с тем, этот показатель в

определенной степени характеризует возможности системы военной связи на направлении, т. к. рассчитывается с учетом всего поступающего потока сообщений. Поэтому он часто используется для оценки функционирования перспективных системы военной связи. Для оценки эффективности планируемых и действующих систем связи основным показателем чаще выбирают показатель пропускной способности – объем $\lambda_{исп} [P(t_{cc} < t_{тр})]$, или долю своевременно переданного потока сообщений (долю исполненной нагрузки), которая определяется по формуле $W_{cc} = \lambda_{исп} / \lambda_{тр}$, где $\lambda_{тр}$ – ;

Дополнительными показателями при оценке эффективности функционирования могут быть показатели других свойств системы (элемента, сети) военной связи, которые наиболее характерны для данного вида операции (боя), условий ее проведения и которые не учтены при расчете основного показателя. В соответствии с наиболее распространенной в настоящее время концепцией «эффект – затраты» в качестве дополнительных показателей прежде всего используются показатели затрат сил ($U_{лс}$), средств ($R_{тс}$) и времени (T_p) на обеспечение требуемого качества функционирования системы (элемента, сети и т. п.). Кроме того, в качестве дополнительных показателей могут использоваться показатели боевой готовности, устойчивости, мобильности, разведзащищенности, управляемости и др. Выбор этих показателей осуществляется с учетом уровня оценки, предназначения элемента (сети) и особенностей его функционирования.

Расчет показателей оценки эффективности системы, ее элементов и частей производится на основе использования различных моделей. Наиболее широко распространены для этой цели вероятностные модели двух типов: аналитические и статистические. Аналитические модели, в основе которых используются различные математические соотношения, применяются для расчета показателей устойчивости, мобильности, экономичности и других свойств системы и ее элементов. Для расчета показателей своевременности, достоверности связи, пропускной способности, разведзащищенности разработаны и применяются статистические модели. Причем для расчета некоторых показателей имеются как аналитические, так и статистические модели. Например, для расчета $P(t_{cc} < t_{стр})$ выбор конкретной модели производится исходя из цели расчета, анализа положительных сторон и недостатков модели, требуемой степени точности расчетов, наличия времени и учета других факторов. Так, статистические модели требуют значительных ресурсов машинного времени и используются, как правило, при исследовании перспективных систем военной связи.

В соответствии с выбранной моделью осуществляется подготовка необходимых исходных данных для расчета каждого показателя. В процессе подготовки необходимых исходных данных проводится анализ условий функционирования системы, ее элементов и составных частей, оценивается состояние элементов, техники связи, запасов материальных средств, их готовности к решению задач и других факторов. На основании анализа

производится расчет отдельных показателей (например, времени вскрытия объектов системы военной связи, прогнозируемых значений их устойчивости с учетом планируемых мероприятий по их защите и др.). Поэтому подготовка достоверных исходных данных вызывает определенные трудности и требует значительных затрат времени. Сокращение времени подготовки исходных данных может быть достигнуто за счет заблаговременной подготовки тех из них, которые не зависят от условий обстановки. При этом целесообразно готовить единые исходные данные (создавать единый банк данных) и использовать его при оценке эффективности как отдельных элементов, сетей, так и системы военной связи в целом. Это позволит более качественно произвести сравнительный анализ различных вариантов построения системы и сетей военной связи.

С использованием полученных результатов оценки эффективности производится также оптимизация выбранного варианта структуры системы (сети) связи. Она проводится, как правило, в соответствии с целевой функцией, т. е. по основному показателю эффективности. Дополнительные показатели выступают при этом в качестве ограничений. Оптимизация проводится путем внесения изменений в структуру отдельных сетей (элементов), способствующих улучшению значений показателей эффективности функционирования системы (сети) связи. При этом после каждой коррекции структуры уточняются исходные данные и производится оценка эффективности системы (сети) связи.

Таким образом, оценка эффективности функционирования системы (сети) связи дает возможность выбора и оптимизации ее наиболее целесообразного варианта. Вместе с тем анализ недостатков существующих методов и моделей расчета различных показателей эффективности показывает, что в целях более глубокой, полной и объективной оценки эффективности необходимо их дальнейшее совершенствование. Особенно это относится к вопросам оценки эффективности системы военной связи в динамике ее функционирования. Например, с учетом влияния управления такой системой (сетью) военной связи, ее восстановлении и др.

3. РАДИОПОДАВЛЕНИЕ И РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ЗАЩИТА СИСТЕМ ВОЕННОЙ СВЯЗИ

Основой успеха при ведении боевых действий является эффективное управление войсками и оружием. Любой цикл управления (рис. 4) включает следующие операции: сбор исполнительным органом информации об обстановке (объекте воздействия); передача ее органу управления; обработка информации, принятие решения и формирование команд; передача команд и информации исполнительному органу; выполнение исполнительным органом полученных команд.

Применительно к процессу управления войсками органом управления является командир, а исполнительным органом – подчиненные; применительно к процессу управления оружием – пункт (устройство) управления и управляемое средство поражения. Содержание процесса управления представлено на рис. 4.

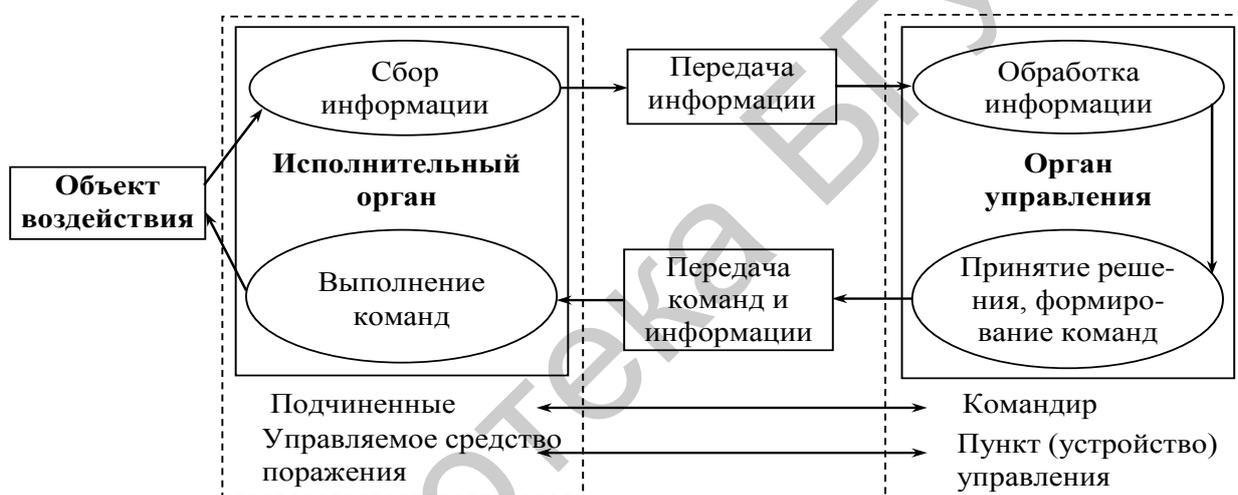


Рис. 4. Содержание процесса управления

Основу процесса управления войсками составляет решение командира, которое принимается на основе полученной боевой задачи и данных о своих войсках и войсках противника. Если поток информации к командиру или подчиненным по каким-либо причинам начнет задерживаться, то процесс управления войсками будет более медленным. При этом действия противника окажутся более эффективными, т. к. он с большей вероятностью будет наносить упреждающие удары. Кроме того, уменьшение на определенном интервале времени количества необходимой командиру информации вызывает увеличение неопределенности о состоянии сил сторон и обстановки в целом, ведет к ухудшению качества принимаемых решений, т. е. к неоптимальности управления. Таким образом, эффективность управления войсками существенно зависит от полноты и своевременности данных, поступающих в органы управления, и команд управления, направляемых в исполнительный орган.

Передача информации осуществляется радиоэлектронными системами управления и связи, которые должны обеспечить ее доставку в заданное время

с допустимыми искажениями в условиях шумов, преднамеренных и непреднамеренных помех. Управление в этих условиях обеспечивается развертыванием разветвленной защищенной системы связи с дублированием каналов передачи информации различными родами связи.

Техническую основу современных систем управления войсками и оружием составляют радиоэлектронные средства, обеспечивающие получение, передачу и обработку информации, необходимой для управления. Однако РЭС присущ ряд отрицательных свойств с точки зрения уязвимости:

- трудность скрытия излучения электромагнитной энергии от радиоэлектронной разведки противника;

- подверженность приемных устройств воздействию помех;

- возможность наведения средств поражения на излучающие РЭС.

Учитывая эти уязвимые свойства РЭС и их важность в процессе управления войсками и оружием, противоборствующие стороны ведут активную радиоэлектронную борьбу, роль которой в современных условиях постоянно возрастает.

Радиоэлектронное поражение (РЭПр) как составная часть РЭБ решает задачи разрушения элементов и узлов РЭС, а также снижения качества их функционирования, делая невозможной или задерживая передачу информации в цикле управления на время, недопустимое для эффективного управления войсками и оружием. Основной вклад в РЭПр в настоящее время вносит радиоэлектронное подавление (РЭП). Однако РЭП располагает значительно меньшим военным ресурсом, чем управление и связь противника (приблизительно в десять раз), поэтому создать симметричную модель общего противоборства РЭС – РЭП не представляется возможным. В связи с этим общая асимметрия противоборства РЭС – РЭП является объективной реальностью. В то же время в некоторые интервалы времени или на отдельных этапах операции (боя) по ряду элементов систем связи и управления возможно создание симметричного антагонистического противоборства РЭС – РЭП. Внезапность и комплексный характер такого противоборства по отдельным объектам также составляют объективную реальность, обусловленную общей асимметрией РЭБ.

РЭП, включает в себя радиоподавление (РП) и оптико-электронное подавление. Далее будет рассматриваться только РП.

Место радиоподавления радиосвязи в РЭП, составные части, цель, задачи и средства радиоподавления радиосвязи представлены на рис. 5.

Радиоподавление подразделяют на РП радиолокации, навигационной аппаратуры потребителей (НАП), радиовзрывателей авиационных и артиллерийских боеприпасов, радиосвязи. При этом РП бортовых РЛС авиации воздействием активными помехами называют термином «РЭБ с самолетными средствами» (сокращенно РЭБ-С), РП наземной, авиационной радиосвязи, радиовзрывателей боеприпасов и НАП – термином «РЭБ с наземными средствами» (сокращенно РЭБ-Н), радиоподавление спутниковой

(космической) радиосвязи – термином «РЭБ с космическими средствами» (сокращенно РЭБ-К).



Рис. 5. Место радиоподавления радиосвязи в РЭП, составные части, цель, задачи и средства радиоподавления радиосвязи

Основная цель РП радиосвязи – нарушение работы средств связи, что, в свою очередь, приведет к ухудшению качества функционирования систем управления войсками и оружием противника, снижению эффективности применения его боевой техники и созданию благоприятных условий для действий своих войск и применения своего оружия.

Указанная цель может быть достигнута путем решения следующих задач:

- задержка передаваемой информации в линии радиосвязи (ЛРС);
- уменьшение пропускной способности системы связи (уменьшение количества передаваемой информации в системе связи за единицу времени).

Для решения задач РП радиосвязи на практике используются различные средства РП: станции и комплексы активных радиопомех радиосвязи, а также малогабаритная техника помех.

3.1. Способы радиоподавления систем радиосвязи

С учетом особенностей объектов РП и обеспечивающих процедуру по распределению имеющегося ресурса помех для выбора способа РП все ЛРС разделяют на две группы:

- работающие на фиксированных частотах;
- с программной (адаптивной) перестройкой рабочей частоты (ППРЧ, АПРЧ).

Способы РП ЛРС на фиксированных частотах заключаются в обеспечении создания прицельных помех на фиксированных частотах объектов РП.

В дальнейшем классификация способов РП будет проводиться по следующим признакам:

- возможность определения индивидуальной (тактической) принадлежности объектов РП;
- распределение пространственного ресурса процесса РП (при возможности пространственной локализации объектов РП);
- распределение частотного ресурса процесса РП;
- распределение временного ресурса процесса РП;
- базирование средства РП;
- способ доставки энергии помехи на вход приемника объекта РП.

Классификация способов радиоподавления и видов помех представлена на рис. 6.

Приведенная классификация способов радиоподавления применима для всех составных частей РП.

Рассмотрим особенности каждого из признаков.

По возможности определения индивидуальной (тактической) принадлежности объектов РП для всей совокупности заданных ЛРС способы РП разделяются на выборочный и групповой. При наличии указанной возможности способ РП называется выборочным. Он предполагает «привязку» ЛРС не только к конкретным корреспондентам, которые индивидуально распознаны, но и к типу узла связи и звена управления противника. Выборочный способ РП является наиболее экономичным с точки зрения требуемой энергетики помех и может считаться оптимальным при РП радиосвязи, выступая в качестве эталона по затратам энергии помех. Однако реализация выборочного способа РП сложна из-за повышенных требований к аппаратуре радиоразведки по объему и точности необходимой информации.

При отсутствии возможности определения индивидуальной (тактической) принадлежности ЛРС требуется увеличение ресурса прицельных помех. Такое увеличение состоит в необходимости РП существенно большего числа ЛРС, чем при выборочном способе. В этом случае способ РП называется групповым.

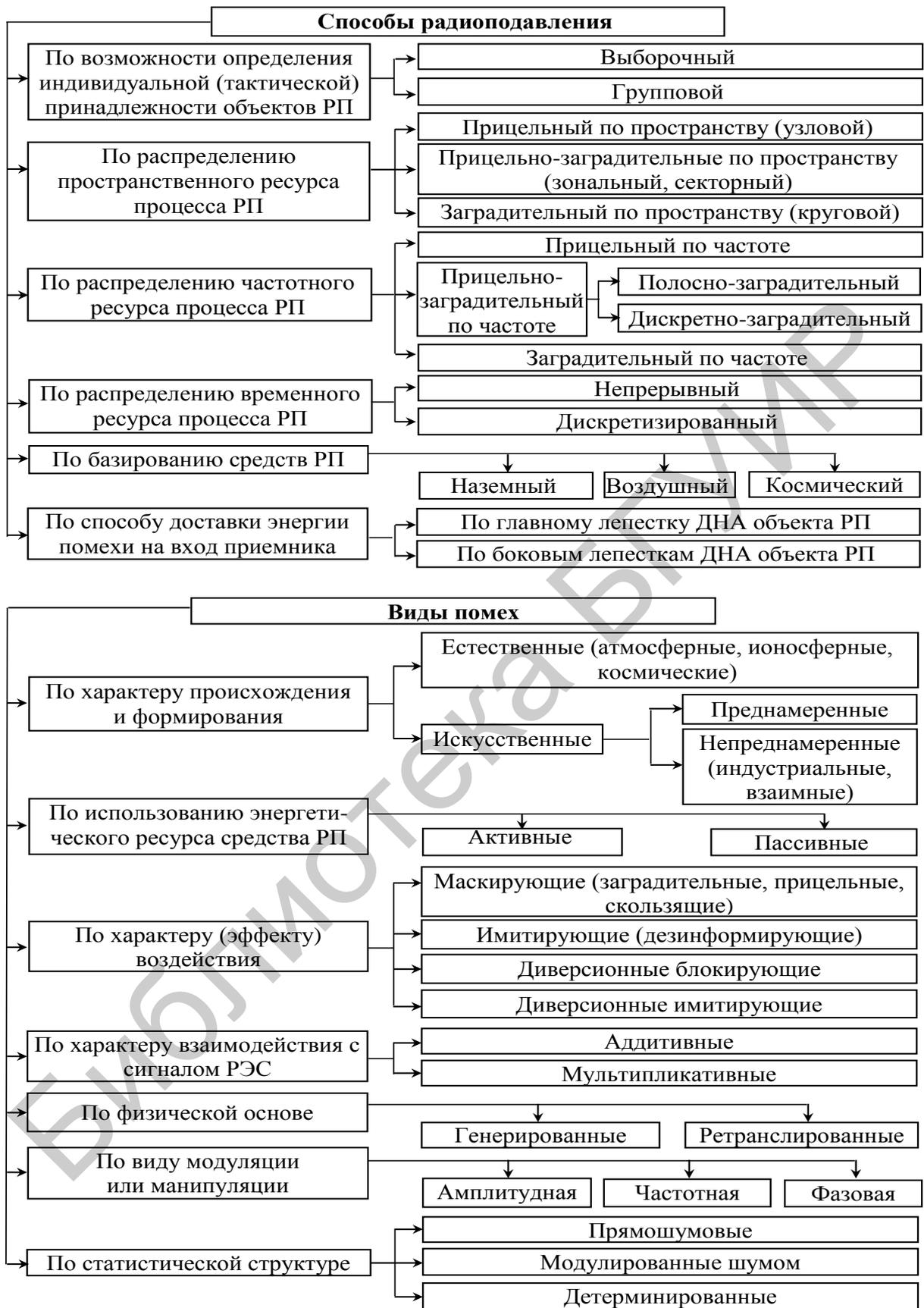


Рис. 6. Классификация способов радиоподавления и видов помех

Способы РП по распределению пространственного ресурса процесса РП различаются наличием или отсутствием возможности и необходимости пространственной локализации объектов РП. Определение местоположения объектов РП может осуществляться средствами радиопеленгования и по результатам видовой разведки.

Прицельный по пространству способ РП (называемый также узловым или объектовым), как правило, используется при наличии точной информации о местоположении конкретного средства радиосвязи или узла связи. В этом случае для его реализации могут использоваться средства РП с узкими диаграммами направленности антенн, что позволяет минимизировать требования к мощности передатчика средства РП.

В случае, если местоположение объекта РП известно приблизительно или он представляет собой совокупность РЭС, распределенных в пределах ограниченного по размеру района, используются прицельно-заградительные по пространству способы РП (зональный, секторный). Для их реализации, как правило, применяются слабонаправленные антенны с широкими диаграммами, обеспечивающими требуемый эффект РП в заданной зоне или секторе.

При отсутствии информации о местоположении объектов РП, а также в случае, когда такая информация не является критической, используется заградительный по пространству способ РП, заключающийся в формировании зоны радиопомех во всех направлениях относительно средства РП. Такой способ нашел применение при использовании забрасываемых на территорию противника передатчиков помех, а также передатчиков помех на беспилотных летательных аппаратах. В этих случаях используются простые в конструктивном отношении антенны с круговой диаграммой направленности.

Способы РП по распределению частотного ресурса процесса РП различаются наличием или отсутствием возможности определения рабочей частоты ЛРС при ее работе на фиксированной частоте, определения совокупности частот, а также программы смены частот при работе сети радиосвязи в режиме ППРЧ.

Прицельный по частоте способ РП заключается в формировании помех на известных номиналах частот. В этом случае применяются помехи, энергетический спектр которых согласован со спектром сигналов в линии связи. Такой способ является наименее энергоемким и потому более предпочтительным.

В случае, когда номиналы рабочих частот точно неизвестны или невозможно вскрыть программу смены частот в режиме ППРЧ, а также если имеются существенные пространственные ограничения по созданию ответных помех, может применяться прицельно-заградительный по частоте способ РП. От прицельного способа он отличается тем, что помеха формируется в полосе частот, существенно превышающей полосу частот (ширину спектра) сигнала (ширину полосы частот приемного устройства объекта РП), но меньшей, чем диапазон рабочих частот средства или системы связи.

При этом:

– если спектр помехи является сплошным и перекрывает некоторую полосу частот в пределах диапазона рабочих частот системы связи, способ РП называется полосно-заградительным по частоте;

– если спектр помехи не является сплошным, а представляет собой совокупность узкополосных помех, перекрывающих такую же часть диапазона рабочих частот, способ РП называется дискретно-заградительным по частоте.

Заградительный по частоте способ РП характеризуется тем, что помеха формируется во всем диапазоне рабочих частот средства или системы связи и используется при отсутствии подсистемы радиоразведки. Этот способ РП при его реализации в станциях помех требует максимальной энергетики средства РП и поэтому считается наименее предпочтительным. Однако простота технической реализации передатчиков заградительных помех, связанная с отсутствием подсистемы радиоразведки, обусловила широкое использование этого способа в забрасываемых передатчиках помех.

Способы РП по распределению временного ресурса процесса РП разделяются на непрерывный и дискретизированный.

При непрерывном способе РП помеха излучается постоянно на одной или нескольких частотах, или в некоторой полосе частот. Для его реализации достаточно информации о факте работы ЛРС или наличии в зоне ответственности средств связи, являющихся объектами РП.

Содержание дискретизированного способа РП заключается в последовательном периодическом излучении помехи на нескольких частотах. Такой способ РП позволяет повысить пропускную способность средства РП. Для его реализации требуется знание рабочих частот подавляемых ЛРС и факта работы на этих частотах. Такая информация может быть получена только при наличии подсистемы радиоразведки.

По базированию средств РП способы РП разделяются на три группы: с использованием наземных, воздушных и космических средств РП.

Наземные средства РП, как правило, используются для радиоподавления линий наземной связи в тактическом звене управления, авиационной связи, спутниковой связи при создании помех приемникам спутников-ретрансляторов.

Воздушные средства РП используются для радиоподавления наземных средств связи на оперативно-тактическую и оперативную глубину. При этом средства РП, установленные на самолетах, вертолетах и дирижаблях, действуют из зон барражирования над своей территорией, а на беспилотных летательных аппаратах – над территорией противника.

Космические средства РП применяются для радиоподавления средств связи противника в стратегической глубине.

По способу доставки энергии помехи на вход приемника различают способы РП, основанные на создании помех по главному и боковым лепесткам диаграммы направленности антенны (ДНА) объекта РП. Учитывая, что в данном случае пространственный фактор является критическим, реализация

этих способов тесно связана с выбором того или иного варианта базирования средства РП. Кроме того, на выбор способа РП существенно влияют характеристики антенны объекта РП. Если объект РП использует слабонаправленную или ненаправленную антенну (в КВ и нижней части УКВ-диапазона длин волн), то возможна реализация способа РП по главному лепестку ДНА. При использовании на объекте РП направленных антенн реализация способа РП по главному лепестку ДНА существенно затрудняется и основным способом РП в этом случае является создание помех по боковым лепесткам ДНА объекта РП.

Рассматривая применимость приведенных способов РП радиосвязи, можно отметить следующее. Способ прицельного по частоте РП линий радиосвязи, работающих на фиксированных частотах, реализован в большинстве существующих средств помех при достаточно большой инерционности смены частоты помехи (время реакции средств помех велико).

Способ заградительного по частоте РП линий радиосвязи реализуется в забрасываемых передатчиках помех, а также в постановщиках помех на летно-подъемных средствах. Способ дискретно-заградительного подавления может быть целесообразен при РП систем связи (совокупности ЛРС) с относительно небольшим количеством рабочих частот. Развитие заградительных и прицельно-заградительных по пространству способов РП осуществляется в направлении их приближения к возможностям выборочного способа подавления, что в первую очередь требует совершенствования средств, аппаратуры радиоразведки и управления, обеспечивающих распределение имеющегося ресурса помех.

При решении задач РП в интересах обеспечения боевых действий своих войск рациональным может быть комбинированное или совместное применение различных способов РП, что должно быть обеспечено соответствующей техникой РП.

Сопоставление способов РП радиосвязи по военным, организационным и техническим аспектам позволяет отметить следующее. Техника РП, реализующая способы выборочного, узлового, прицельного РП радиосвязи, достаточно сложна в разработке, требует объемного и надежного информационного обеспечения и быстродействующего управления в цикле РП, подвержена воздействию помех со стороны противника по радиоканалам внутрикомплексной радиосвязи и приемным устройствам радиоразведки. По этим показателям техника РП, реализующая способы заградительного и дискретно-заградительного подавления, имеет преимущества. Однако реализация этих преимуществ в большинстве случаев связана с обеспечением доставки средств заградительного подавления на территорию противника, значительным расходом таких средств при зональном или секторном способах РП, повышенными (по сравнению с выборочным способом) требованиями по потребному количеству каналов (средств) помех. Применение техники заградительного подавления со своей территории существенно усложняется проблемами электромагнитной совместимости(ЭМС) со своими РЭС и

большим уровнем необходимого энергопотенциала помех.

3.2. Основные виды помех систем радиосвязи

Помехи могут ухудшать прием и затруднять обработку сигналов, вызывать неправильное срабатывание оконечной аппаратуры, вводить в заблуждение операторов или повышать ошибки автоматических устройств. Классификация видов помех, как и способов РП, осуществляется с использованием системы признаков, к которым относятся (см. рис. 6):

- характер происхождения и формирования;
- использование энергетического ресурса средства РП;
- эффект воздействия;
- характер взаимодействия с излучением РЭС;
- физическая основа;
- вид модуляции или манипуляции;
- статистическая структура.

Приведенная классификация видов помех применима для всех составных частей РП.

По характеру происхождения помехи бывают естественными и искусственными.

К *естественным помехам* относятся атмосферные помехи, вызываемые разрядами электричества в нижних слоях атмосферы; ионосферные помехи, являющиеся следствием ионосферных образований; помехи от космических радиоизлучений.

Искусственные помехи разделяются на преднамеренные и непреднамеренные. Преднамеренные помехи формируются с использованием специально созданных источников помех (передатчиков и станций помех) в целях воздействия на процесс функционирования РЭС. Непреднамеренные помехи по источнику возникновения подразделяются на индустриальные и взаимные. Последние являются побочным результатом функционирования пары или группы РЭС в локальном районе. При этом следует отметить, что помехи, создаваемые при работе средства РП другим РЭС своей группировки войск, также относятся к непреднамеренным.

По использованию энергетического ресурса средства РП преднамеренные помехи разделяются на активные и пассивные.

Активные радиопомехи – это преднамеренные помехи, создаваемые энергией источника помех в виде электромагнитного излучения. Воздействуя на радиоприемное устройство, помехи искажают наблюдаемые и регистрируемые оконечной аппаратурой сигналы или изображения, затрудняют или исключают ведение радиопереговоров и обнаружение целей с помощью РЭС, снижают дальность действия средств разведки и точность работы автоматических средств управления (АСУ), вводят в заблуждение операторов. Активные помехи создаются с помощью передатчиков станций помех, настроенных на частоты подавляемых РЭС, специальным образом

модулируемых применительно к объектам подавления. Активные помехи могут также приводить к перегрузке приемных устройств РЭС и вследствие этого к потере полезных сигналов.

Пассивные помехи основаны на использовании энергетического ресурса объекта РП. В качестве пассивных средств РП, как правило, используются дипольные и уголкового отражатели. В соответствии со своим названием они отражают (без усиления) попадающее на них электромагнитное излучение в некотором секторе. Пассивные помехи широко применяются при РП средств радиолокации. Для РП средств радиосвязи пассивные помехи практически не используются.

По характеру (эффекту) воздействия помехи разделяются на маскирующие, имитирующие (дезинформирующие), диверсионные.

Маскирующие помехи – помехи, вызывающие снижение достоверности или задержку в передаче сообщений путем воздействия стохастическими помехами на информационные части сообщений. Маскирующие помехи искажают структуру принимаемых сигналов и затрудняют или полностью исключают возможность выделения в радиоприемном устройстве информации, снижают точность измерения характеристик сигналов. С увеличением мощности помех их маскирующее действие возрастает.

Основным видом маскирующих помех являются шумовые помехи, которые представляют собой электромагнитные колебания с хаотическим изменением амплитуды, частоты и фазы. По своей структуре они близки к внутренним шумам приемных устройств, и поэтому их трудно обнаружить и принять меры к ослаблению влияния на РЭС. Маскировка достигается за счет смешивания шума помехи и сигнала в приемном устройстве, при этом сигнал частично изменяет или теряет характерные для него признаки, а иногда и полностью пропадает.

По соотношению ширины спектра помехи и полезных сигналов (полосы пропускания подавляемого приемника) активные маскирующие помехи подразделяются на заградительные, прицельные и скользящие.

Заградительные помехи имеют ширину спектра частот, во много раз превышающую полосу пропускания подавляемого приемника, что позволяет подавлять одновременно несколько РЭС, работающих на близких частотах, без точного наведения передатчика помех по частоте. Существенным недостатком заградительных помех является то, что лишь незначительная доля мощности помехи, приблизительно равная отношению полосы пропускания приемника подавляемого РЭС к ширине спектра помехи, попадает на его преобразующие элементы. Поэтому для получения необходимой плотности помехи требуется мощный передатчик помех. Под спектральной плотностью помехи понимается отношение мощности помехи к ее полосе частот, т.е. она показывает, сколько мощности передается в полосе частот, равной единице измерения частоты. Умножив ее на полосу пропускания приемника, можно узнать мощность помехи, попадающей в приемник.

Прицельные помехи имеют ширину спектра, соизмеримую (равную или в 1,5...2 раза превышающую) с шириной спектра сигнала, а средняя частота спектра помехи должна совпадать с несущей частотой подавляемого сигнала. Поэтому станции прицельных помех должны иметь быстродействующую аппаратуру обнаружения и анализа сигналов, перестройки и наведения по частоте передатчиков помех в широком диапазоне. Мощность прицельной помехи почти полностью (или полностью) попадает в приемник, поэтому помеха с достаточной эффективностью может быть реализована сравнительно маломощным передатчиком.

Скользящие помехи образуются при быстрой перестройке (плавной или скачкообразной) 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 помехи. При правильном выборе скорости перестройки можно добиться того, что приемник подавляемого РЭС не сможет выделить полезный сигнал.

В определении маскирующих помех косвенно содержится требование обеспечения прицельности по времени приема информационной части сообщения (ИЧС). Однако на практике выполнение этого требования не является строго обязательным, поскольку длительность ИЧС, как правило, всегда превышает длительность служебной части сообщения (СЧС). При этом помехи в основном воздействуют на ИЧС и частично на СЧС.

Имитирующие (дезинформирующие) помехи – помехи в виде используемых в ЛРС сигналов, содержащих ложную оперативную или служебную информацию в целях дезинформации системы управления или системы радиосвязи противника. По структуре они близки к полезным сигналам РЭС и поэтому создают в оконечном устройстве ложные сигналы или отметки целей, подобные реальным, что снижает пропускную способность РЭС, приводит к потере части полезной информации, увеличивает вероятность ложной тревоги, а при воздействии на системы управления оружием срывает автоматическое сопровождение целей по направлению, дальности, скорости или перенацеливает системы на цели, имитируемые помехой.

Дезинформирующие помехи должны иметь полное подобие как по сигнальным характеристикам, так и по построению смысловой информации в ЛРС. Такие помехи должны восприниматься противником как полезная информация. Отсюда следует, что дезинформирующие помехи должны создаваться в большинстве случаев в интервалы времени, когда передача истинной информации в ЛРС противника не производится. Это означает, что при использовании дезинформирующих помех необходимо применять прицельный по времени способ РП.

В случаях, когда реализация прицельного по времени способа РП затруднена или невозможна, то есть истинная передача противника и

дезинформирующая помеха действуют одновременно, целевое назначение последней может реализоваться только при достаточно больших превышениях помехи над сигналом. Дезинформирующие помехи могут применяться для воздействия:

- на одноканальные ЛРС индивидуального пользования тактического звена управления противника;

- на служебные каналы многоканальных ЛРС с частотным уплотнением и систем связи с многостанционным доступом по требованию, когда противником не используется аппаратура закрытия.

Маскирующие помехи не являются единственным типом помех, обеспечивающих задержку или неприем передаваемых сообщений. В современных и особенно перспективных системах и линиях радиосвязи для передачи дискретной информации обязательным элементом является наличие специальных сигналов фазирования и синхронизации, обеспечивающих правильную работу приемных устройств и декодеров оконечной аппаратуры. Целенаправленное воздействие помехами на такие сигналы (синхрогруппы), образующие СЧС, может обеспечить достижение эффектов неприема сообщений и их задержки. В этом случае используются диверсионные помехи, вызывающие снижение достоверности или задержку передачи сообщений путем воздействия на их служебные части, сигналы или посылки. Основными разновидностями диверсионных помех являются блокирующая и имитирующая помехи.

Диверсионная блокирующая помеха – помеха, вызывающая искажение или разрушение сигналов (синхропосылок), содержащих информацию управления процессом приема сообщений. Блокирующая помеха должна приводить к сбою служебных устройств, обеспечивающих правильный прием ИЧС.

Диверсионная имитирующая помеха – помеха в виде сигналов фазирования синхронизации, обеспечивающая введение ложной информации в управление процессом приема сообщений. Такая помеха должна приводить к ложному запуску оконечных устройств приемника таким образом, чтобы прием ИЧС не обеспечивался. Имитирующими помехами могут быть, например, ложные синхрогруппы, поступающие с опережением относительно истинных синхрогрупп.

Основной особенностью применения диверсионных имитирующих помех является необходимость их применения в интервалы времени, когда приемное устройство «ожидает» поступления сообщений. Диверсионные блокирующие помехи, наоборот, должны действовать в интервалы времени, когда происходит прием СЧС. Невыполнение указанных условий прицельности по времени воздействия диверсионных помех приведет к их взаимному «превращению». Целевая направленность и эффективность воздействия диверсионных помех при этом не обеспечивается.

Таким образом, по эффекту воздействия помехи радиосвязи противника представляются следующими четырьмя основными типами: маскирующие,

дезинформирующие, диверсионные блокирующие и диверсионные имитирующие помехи. Применимость перечисленных помех зависит от типов подавляемых линий и систем радиосвязи. Для подавления ЛРС индивидуального пользования возможно применение всех типов помех. Дезинформирующие помехи могут быть применены при отсутствии шифрования передаваемой информации.

Библиотека БГУИР

Диверсионные помехи должны обеспечивать воздействие на служебную часть сообщений, передаваемых в таких ЛРС.

Номенклатура помех системам и линиям радиосвязи коллективного пользования зависит от их класса и типа. Прежде всего следует отметить особенности РП многоканальных ЛРС. С точки зрения командных инстанций противника такие линии являются системами массового обслуживания с закрепленными каналами связи или предоставлением каналов связи по требованию. Однако с позиций РП многоканальные ЛРС имеют фиксированные (по дискретным значениям) радиостволы приема и передачи группового сигнала – переносчика большого количества сообщений.

Вскрытие программы коммутации каналов в целях выделения канала, отведенного данной командной инстанцией противника, и последующего воздействия на этот канал помехами представляется чрезвычайно сложной задачей. Более рационально с позиций РП осуществлять воздействие помехами на весь групповой сигнал. При этом могут быть искажены или задержаны все сообщения, передаваемые по многоканальной ЛРС. Этот эффект до настоящего времени учитывается при РП не полностью.

Для подавления многоканальных ЛРС с частотным уплотнением каналов могут быть применены: маскирующие (по групповому сигналу всех сообщений), диверсионные и дезинформирующие (по служебным каналам) помехи. Применимость последних двух типов помех связана с фиксированным размещением служебных каналов в групповом сигнале. При этом дезинформирующие помехи могут быть применены при отсутствии шифрования служебной информации.

Для подавления многоканальных ЛРС с временным или комбинированным методами уплотнения каналов могут быть применены: маскирующие (по групповому сигналу всех сообщений) и диверсионные (по служебным частям группового сигнала) помехи. Дезинформирующие помехи в этом случае неприменимы в связи с проблематичностью введения строго прицельных по времени импульсных сигналов в унифицированный цифровой поток многоканальной ЛРС. Применение диверсионных помех возможно при отсутствии скремблирования (шифрования группового потока) сигналов.

По характеру взаимодействия с сигналом РЭС помехи разделяются на аддитивные и мультипликативные. Аддитивные помехи – помехи, характер взаимодействия которых с сигналом носит эффект суммирования. Именно поэтому при оценке эффективности таких помех учитывается суммарное воздействие совокупности сигнала, шума и помехи на приемник РЭС. Мультипликативные помехи отличаются от аддитивных тем, что совокупность сигнала, шума и помехи в приемнике не является их суммой, а представляет собой более сложную функцию.

По физической основе помехи разделяются на генерированные и ретранслированные излучения. В первом случае помеха полностью формируется средством РП. Помехи второго вида образуются путем приема полезного сигнала и его ретрансляции с усилением, полным или частичным

искажением сигнала или без искажения, а также с задержкой или без задержки. При РП радиосвязи, как правило, применяются активные генерированные помехи и значительно реже активные ретранслированные помехи.

По виду модуляции или манипуляции помехи разделяются на амплитудно-, частотно- и фазомодулированные или манипулированные.

По статистической структуре помехи разделяются на прямошумовые, модулированные шумом и детерминированные. В основном помехи формируются на основе генерирования помехового сигнала и чаще всего по схеме «синтезатор частоты (возбудитель) – усилитель мощности». В перспективных средствах помех предполагается использование алгоритмического способа формирования помех, основанного на приеме отрезков («копий») сигналов подавляемой ЛРС и их преобразовании в зависимости от видов сигналов, используемых противником. По эффективности такие помехи не уступают помехам, сформированным традиционным генераторным способом, однако применение помех из «копий» подавляемых сигналов позволяет значительно повысить быстродействие средств помех за счет исключения процедуры анализа сигналов.

3.3. Понятия показателей и критериев эффективности радиоподавления радиосвязи

Под эффективностью радиоподавления понимают степень достижения требуемого информационного ущерба системе передачи информации (СПИ) при воздействии преднамеренной помехи на канал радиосвязи. При этом требуемый информационный ущерб определяется характеристиками СПИ (способ передачи и регистрации информации) и ее назначением (передача данных, управляющих сигналов, семантической информации), а степень достижения этого ущерба обычно подразделяется на высокую, среднюю и низкую.

Для оценки эффективности используются показатели и критерии эффективности. Показатель эффективности (ПЭ) является количественной мерой эффективности, а критерий эффективности – правилом сравнения ПЭ с заданными (требуемыми) величинами.

ПЭ радиоподавления – это величина информационного ущерба СПИ при воздействии преднамеренной помехи на канал радиосвязи.

Критерий эффективности радиоподавления – это признак (правило), который определяет степень достижения информационного ущерба (высокую, среднюю, низкую).

Связь понятий «эффективность», «показатель эффективности» и «критерий эффективности» представлена на рис. 7, где значения ПЭ1 и ПЭ2 разделяют низкую, среднюю и высокую степени информационного ущерба, а неравенства $ПЭ < ПЭ1$, $ПЭ1 \leq ПЭ \leq ПЭ2$ и $ПЭ > ПЭ2$ являются критериями низкой, средней и высокой эффективности соответственно.

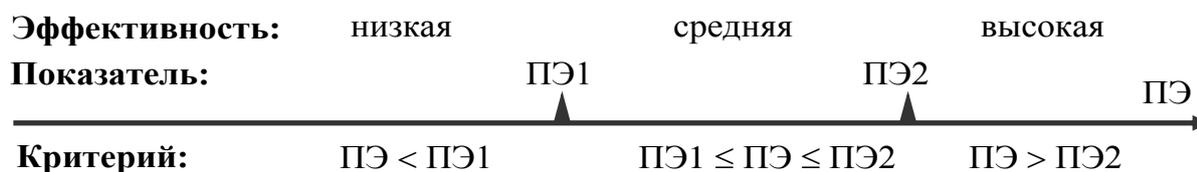


Рис. 7. Связь понятий «эффективность», «показатель эффективности» и «критерий эффективности»

Используемые в теории и практике радиоподавления ПЭ разнообразны как по содержанию, так и по форме, что связано с различием подавляемых средств и систем, а также особенностями условий подавления. По иерархическому уровню ПЭ разделяются на три основных типа:

- информационные (технические);
- информационно-боевые (тактико-технические);
- боевые (тактические).

Информационные ПЭ (ИПЭ) относятся к нижнему уровню иерархии и характеризуют степень снижения качества извлечения информации подавляемыми РЭС из смеси «сигнал+помеха» вследствие воздействия преднамеренных помех. ИПЭ зависят от способа регистрации (извлечения) и обработки информации.

При приеме аналоговой информации регистрация осуществляется:

- речевых сообщений – оператором на слух;
- неречевых сообщений – регистрирующим устройством непрерывных сообщений (факсимильный аппарат; автоматическое устройство, управляемое непрерывным напряжением, и т.п.).

При приеме дискретной информации регистрация осуществляется:

- телеграфным аппаратом;
- автоматическим устройством, управляемым телекодом.

ИПЭ являются первичными. С ними связаны информационно-боевые ПЭ (ИБПЭ) и боевые ПЭ (БПЭ). БПЭ могут связываться с ИПЭ как непосредственно, так и опосредованно через промежуточные ИБПЭ.

Информационно-боевые ПЭ занимают промежуточное положение между ИПЭ и БПЭ и характеризуют влияние РП на прохождение информации и скорость принятия решений в системе управления противника.

Примерами ИБПЭ являются:

- а) на уровне систем управления войсками – увеличение длительности полного цикла управления вследствие РП:

$$\Delta t_{\text{упр}} = T^*_{\text{упр}} - T_{\text{упр}},$$

где $T^*_{\text{упр}}$ и $T_{\text{упр}}$ – среднее время цикла управления в условиях помех и без помех соответственно;

- б) на уровне линий радиосвязи:

- среднее время задержки передаваемых сообщений:

$$t_{\text{зад}} = T_{\text{пер}}^* - T_{\text{пер}},$$

где $T_{\text{пер}}^*$ и $T_{\text{пер}}$ – среднее время передачи сообщений в условиях помех и без помех соответственно;

– относительное число сообщений, непереданных вследствие РП:

$$\Delta N = (N_{\text{пост}} - N_{\text{пер}}) / N_{\text{пост}},$$

где $N_{\text{пост}}$ и $N_{\text{пер}}$ – число поступивших на передачу и переданных сообщений в линии радиосвязи.

Боевые ПЭ – это показатели верхнего уровня, которые характеризуют влияние РП на степень ухудшения тактических характеристик войск и оружия, управляемых радиоэлектронными средствами и системами.

Основными БПЭ являются:

– коэффициент снижения потерь своих войск вследствие РП:

$$\Delta П = П / П^*,$$

где $П$ и $П^*$ – потери своих войск в условиях помех и без помех соответственно;

– коэффициент увеличения противником требуемого наряда сил и средств вследствие РП:

$$K_{\text{ув}} = S_{\text{сс}}^* / S_{\text{сс}},$$

где $S_{\text{сс}}^*$ и $S_{\text{сс}}$ – наряд сил и средств в условиях помех и без помех соответственно;

– уменьшение вероятности выполнения противником боевой задачи:

$$\Delta P_{\text{вбз}} = P_{\text{вбз}} - P_{\text{вбз}}^*,$$

где $P_{\text{вбз}}$ и $P_{\text{вбз}}^*$ – вероятности выполнения противником боевой задачи без помех и в условиях помех соответственно.

Все виды ПЭ существенно зависят от условий применения средств РП, т. е. от характеристик объектов РП, способа РП, алгоритмов обработки информации и т. п. В этом смысле ПЭ разделяются на условные (справедливые для фиксированных условий) и безусловные (усредненные по ряду условий с учетом распределения вероятностей конкретных условий). Ввиду большого разнообразия условий применения средств РП полностью безусловные ПЭ получить практически невозможно, поэтому обычно находят ПЭ с различной степенью условности.

Для средств РП, кроме разнообразия, характерна также большая неопределенность условий применения. В особенности это касается общих и специальных характеристик подавляемых РЭС, относящихся к мерам помехозащиты. В этих случаях часто оказываются неизвестными не только распределения вероятностей условий, но и само их множество (перечень). При наличии такой неопределенности используют два вида ПЭ: гарантированные, рассчитанные на наихудшие гипотетические условия, и средневзвешенные, получаемые в результате усреднения по условиям, перечень и вероятности которых оцениваются экспертным путем.

Используемые ИПЭ аналоговых каналов определяются способом

регистрации информации: оператором или регистрирующим устройством непрерывных сообщений.

При регистрации информации каким-либо устройством, т. е. при передаче неречевых сообщений, в качестве ИПЭ радиоподавления используется среднее квадратическое значение ошибки воспроизведения сигнала ε^2 , которое представляет собой среднее значение квадрата разности между переданным сигналом $Z_c(t)$ и принятым $Z^*(t)$:

$$\varepsilon^2 = \overline{[Z^*(t) - Z_c(t)]^2} = 1/T \int_0^T [Z^*(t) - Z_c(t)]^2 dt,$$

где $Z^*(t) = Z_c(t) + Z_n(t) + Z_{ш}(t)$;
 $Z_n(t)$ – преднамеренная помеха;
 $Z_{ш}(t)$ – шум в канале связи;
 T – интервал наблюдения.

Физически значение ε^2 представляет собой нормированную ко времени наблюдения площадь возведенных в квадрат разностей $Z^*(t)$ и $Z_c(t)$ (рис. 8), имеет размерность мощности и часто интерпретируется как мощность эквивалентного аддитивного шума. Однако этот эквивалентный шум нельзя отождествлять с помехами, действующими в канале связи, т. к. он является всего лишь мерой отличия одного процесса от другого и не полностью характеризует информационный ущерб, доставляемый помехой каналу связи.

На практике обычно пользуются нормированной к мощности сигнала P_c величиной средней квадратической ошибки

$$\delta^2 = \varepsilon^2 / P_c.$$

В качестве критериев эффективности подавления аналоговых каналов связи с неречевыми сообщениями обычно используют следующие правила определения информационного ущерба:

- низкий при $0 \leq \delta^2 < 0,5$;
- средний при $0,5 \leq \delta^2 < 0,75$;
- высокий при $0,75 \leq \delta^2 \leq 1$.

Пояснение физического смысла среднего квадратического значения ошибки воспроизведения сигнала ε^2 представлено на рис. 8.

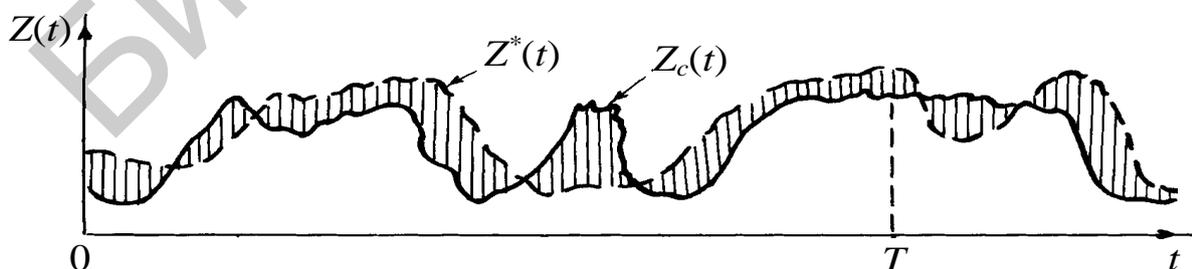


Рис. 8. Пояснение физического смысла среднего квадратического значения ошибки воспроизведения сигнала ε^2

Особенность подавления речевых сообщений состоит в том, что они

регистрируются органом слуха человека и обрабатываются таким мощным средством логической обработки информации, как мозг человека. В связи с этим необходимо иметь в виду, что для каналов передачи речевых сообщений средняя квадратическая ошибка воспроизведения первичного сигнала хотя и может служить объективной оценкой качества канала, но не отражает непосредственно цель РП – снижение качества речевого сигнала. Поэтому при регистрации аналоговой информации оператором на слух, т. е. при приеме речевых сообщений, основным показателем эффективности РП является разборчивость принимаемого речевого сообщения (W):

$$W = N_{\text{пр}}/N,$$

где $N_{\text{пр}}$ – количество правильно принятых элементов речи (формант, звуков, слогов, слов или фраз);

N – общее количество передаваемых элементов речи.

Между формантной, звуковой, слоговой, словесной и фразовой разборчивостью существует тесная взаимосвязь, однако каждый из перечисленных видов требует учета особенностей слуха и мозга человека. При этом формантная, звуковая и слоговая разборчивость менее связаны с логическими способностями мозга человека, чем словесная и фразовая, т. к. последние существенно зависят от априорных знаний темы сообщения и его продолжительности. В связи с этим справедливо неравенство

$$W_{\text{формант}} < W_{\text{звуков}} < W_{\text{слогов}} < W_{\text{слов}} < W_{\text{фраз}}.$$

Кроме того, словесная и фразовая разборчивость зависят не только от канала связи и структуры воздействующих помех, но и от избыточности того языка, на котором происходит передача. Согласно зависимостям на рис. 9 при фиксированном отношении мощностей помехи и сигнала на выходе радиоприемника $P_{\text{п.вых}}/P_{\text{с.вых}}$ словесная разборчивость русской речи выше, чем английской, что объясняется большей избыточностью русского языка, а фразовая разборчивость выше словесной для любого языка.

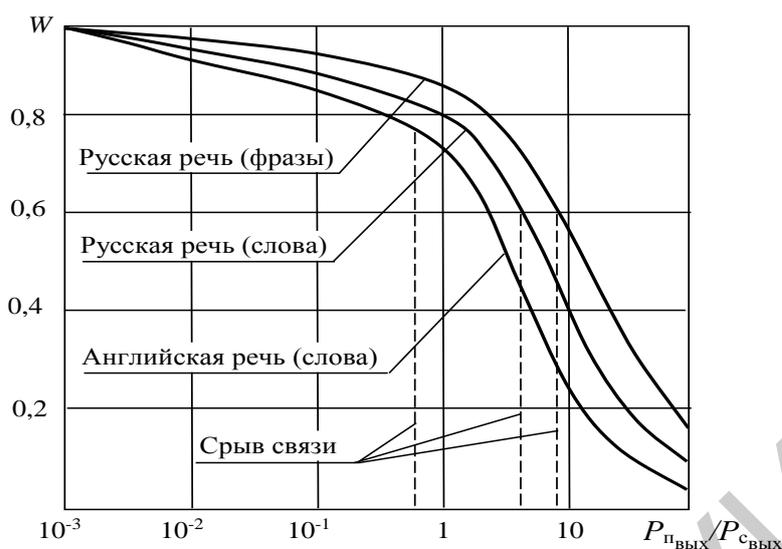


Рис. 9. Зависимость разборчивости речи от отношения мощностей помехи и сигнала на выходе радиоприемника для наиболее эффективной шумовой помехи

Учитывая специфику военных каналов связи, для их характеристики часто используют словесную разборчивость, которую получают как относительную величину правильно принятых специально подобранных слов, не связанных между собой логически. Экспериментальные исследования, проведенные по такой методике, показали зависимость между качеством передачи речи и ее разборчивостью на различных линиях связи (табл. 1). В данной таблице обозначение R – избыточность языка, имеющая значение 0,6 для русского и 0,5 для английского языков.

Очевидно, что если искажена часть слова, равная избыточности R (в этом случае разборчивость $W = 1 - R$), то слово нельзя восстановить даже за сколько угодно большое время при использовании любых логических и вычислительных средств.

В качестве критериев эффективности подавления аналоговых каналов связи с речевыми сообщениями обычно используют следующие правила (см. табл. 1):

а) для русского языка информационный ущерб:

- низкий при $0,87 < W \leq 1$;
- средний при $0,75 < W \leq 0,87$;
- высокий при $0,6 < W \leq 0,75$;
- полный при $0 \leq W \leq 0,6$;

б) для английского языка информационный ущерб:

- низкий при $0,93 < W \leq 1$;
- средний при $0,87 < W \leq 0,93$;
- высокий при $0,75 < W \leq 0,87$;
- полный при $0 \leq W \leq 0,75$.

Таблица 1

Соотношение между качеством передачи речи и ее разборчивостью

Оценка качества передачи речи	Разборчивость речи (W)	
	Русский язык	Английский язык
Идеально	0,99	1
Отлично	0,98	0,99
Хорошо	0,93	0,98
Удовлетворительно	0,87	0,93
Предельно допустимо	0,75	0,87
Срыв связи	0,60	0,75
Невозможно восстановить сообщение	$0,40 = 1 - R$	$0,50 = 1 - R$

Показателем более высокого уровня, получаемым из разборчивости, является относительное время передачи сообщения T/T_c (T – время передачи; T_c – длительность сообщения). График зависимости относительного времени передачи сообщения T/T_c от словесной разборчивости W приведен на рис. 10. При разборчивости $W = 1$ время передачи сообщения T равно длительности сообщения T_c , а при $W \rightarrow 0,4$ передача сообщения становится невозможной ($T/T_c \rightarrow \infty$).

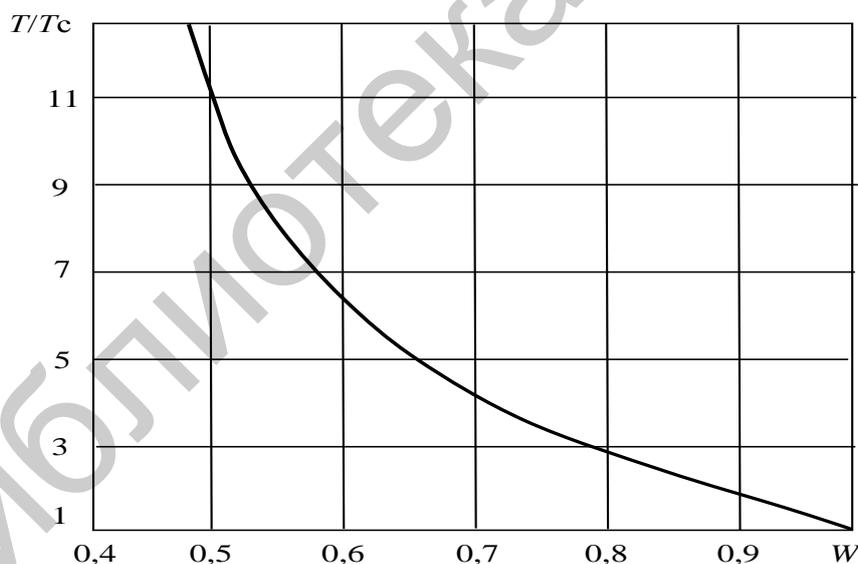


Рис. 10. Зависимость относительного времени передачи сообщения от словесной разборчивости

Информационные показатели и критерии эффективности радиоподавления дискретных каналов связи

В качестве ИПЭ радиоподавления дискретных каналов связи чаще всего используют вероятность искажения элементов (битов) сигнала p и кодовых комбинаций $p_{кк}$.

Вероятность ошибочного приема элементов сигнала характеризует долю

ошибочно принятых элементов $N_{\text{ош}}$ от общего числа переданных N . При достаточно большом значении N вероятность $p \approx N_{\text{ош}}/N$.

В большинстве случаев в системах связи одиночный элемент сигнала не несет самостоятельной семантической информации. Для того чтобы передать минимальный фрагмент сообщения или знак для различных видов сообщений, необходимо передать совокупность элементов сигнала. В связи с этим внесение ошибок в прием отдельных элементов не предполагает адекватную потерю информации в принимаемом сообщении, которую можно измерять только в семантических величинах. Для дискретных сообщений такими величинами могут быть знак, слово, фраза, сообщение в целом. Минимальной величиной дискретного сообщения является знак. Вероятность ошибочного приема знака однозначно связана со средней вероятностью ошибочного приема элемента сигнала p через способ кодирования. При этом блочное кодирование предполагает однозначное соответствие знака кодовой комбинации. При непрерывном кодировании такого соответствия нет, т. к. последовательность элементов зависит не только от передаваемого знака, но и от предыдущих, уже переданных. Однако при любом виде кодирования основой для оценки эффективности подавления линии радиосвязи является средняя вероятность ошибочного приема элементов сигнала в подавляемом приемнике.

При различных способах кодирования одна и та же величина p приводит к различным значениям $p_{\text{кк}}$, т.е. к различной степени искажения принятого сообщения. Зная особенности построения кодовых комбинаций, в большинстве случаев можно найти зависимость вероятности их искажения $p_{\text{кк}}$ от вероятности ошибочного приема элемента сигнала p , т.е. $p_{\text{кк}}=F(p)$.

При оценке информационного ущерба по показателю $p_{\text{кк}}$ необходимо иметь в виду, что при передаче семантической информации каждая кодовая комбинация представляет собой букву текста, поэтому критерии эффективности подавления в данном случае близки к критериям для каналов связи с речевыми сообщениями.

В военных системах связи допустимая величина вероятности ошибки в каналах связи для передачи данных в автоматизированных системах управления составляет $10^{-6} \dots 10^{-7}$, а в каналах, где передается семантическая информация (буквы, тексты), это требование снижается до величины порядка 10^{-3} , т. к. ошибки исправляются по содержанию принятых смысловых сообщений (слов и фраз текста). При вероятностях искажения элементов $p \geq 0,15$ становится практически невозможным восстановить смысл передаваемой информации (буквы, слова, фразы) для большинства известных способов кодирования, т. к. в этом случае вероятность искажения кодовых комбинаций имеет значения $p_{\text{кк}} > 0,4 \dots 0,5$.

В связи с этим в качестве критериев эффективности подавления дискретных каналов связи используют следующие:

а) для каналов передачи данных информационный ущерб:

- низкий при $p \leq 10^{-5} \dots 10^{-4}$ или $p_{\text{кк}} \leq 0,05$;
- средний при $10^{-4} < p \leq 0,1$ или $0,05 < p_{\text{кк}} \leq 0,2$;
- высокий при $0,1 < p \leq 0,5$ или $0,2 < p_{\text{кк}} \leq 1$;

б) для каналов передачи семантической информации информационный ущерб:

- низкий при $p \leq 10^{-2}$ или $p_{\text{кк}} \leq 0,1$;
- средний при $10^{-2} < p \leq 0,1$ или $0,1 < p_{\text{кк}} \leq 0,3$;
- высокий при $0,1 < p \leq 0,5$ или $0,3 < p_{\text{кк}} \leq 1$.

Таким образом, рассмотренные выше ИПЭ являются исходными данными для получения показателей более высокого уровня – ИБПЭ и БПЭ. Информационно-боевые и боевые показатели эффективности, в отличие от информационных, учитывают не только канал радиосвязи, но и его оперативно-тактические функции: принадлежность звену управления (тактическое, оперативно-тактическое, стратегическое); характер передаваемой информации (сообщения, приказы боевого управления); срочность передаваемой информации.

Поясним эту особенность следующими примерами:

– в тактическом звене управления допустимое время задержки передаваемых сообщений меньше, чем в оперативно-тактическом, а в оперативно-тактическом меньше, чем в стратегическом;

– в тактическом звене управления допустимое время задержки приказов боевого управления и передачи данных составляет 10...30 с, а обычных сообщений – 1...15 мин;

– передаваемые в каналах связи противника сообщения имеют различные категории срочности (срочная, обычная); сообщения первой категории должны содержать наиболее ценную оперативную информацию, необходимую для управления войсками, поэтому предъявляются наиболее жесткие требования к времени задержки таких сообщений.

Независимо от способа задания требований по эффективности радиоподавления принятие решения о требуемом уровне выбранного ПЭ является важным этапом при выполнении оперативно-тактических расчетов боевого применения средств РП. Слишком жесткие требования к эффективности радиоподавления могут привести к преждевременному передислоцированию частей РП, чрезмерному приближению средств РП к линии соприкосновения войск, сокращению количества подавляемых целей. Ослабление требований к эффективности радиоподавления приводит к снижению влияния помех на каналы связи и, как следствие, к невыполнению боевой задачи средствами РП.

Выбор того или иного способа оценивания эффективности радиоподавления при оперативно-тактических расчетах производит командир, опираясь на опыт и интуицию.

Для осуществления эффективного радиоподавления радиосвязи необходимо:

- обеспечить максимально возможное временное совмещение интервалов работы подавляемой ЛРС и станции помех (СП);
- совместить помеху и сигнал по частоте с наибольшей требуемой точностью;
- сформировать наиболее эффективную структуру помехи;
- обеспечить требуемое отношение помеха/сигнал на входе подавляемого приемника ЛРС.

Рассмотрим способы выполнения каждого из указанных условий.

Временное совмещение интервалов работы ЛРС и СП обеспечивается за счет выполнения комплексом радиоподавления или СП следующих этапов: поиск, обнаружение, классификация ЛРС как цели радиоподавления, создание помехового излучения (рис. 11). При этом интервал времени от начала работы ЛРС (см. рис. 11,а) до момента создания эффективных помех (см. рис. 11,б) называют временем реакции помех ($t_{рп}$).

Одним из наиболее часто используемых в радиосвязи способов помехозащиты от действия преднамеренных помех является изменение рабочей частоты. ЛРС при этом функционирует следующим образом (см. рис. 11,а):

- на интервале подавления $t_{подл}$ осуществляется обнаружение факта воздействия помехи (ухудшение качества канала связи ниже требуемого);
- на интервале принятия мер помехозащиты $t_{пр.мер}$ осуществляется принятие решения на изменение рабочей частоты и начинается работа ЛРС на другой частоте.

Интервал времени от начала эффективного создания помех до момента возобновления в ЛРС безыскаженной передачи после принятия мер помехозащиты называют временем реакции связи ($t_{р.св}$).

Прекращение создания преднамеренных помех на прежней рабочей частоте осуществляется с некоторым запаздыванием, определяемым временными затратами на осуществление контроля за работой подавляемого канала связи и принятия решения о прекращении создания помех ($t_{пр.реш}$). При возобновлении работы ЛРС после принятия мер помехозащиты процесс временного совмещения интервалов работы СП и ЛРС возобновляется, т.е. осуществляется повторный контакт, и т.д.

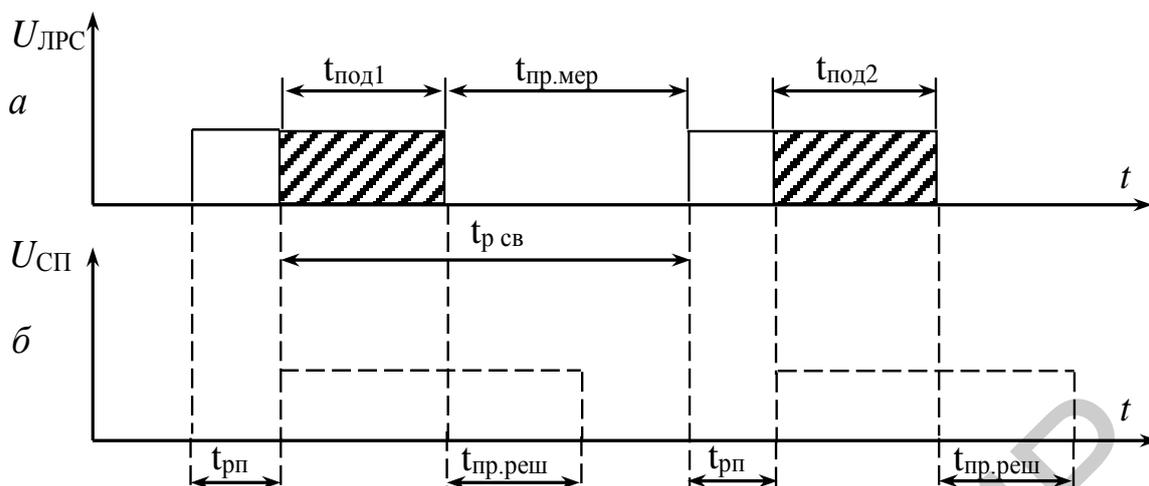


Рис. 11. Пояснение динамики временного совмещения интервалов работы СП и ЛРС

В существующих станциях помех временное совмещение интервалов работы СП и ЛРС осуществляется следующими способами:

- включение излучения помехи вручную на основе визуальной индикации на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) отметок сигнала и помехи и ручной поиск оператором цели, ушедшей из-под помех;
- автоматическое включение и выключение излучения помехи при наличии и отсутствии сигнала ЛРС;
- автоматическое снятие с подавления частоты ЛРС, прекратившей работу, ее замена на частоту другой ЛРС и автоматический поиск ЛРС, ушедшей из-под помех.

Частотное совмещение помехи и сигнала необходимо для наиболее полного попадания помехи в тракт приема и, как следствие, обеспечения наибольшего эффекта воздействия помехи на радиоприемное устройство подавляемой ЛРС.

В существующих СП такое совмещение достигается следующими способами:

- ручная коррекция частоты помехи на основе визуального анализа равенства частот помехи и сигнала на экране ЭЛТ;
- автоматическое определение и запоминание частоты обнаруженного сигнала аппаратурой радиоразведки, выдача кода частоты сигнала в формирователь несущей частоты помехи.

На основе трансверсного формирования несущей частоты помехи из несущей частоты сигнала, при котором для преобразования частоты принимаемого сигнала ω_c в промежуточную частоту $\omega_{пч} = \omega_c - \omega_r$ в радиоприемном устройстве и обработанной промежуточной частоты в частоту помехи $\omega_{п} = \omega_{пч} + \omega_r = \omega_c$ в преобразователе частоты используется одно и то же гетеродинное напряжение с частотой ω_r . Пояснение принципа трансверсного формирования несущей частоты помехи показано на рис. 12.



Рис. 12. Пояснение принципа трансиверного формирования несущей частоты помехи

В настоящее время задача синтеза оптимальной структуры помехи для любого вида сигнала и способа его обработки в радиоприемном устройстве (далее приемнике) в общем случае не решена. Однако проведен анализ и синтез множества структур помех для частных случаев видов сигналов и конкретных моделей канала передачи информации.

Все методики поиска наиболее эффективных структур помех $[Z_n(t)]_{\text{эффект}}$ можно условно разделить на две группы:

1. Определяется такая структура помехи $Z_n(t)$ из области допустимых структур, которая при известном виде сигнала $Z_c(t)$, способе его обработки $F(Z_c)$ в приемнике и ограниченном (фиксированном) отношении мощностей помехи и сигнала на входе приемника $K = P_n / P_c$ обеспечивает максимум выбранного показателя эффективности ПЭ:

$$[Z_n(t)]_{\text{эффект}} = \arg \max \text{ПЭ}[Z_n(t), Z_c(t), F(Z_c), K].$$

Пояснение методик поиска наиболее эффективных структур помех представлено на рис. 13.

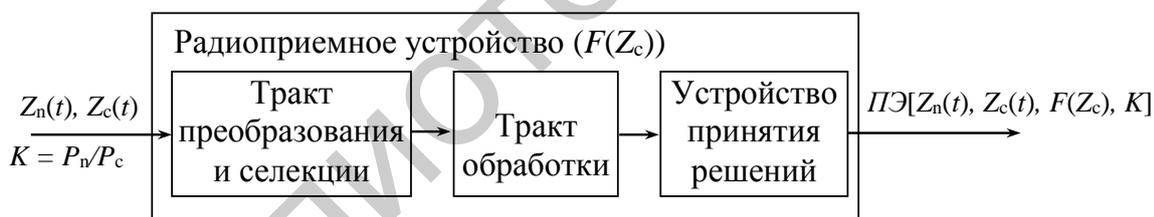


Рис. 13. Пояснение методик поиска наиболее эффективных структур помех

2. На основе эвристических или логических методов формируется конечное множество возможных структур помех $\{Z_{ni}(t)\}$, $i = 1 \dots n$ для подавления приемника заданного вида сигнала $Z_c(t)$ с известным способом его обработки $F(Z_c)$ (см. рис. 13); проводится последовательная оценка эффективности каждой структуры помехи и выбор той структуры $Z_{nj}(t)$, которая обеспечивает максимальное значение показателя эффективности радиоподавления при ограниченном (фиксированном) отношении мощностей помехи и сигнала на входе приемника $K = P_n / P_c$:

$$[Z_n(t)]_{\text{эффект}} = Z_{nj}(t), \text{ если } \text{ПЭ}_j(\dots) > \text{ПЭ}_i(\dots), i = 1 \dots n, i \neq j.$$

Первая методика является методикой синтеза и дает наилучшее решение в рамках сформулированных ограничений и допущений, поэтому наиболее

эффективную структуру помехи, полученную в результате использования этой методики, называют оптимальной.

Вторая методика является методикой обоснования (выбора) и используется в случае, если не удастся сформулировать задачу математически либо найти решение сформулированной задачи. В результате использования второй методики нет уверенности, что найденная структура помехи является наилучшей (оптимальная структура может не попасть во множество анализируемых структур $\{Z_{ni}(t)\}$), поэтому выбранную по этой методике наиболее эффективную структуру помехи называют рациональной.

Содержание методики синтеза оптимальной помехи заключается в следующем:

1. Формулируется постановка задачи:

– модель канала связи: вид сигнала $Z_c(t)$; способ обработки сигнала в приемнике $F(Z_c)$; правило принятия решений об обрабатываемом сигнале;

– модель преднамеренной помехи: ограничения и допущения о структуре и параметрах помехи $Z_n(t)$;

– показатель эффективности и критерий оптимальности помехи (чаще всего используется максимум заданного ПЭ при постоянном K).

2. Определяется функциональная зависимость показателя эффективности помехи от ее структуры и параметров, от структуры и параметров сигнала и приемника ПЭ $[Z_n(t), Z_c(t), F(Z_c), K]$.

3. Проводится математическое решение задачи синтеза оптимальной помехи – получение аналитического выражения для структуры помехи, обеспечивающей требуемый критерий оптимальности:

$$\max \text{ПЭ} \{Z_n(t) = U_n(t)\sin[\omega_n(t)t + \varphi_n(t)]\},$$

где $U_n(t)$, $\omega_n(t)$, $\varphi_n(t)$ – функции амплитуды, частоты и фазы помехи на входе подавляемого приемника.

После проведения синтеза осуществляется оценка эффективности оптимальной помехи по выбранному показателю – расчет значения ПЭ или его зависимости ПЭ(K) от отношения помеха/сигнал на входе подавляемого приемника K для известных структур сигнала $Z_c(t)$ и оптимальной помехи $[Z_n(t)]_{\text{оптим}}$. При этом полученное значение эффективности является предельным, к нему нужно стремиться при создании помех. Поскольку реально формируемые помехи имеют ту или иную степень рассогласования с оптимальной структурой, то их эффективность всегда будет ниже эффективности оптимальной помехи. Помехи, рассогласованные с оптимальной помехой по какому-либо параметру, называют подоптимальными.

При воздействии любой помехи на подавляемый приемник, в том числе оптимальной, может быть обеспечено различное отношение помеха/сигнал на входе приемника $K = P_n/P_c$, где P_n и P_c – мощности помехи и сигнала на входе подавляемого приемника, попадающие в полосу пропускания приемника.

Одним из условий эффективного радиоподавления радиосвязи является обеспечение требуемого отношения помеха/сигнал на входе подавляемого

приемника. Для характеристики этого отношения используют понятие коэффициента подавления.

Коэффициент подавления ($K_{\text{п}}$) – минимальное требуемое отношение помеха/сигнал на входе приемника подавляемой ЛРС (см. рис. 13), при котором обеспечивается заданный эффект подавления (заданное значение показателя эффективности)

$$K_{\text{п}} = (P_{\text{п}}/P_{\text{с}})_{\text{min}} \text{ треб при заданном ПЭ} \cdot$$

Исходя из определения $K_{\text{п}}$ зависит:

– от структуры помехи $Z_{\text{п}}(t)$ (очевидно, что чем меньше структура помехи соответствует оптимальной, тем меньше искажается сигнал в тракте приема, а значит требуется бóльшая мощность помехи и большее значение $K_{\text{п}}$); коэффициент подавления для оптимальной помехи имеет наименьшее значение;

– от структуры сигнала $Z_{\text{с}}(t)$, алгоритма обработки сигнала и помех в приемнике (очевидно, что чем эффективнее алгоритмы селекции сигнала из помех, тем больше значение $K_{\text{п}}$ для заданного приемника);

– от заданного значения показателя эффективности (очевидно, что $K_{\text{п}}$ при ПЭ «разборчивость речи в подавляемом канале связи» $W = 0,7$ меньше, чем $K_{\text{п}}$ при $W = 0,4$, т. к. для меньшей требуемой разборчивости необходимо большее отношение помеха/сигнал на входе подавляемого приемника; $K_{\text{п}}$ при ПЭ «вероятность искажения элементов дискретной информации» $p = 0,01$ меньше, чем $K_{\text{п}}$ при $p = 0,1$, т. к. для большего значения этой вероятности необходимо большее отношение помеха/сигнал на входе подавляемого приемника):

$$K_{\text{п}}(W = 0,7) < K_{\text{п}}(W = 0,4); \quad K_{\text{п}}(p = 0,01) < K_{\text{п}}(p = 0,1).$$

Таким образом, для каждой пары «канал связи – помеха» существует собственное значение $K_{\text{п}}$, зависящее от заданного значения ПЭ.

На практике, как правило, при использовании понятия «коэффициент подавления» подразумевается применение оптимальной (наиболее рациональной) помехи, которая обеспечивает ПЭ, соответствующий полному подавлению канала связи (высокой степени информационного ущерба). Для других видов помех и степеней информационного ущерба делается специальная оговорка, например:

– коэффициент подавления канала связи с частотной манипуляцией шумовой помехой (этот $K_{\text{п}}$ будет выше, чем $K_{\text{п}}$ для оптимальной помехи, $K_{\text{п}} \text{ шум} > K_{\text{п}} \text{ опт}$);

– коэффициент подавления канала связи с частотной манипуляцией при вероятности искажения бит информации, равной 0,01.

Чем выше значение $K_{\text{п}}$, тем устойчивее канал связи к данному виду помехи. Если $K_{\text{п}} \rightarrow \infty$, то это означает, что помеха данного вида никак не влияет на качество передачи информации в заданном канале связи при любой ее мощности, а если $K_{\text{п}} = 0$, то это свидетельствует о плохом качестве канала связи, в результате чего заданный эффект подавления (показатель эффективности) имеет место и при отсутствии помехи (ее мощность равна

нулю).

Показатель $K_{\text{п}}$ широко используется для энергетических расчетов при организации радиоподавления. При этом исходят из того, что для обеспечения заданного эффекта подавления необходимо выполнение следующего условия:

$$K = P_{\text{п}}/P_{\text{с}} \geq K_{\text{п}} = (P_{\text{п}}/P_{\text{с}})_{\text{минтреб}} \text{ при заданном ПЭ.}$$

Если корреспонденты ЛРС Кор1 и Кор2 (рис. 14) расположены друг от друга на расстоянии $D_{\text{с}}$ (дистанции связи), а станция помех (СП) на расстоянии $D_{\text{п}}$ (дистанция подавления) от подавляемого приемника ЛРС, то мощности сигнала и помехи на входе подавляемого приемника (при условии их полного попадания в полосу пропускания приемника) определяются выражениями:

$$P_{\text{с}} = \frac{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} G_{\text{прс}} \lambda^2 \gamma}{(4\pi)^2 D_{\text{с}}^2 \phi(D_{\text{с}})}, \quad P_{\text{п}} = \frac{P_{\text{пп}} G_{\text{пп}} G_{\text{прп}} \lambda^2 \gamma}{(4\pi)^2 D_{\text{п}}^2 \phi(D_{\text{п}})}, \quad (1)$$

где $P_{\text{пс}}$, $P_{\text{пп}}$ – мощности передатчиков сигнала и помехи соответственно;

$G_{\text{пс}}$, $G_{\text{пп}}$ – коэффициенты направленности (по мощности) антенн передатчика ЛРС и передатчика СП в сторону приемника ЛРС;

$G_{\text{прс}}$, $G_{\text{прп}}$ – коэффициенты направленности антенны приемника ЛРС в сторону прихода сигнала от передатчика ЛРС и прихода помехи от передатчика СП;

λ – длина волны;

$\phi(D_{\text{с}})$, $\phi(D_{\text{п}})$ – функции ослабления радиоволн на дистанциях связи и подавления, зависящие от условий их распространения (диапазон длин волн, диэлектрические свойства трассы распространения радиоволн, высоты антенн и т.д.);

γ – коэффициент поляризационных потерь мощности помехи вследствие различия поляризаций излучения помехи и сигнала ($\gamma = 1$, если поляризации помехи и сигнала совпадают; $\gamma = 0$, если поляризации ортогональны).

Условие эффективного подавления ЛРС:

$$K_{\text{п}} \leq K = \frac{P_{\text{пп}} G_{\text{пп}} G_{\text{прп}} D_{\text{с}}^2 \phi(D_{\text{с}}) \gamma}{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} G_{\text{прс}} D_{\text{п}}^2 \phi(D_{\text{п}})}, \quad (2)$$

которое называют уравнением радиоподавления. Вариант взаимного расположения станции помех и корреспондентов линии связи представлен на рис. 14.

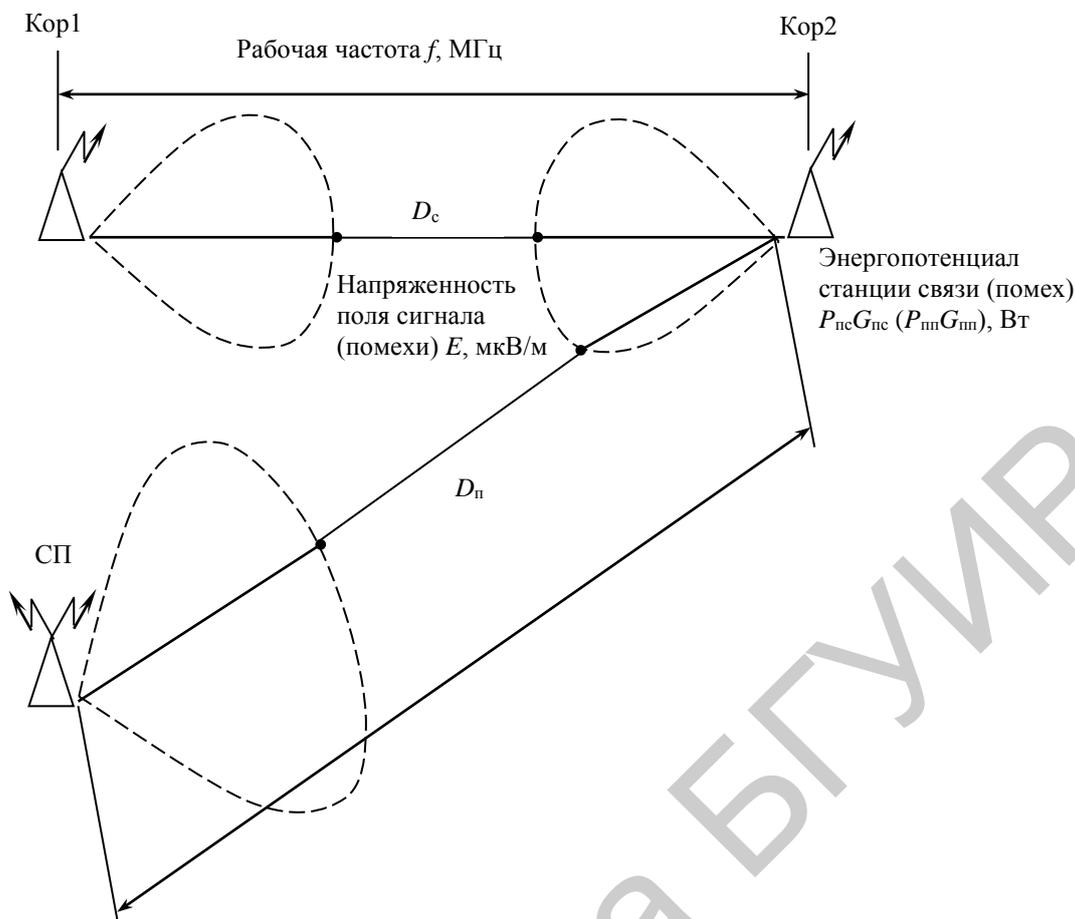


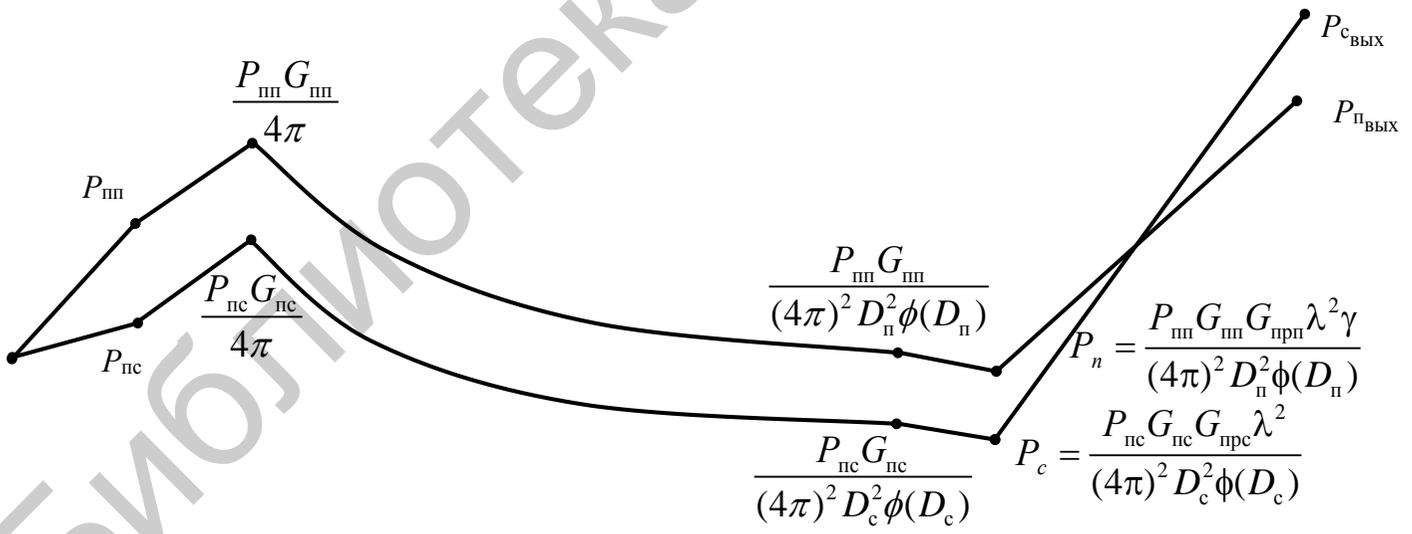
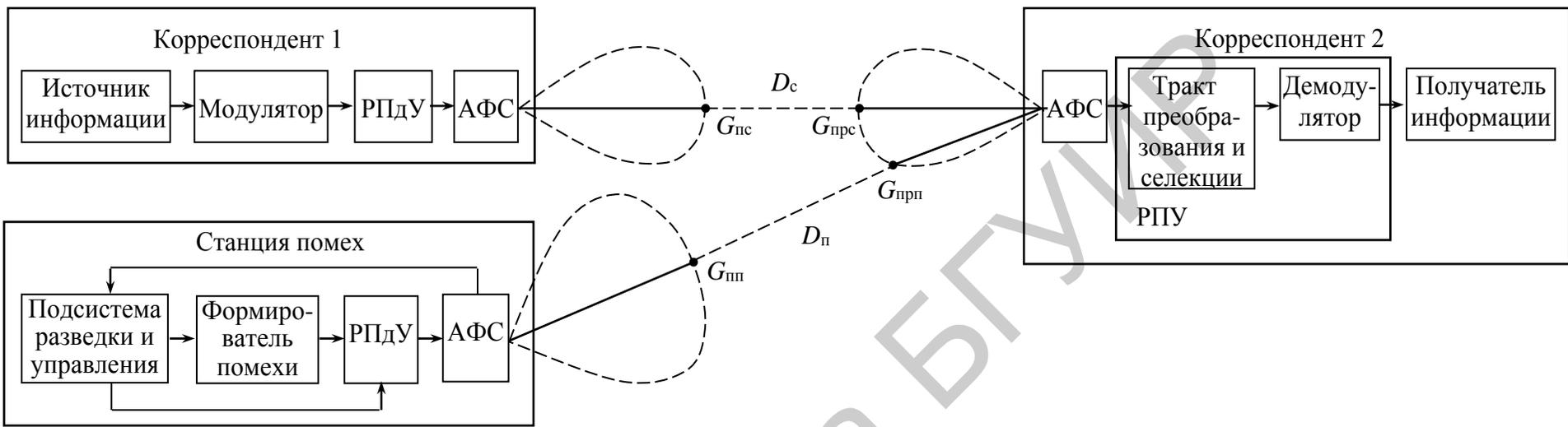
Рис. 14. Вариант взаимного расположения станции помех и корреспондентов линии связи

На рис. 15 представлены диаграммы, характеризующие распределение энергии сигнала и помехи от входов радиопередающих устройств (РПДУ) до выхода подавляемого радиоприемного устройства (РПУ). Потери энергии помехи на входе РПУ выше, чем потери энергии сигнала, что объясняется рассогласованием диаграмм направленности антенно-фидерных систем (АФС) передатчика СП и приемника ЛРС по двум причинам:

- антенна приемника ЛРС направлена на передатчик ЛРС ($G_{\text{прп}} < G_{\text{прс}}$);
- при создании помех в СП неизвестно точное направление на приемник ЛРС ($G_{\text{сп}} < G_{\text{прс}}$); обычно применяются передающие антенны с достаточно широкими диаграммами (до 120°), охватывающими зону предположительного размещения приемного устройства подавляемой ЛРС.

На рис. 15 также показано меньшее, чем у сигнала, усиление помехи в РПУ. Это объясняется тем, что тракт приема и демодуляции РПУ согласован с полезным сигналом, а помеховое воздействие не полностью согласовано с трактом приема и демодуляции вследствие того, что оно формируется, как правило, в условиях недостаточной информации о параметрах сигнала и методах помехозащиты в подавляемом РПУ приемнике. Диаграммы распределения мощностей сигнала и помехи в подавляемой ЛРС представлены на рис. 15.

Рис. 15. Диаграммы распределения мощностей сигнала и помехи в подавляемой ДРС



4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОПОДАВЛЕНИЯ РАДИОСВЯЗИ

Виды и содержание методик энергетических расчетов возможности радиоподавления

Оценка возможностей радиоподавления ЛРС включает в себя множество методик, которые в общем случае решают две задачи (прямую и обратную), содержание которых приведено на рис. 16.

Прямая задача. Расчет отношения мощностей помехи и сигнала на входе приемника $K = P_n/P_c$ при известных характеристиках линий радиосвязи и подавления; определение по найденному значению K показателя эффективности радиоподавления $\Pi Э(K)$ и сравнение его с требуемым значением показателя эффективности $\Pi Э_{\text{треб}}$ для определения возможности подавления заданного приемника в заданном месте; при этом если $\Pi Э(K) \geq \Pi Э_{\text{треб}}$, то приемник подавляется, если $\Pi Э(K) < \Pi Э_{\text{треб}}$ – не подавляется.

Обратная задача. Расчет по заданному значению показателя эффективности $\Pi Э_{\text{зад}}$ требуемого отношения мощностей помехи и сигнала на входе приемника, т. е. коэффициента подавления K_n (или требуемого отношения напряженностей поля помехи и сигнала $K_{n,E}$); расчет радиуса зоны подавления R_n по найденному значению K_n для определения возможности подавления всех односторонних ЛРС (приемников) в рассчитанной зоне; при этом если радиус зоны подавления больше или равен дистанции подавления ($R_n \geq D_n$), то приемники подавляются, если $R_n < D_n$ – не подавляются.

Необходимо отметить, что для некоторых видов подавляемых приемников (например, для приемников в аналоговых каналах передачи речевых сообщений) приводятся зависимости показателя эффективности радиоподавления от отношения помеха/сигнал не на входе приемника $\Pi Э(K)$, а на выходе его демодулятора $\Pi Э(K_{\text{вых}})$. Для данных приемников при проведении энергетических расчетов необходимо найти промежуточное значение $K_{\text{вых}}(K)$ при решении прямой задачи и $K_{\text{вых}}(\Pi Э_{\text{зад}})$ при решении обратной.

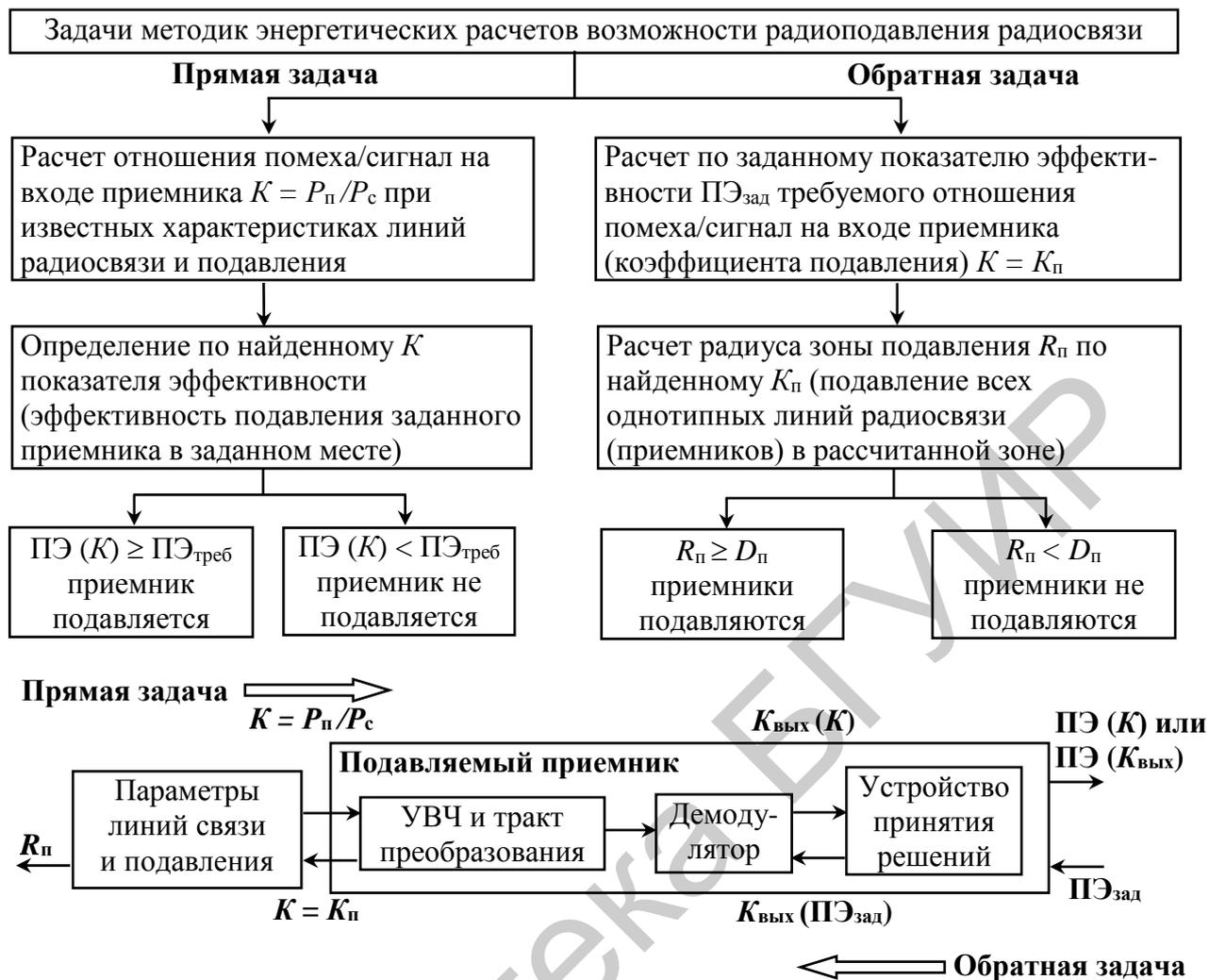


Рис.16. Пояснение задач, решаемых методиками энергетических расчетов возможности радиоподавления радиосвязи

Коэффициенты подавления линий связи зависят от вида подавляемого приемника, параметров модуляции сигнала, структуры помехи и требуемого значения показателя эффективности. Как правило, при проведении расчетов радиоподавления задают высокую степень эффективности (невозможность восстановления передаваемой информации). Для каждого вида радиопередач коэффициенты подавления рассчитываются с учетом конкретных схем построения приемных устройств. Зависимости отношения помеха/сигнал на выходе демодулятора приемного устройства от отношения на входе $K_{\text{вых}}(K)$ и показателя эффективности $\text{ПЭ}[K_{\text{вых}}(K)]$ для дискретных и аналоговых каналов связи приведены в прил. 3. Ориентировочные значения $K_{\text{п.и}} K_{\text{п.е}} = \sqrt{K_{\text{п}}}$, полученные с помощью этих зависимостей, а также требуемая точность совмещения частот помехи и сигнала для различных видов передач указаны в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов подавления и требуемая точность совмещения частот помехи и сигнала для различных видов радиопередач

Вид радиопередачи	Значения коэффициентов подавления		Требуемая точность совмещения частот помехи и сигнала, Гц
	по отношению мощностей ($K_{\text{п}}$)	по отношению напряженностей поля ($K_{\text{п,Е}}$)	
ТЛГ АМн	0,8...1	0,9...1	10...15
ТЛГ ЧМн (ЧТ)	1...1,2	1...1,1	10...15
ТЛГ ФМн	2,5...3	1,6...1,7	10...15
ФотоТЛГ	2,5...4	1,6...2	300
ТЛФ АМ	2,3...3,4	1,5...1,8	150...300
ТЛФ ОМ	25...30	5...5,5	100...150
ТЛФ ЧМ	2...2,5	1,4...1,6	2000...3000

При решении обеих задач необходимо использовать формулы (1), (2) для расчета мощностей помехи и сигнала на входе подавляемого приемника и их отношения.

При решении обратной задачи радиус зоны подавления радиосвязи $R_{\text{п}}$ можно вычислить из формулы (2), если учесть, что на границе зоны подавления $R_{\text{п}} = D_{\text{п}}$, а коэффициент K становится равным коэффициенту подавления $K_{\text{п}}$:

$$R_{\text{п}}^2 \phi(R_{\text{п}}) = \frac{P_{\text{пт}} G_{\text{пт}} G_{\text{прп}} D_{\text{с}}^2 \phi(D_{\text{с}}) \gamma}{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} G_{\text{прс}} K_{\text{п}}}. \quad (3)$$

Множество методик энергетических расчетов возможности радиоподавления в зависимости от диапазона частот, вида связи, способа определения показателей и назначения можно разделить:

– по диапазону частот: наземная УКВ, наземная КВ, авиационная УКВ, спутниковая связь;

– по виду связи: для наземной УКВ-связи – в ближней и дальней зонах; для наземной КВ-связи – поверхностной и пространственной волной; для авиационной УКВ-связи – связь передового авиационного наводчика (ПАН) с самолетом, передового пункта управления (ППУ) и воздушного пункта управления (ВПУ) с самолетом; для спутниковой связи – с обработкой и без обработки информации в спутнике-ретрансляторе;

– по способу определения показателей: по формулам, номограммам, таблицам;

– по назначению расчетов: в авиационной УКВ-связи – определение положения станции помех для срыва наведения самолета на цель, расчет зон подавления и неподавления для выбранного положения станции помех; в спутниковой связи – радиоподавление приемника спутника-ретранслятора или земной станции. Классификация методик энергетических расчетов возможности радиоподавления радиосвязи представлена на рис. 17.



Рис. 17. Классификация методик энергетических расчетов возможности радиоподавления радиосвязи

Энергетические расчеты возможности радиоподавления наземной УКВ-радиосвязи

Методика решения прямой задачи

При решении прямой задачи определяется наличие прямой видимости между передатчиком помех и подавляемым приемником, рассчитывается отношение помеха/сигнал на входе подавляемого приемника K с помощью формулы (2), а затем определяется показатель эффективности радиоподавления ПЭ (K) и сравнивается с требуемым значением $ПЭ_{\text{треб}}$ следующим образом:

1. Определяется дальность прямой видимости ($D_{\text{пр.вид}}$) между антеннами передатчика помех и подавляемого приемника и производится ее сравнение с дистанцией подавления $D_{\text{п}}$. Если $D_{\text{пр.вид}}$ окажется меньше $D_{\text{п}}$, то радиоподавление невозможно, т. к. в УКВ-диапазоне максимальная дальность радиоподавления ограничивается прямой видимостью.

Дальность прямой видимости с учетом кривизны Земли и нормальной атмосферной рефракции определяется по упрощенной формуле:

$$D_{\text{пр.вид}} = 4120(\sqrt{l_{\text{п}}} + \sqrt{l_{\text{пр}}}), \quad (4)$$

где $l_{\text{п}}$, $l_{\text{пр}}$ – высоты антенн передатчика помех и подавляемого приемника.

Формула (4) верна для гладкой ровной поверхности Земли. Для реальной местности дальность прямой видимости должна быть уменьшена на коэффициент рельефа. Например, для слабопересеченной местности реальная дальность прямой видимости

$$D_{\text{пр.вид}}^* = 0,9D_{\text{пр.вид}}. \quad (5)$$

Кроме того, дальность прямой видимости в реальных условиях может быть ограничена отдельными возвышенностями, что определяется по карте. Пояснение ограничения дальности прямой видимости $D_{\text{пр.вид}}^*$ отдельными возвышенностями представлено на рис. 18. В этом случае дальность прямой видимости определяется выражением

$$D_{\text{пр.вид}}^* = \min \{0,9D_{\text{пр.вид}}; D_{\text{пр.вид по карте}}\}. \quad (6)$$

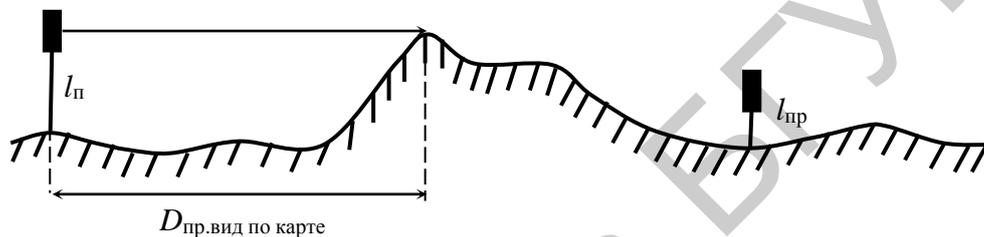


Рис. 18. Пояснение ограничения дальности прямой видимости $D_{\text{пр.вид}}^*$ отдельными возвышенностями

По результатам сравнения $D_{\text{пр.вид}}^*$ и $D_{\text{п}}$ принимаются следующие решения:

- если $D_{\text{пр.вид}}^* < D_{\text{п}}$, то радиоподавление невозможно, отношение помеха/сигнал на входе подавляемого приемника $K = 0$;
- если $D_{\text{пр.вид}}^* \geq D_{\text{п}}$, то для оценки возможности радиоподавления наземной УКВ-линии радиосвязи необходимо выполнить п. 2–4 рассматриваемой методики.

2. Рассчитываются коэффициенты ослабления радиоволн на дистанциях подавления и связи по формуле (2) с учетом интерференции прямого и отраженного (от подстилающей поверхности) лучей и эквивалентных эффективных высот антенн:

$$\frac{1}{\sqrt{\varphi(D_{\text{с}})}} = 2 \left| \sin \frac{2\pi l_{\text{с}}^* l_{\text{пр}}^*}{\lambda D_{\text{с}}} \right|; \quad \frac{1}{\sqrt{\varphi(D_{\text{п}})}} = 2 \left| \sin \frac{2\pi l_{\text{п}}^* l_{\text{пр}}^*}{\lambda D_{\text{п}}} \right|, \quad (7)$$

где $l_{\text{с}}^*$, $l_{\text{п}}^*$, $l_{\text{пр}}^*$ – эквивалентные эффективные высоты антенн передатчика связи, передатчика помех, подавляемого приемника:

$$l_{\text{с,п,пр}}^* = \sqrt{l_{\text{с,п,пр}}^2 + l_0^2}; \quad (8)$$

$l_{\text{с}}$ – высота поднятия антенн передатчика связи;

l_0 – минимальная эффективная высота антенны;

$$l_0^2 = \left(\frac{\lambda}{2\pi q} \right)^2; q^2 = \begin{cases} \frac{\sqrt{(\varepsilon - 1)^2 + (60\lambda\sigma)^2}}{\varepsilon^2 + (60\lambda\sigma)^2} & \text{при вертикальной поляризации,} \\ \sqrt{(\varepsilon - 1)^2 + (60\lambda\sigma)^2} & \text{при горизонтальной поляризации,} \end{cases} \quad (9)$$

где ε, σ – диэлектрическая проницаемость и проводимость подстилающей поверхности (значения ε, σ для различных типов поверхности приведены в таблице 3). Схема применяемых обозначений на трассах распространения сигнала и помехи представлена на рис. 19.

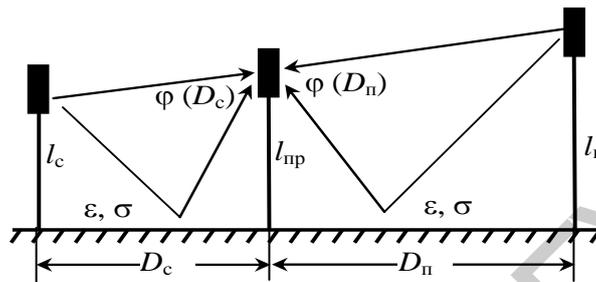


Рис.19. Схема применяемых обозначений на трассах распространения сигнала и помехи

Таблица 3

Диэлектрическая проницаемость ε и проводимость σ различных типов поверхности

Вид поверхности	ε	$\sigma, \text{ м}^{-1}$	$60\lambda\sigma$ при $\lambda = 5 \text{ м}$ (60 МГц)
Морская вода	80	4	1200
Пресная вода	80	10^{-3}	0,3
Влажная почва	10	10^{-2}	3
Сухая почва	4	10^{-3}	0,3
Лес	7	10^{-3}	0,3

Расчет эквивалентных эффективных высот антенн можно упростить в случае применения *высокоподнятых* или *низкоподнятых* антенн.

Для высокоподнятых антенн ($l_{c,п,пр}^2 \gg l_0^2$ или $l_{c,п,пр} > 3l_0$) $l_{c,п,пр}^* \approx l_{c,п,пр}$, а для низкоподнятых ($l_{c,п,пр}^2 \ll l_0^2$ или $l_{c,п,пр} < 0,3l_0$) $l_{c,п,пр}^* \approx l_0$.

Зависимость коэффициента ослабления от дальности представлена на рис. 20.

При расчетах коэффициентов ослабления в дальней зоне, когда $\sin \alpha \approx \alpha$ (при $\alpha < \pi/9$), формулы (7) можно существенно упростить, приведя к виду формулы Введенского:

$$\frac{1}{\sqrt{\varphi(D_{c,п})}} \approx \frac{4\pi l_{c,п}^* l_{пр}^*}{\lambda D_{c,п}} \text{ при } \frac{2\pi l_{c,п}^* l_{пр}^*}{\lambda D_{c,п}} < \frac{\pi}{9} \text{ или } D_{c,п} > \frac{18 l_{c,п}^* l_{пр}^*}{\lambda}. \quad (10)$$

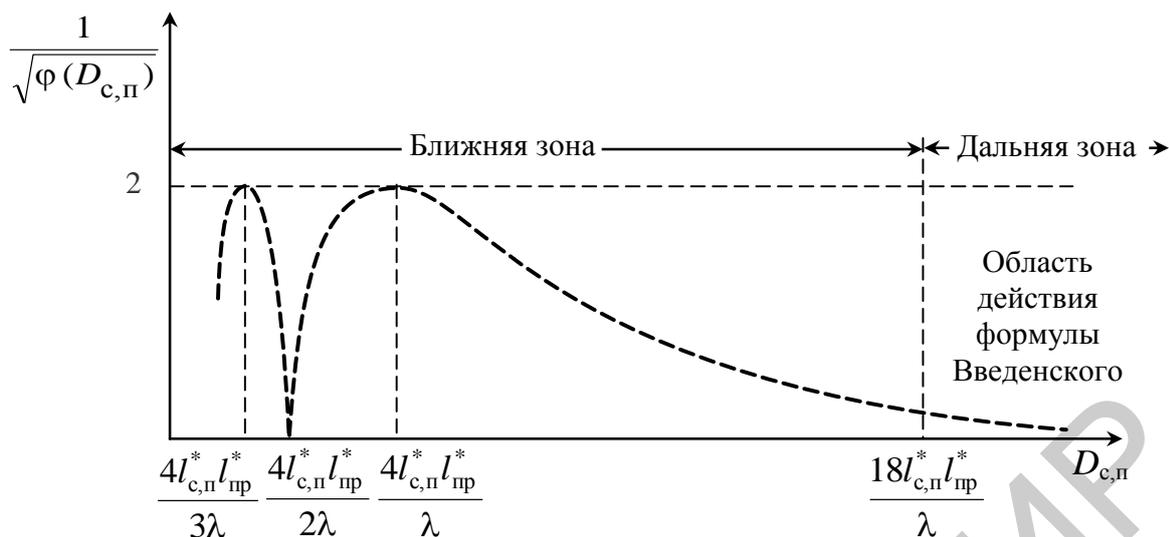


Рис. 20. Зависимость коэффициента ослабления от дальности

В соответствии с формулой (10) коэффициенты ослабления сигнала и помехи на трассах распространения в дальней зоне будут равны:

$$\varphi(D_c) \approx \frac{\lambda^2 D_c^2}{16\pi^2 (l_c^*)^2 (l_{\text{пр}}^*)^2}; \quad \varphi(D_{\text{п}}) \approx \frac{\lambda^2 D_{\text{п}}^2}{16\pi^2 (l_{\text{п}}^*)^2 (l_{\text{пр}}^*)^2}. \quad (11)$$

Из формулы (11) следует, что в дальней зоне для высокоподнятых антенн:

$$\varphi(D_c) \approx \frac{\lambda^2 D_c^2}{16\pi^2 l_c^2 l_{\text{пр}}^2}; \quad \varphi(D_{\text{п}}) \approx \frac{\lambda^2 D_{\text{п}}^2}{16\pi^2 l_{\text{п}}^2 l_{\text{пр}}^2}, \quad (12)$$

для низкоподнятых антенн:

$$\varphi(D_c) \approx \frac{\lambda^2 D_c^2}{16\pi^2 l_0^4}; \quad \varphi(D_{\text{п}}) \approx \frac{\lambda^2 D_{\text{п}}^2}{16\pi^2 l_0^4}. \quad (13)$$

Как правило, граница между ближней и дальней зоной в УКВ-диапазоне имеет значение менее 1000 м, поэтому в большинстве случаев трассы распространения радиоволн лежат в дальней зоне, за исключением случаев радиоподавления с помощью малогабаритной техники помех.

Для применения упрощенных зависимостей из формул (11)–(13) необходимо определить зону, в которой происходит распространение радиоволн сигнала и помехи.

3. Определяется отношение помеха/сигнал на входе подавляемого приемника K по формуле (2) с учетом полученных коэффициентов ослабления сигнала $\varphi(D_c)$ и помехи $\varphi(D_{\text{п}})$, характеристик средств связи и подавления, дистанций связи и подавления.

При расчетах для дальней зоны при подстановке (11) в (2) получим

$$K = \frac{P_{\text{пп}} G_{\text{пп}} G_{\text{прп}} D_c^2 \phi(D_c) \gamma}{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} G_{\text{прс}} D_n^2 \phi(D_n)} = \frac{P_{\text{пп}} G_{\text{пп}} G_{\text{прп}} D_c^4 (l_n^*)^2 \gamma}{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} G_{\text{прс}} D_n^4 (l_c^*)^2}. \quad (14)$$

При расчетах по формулам (2), (14) возможности радиоподавления телефонной радиосвязи с однополосной модуляцией (ОМ) необходимо иметь в виду, что средняя выходная мощность передатчика связи при излучении сигнала с ОМ $P_{\text{псОМ}}$ связана со средней номинальной мощностью передатчика $P_{\text{пс}}$ (измеряемой при излучении немодулированной несущей) зависимостью

$$P_{\text{пс.ОМ}} = 2 \frac{P_{\text{пс}}}{\Pi^2}, \quad (15)$$

где Π – пикфактор излучаемого сигнала, который при передаче речи равен 4.

При этом в формулах (1), (2), (3) и (14) вместо значения $P_{\text{пс}}$ необходимо использовать $P_{\text{псОМ}}$.

4. Рассчитывается показатель эффективности ПЭ (K) в зависимости от вида и параметров модуляции сигнала и структуры помехи, определяется степень эффективности радиоподавления радиосвязи по формулам и критериям, приведенным в разд. 2 и прил. 3.

5. Производится сравнение полученного показателя эффективности ПЭ (K) с требуемым значением $\text{ПЭ}_{\text{треб}}$ и принимаются решения:

- если $\text{ПЭ} (K) \geq \text{ПЭ}_{\text{треб}}$, то приемник подавляется;
- если $\text{ПЭ} (K) < \text{ПЭ}_{\text{треб}}$, то приемник не подавляется.

Пример решения прямой задачи

Пример 1. Произвести оценку эффективности радиоподавления наземной УКВ-радиосвязи в лесном районе в звене «бригада – батальон», в котором работают радиостанции типа АН/VRC-14 ($P_{\text{пс}} = 50$ Вт, $G_{\text{пс}} = G_{\text{прс}} = G_{\text{прп}} = 1,4$, $l_c = l_{\text{пр}} = 4$ м, поляризация вертикальная), при условиях: $f = 70$ МГц, $D_c = 5$ км, вид передачи ТЛГ ФМн, передача данных; параметры СП: $P_{\text{пп}} = 1000$ Вт, $G_{\text{пп}} = 5$, $l_{\text{п}} = 16$ м, $D_{\text{п}} = 20$ км, излучается ФМн-помеха со случайным изменением фазы с вертикальной поляризацией.

Решение:

1. Определяется дальность прямой видимости между антеннами СП и подавляемого приемника с учетом влияния рельефа местности по формулам (4), (5):

$$D_{\text{пр.вид}} = 0,9 \cdot 4120 (\sqrt{4} + \sqrt{16}) = 22\,248 \text{ м.}$$

Т. к. дальность прямой видимости больше дистанции подавления, то выполняются пп. 2–4 методики расчетов.

2. Для расчета коэффициентов ослабления радиоволн сигнала и помехи на дистанциях связи и подавления из табл. 3 определяются параметры подстилающей поверхности (для лесистой местности $\varepsilon = 7$ и $\sigma = 0,001$).

Минимальная эффективная высота подъема антенны (при $f = 70$ МГц) для длины волны $\lambda_{(м)} = 300 / f_{(МГц)} = 4,3$ м и вертикальной поляризации рассчитывается по формулам (9)

$$q^2 = \frac{\sqrt{(7-1)^2 + (60 \cdot 4,3 \cdot 0,001)^2}}{7^2 + (60 \cdot 4,3 \cdot 0,001)^2} = \frac{\sqrt{36 + 0,07}}{49 + 0,07} = 0,12; \quad l_0 = \frac{4,3}{2\pi\sqrt{0,12}} = 1,9 \text{ м.}$$

Т. к. $l_{п} = 16 \text{ м} > 3l_0 = 5,7 \text{ м}$, то антенна передатчика помех является высокоподнятой ($l_{п}^* = l_{п}$), а для передатчика и приемника линии связи необходимо рассчитать эквивалентные эффективные высоты антенн по формуле

$$l_c^* = l_{пр}^* = \sqrt{4^2 + 1,9^2} = 4,4 \text{ м.}$$

3. Для расчета отношения помеха–сигнал на входе подавляемого приемника K с учетом того, что для дистанций связи и подавления выполняются условия дальней зоны ($D_c = 5000 \text{ м} > 18 \cdot 4,4 \cdot 4,4 / 4,3 = 81 \text{ м}$ и $D_{п} = 20\,000 \text{ м} > 18 \cdot 4,4 \cdot 16 / 4,3 = 295 \text{ м}$), используется формула (14)

$$K = \frac{1000 \cdot 5 \cdot 1,4 \cdot 5000^4 \cdot 16^2 \cdot 1}{50 \cdot 1,4 \cdot 1,4 \cdot 20000^4 \cdot 4,4^2} = 3,7.$$

4. Для расчета показателя эффективности (средней вероятности ошибочного приема элементов ФМн сигнала) используется формула (П.3.14)

$$p_{ср} = 0,5 - \frac{1}{\pi} \arcsin\left(\frac{1}{K}\right) = 0,41.$$

5. Найденное значение $p_{ср}$ соответствует высокой степени эффективности радиоподавления.

Методика решения обратной задачи

При решении обратной задачи рассчитывается радиус зоны подавления УКВ-радиосвязи $R_{п}^*$ и сравнивается с дистанцией подавления $D_{п}$ следующим образом:

1. Определяется требуемое значение показателя эффективности для достижения степени эффективности радиоподавления радиосвязи «высокая» (для подавления телефонных каналов связи – «полная»). Для заданного показателя эффективности в зависимости от вида и параметров модуляции сигнала и структуры помехи рассчитывается коэффициент подавления по формулам и критериям, приведенным в разд. 2 и прил. 3. Могут быть использованы значения коэффициентов подавления для различных видов связи, приведенные в табл. 4.

2. Рассчитывается радиус зоны подавления (максимальная дистанция подавления) в общем случае по формуле (3). В случае расчетов для дальней зоны из выражения (14) при строгом равенстве $K = K_{\text{п}}$, $D_{\text{п}} = R_{\text{п}}$ получаем

$$R_{\text{п}} = D_{\text{с}} \sqrt[4]{\frac{P_{\text{пн}} G_{\text{пн}} G_{\text{прп}} (l_{\text{п}}^*)^2 \gamma}{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} G_{\text{прс}} (l_{\text{с}}^*)^2 K_{\text{п}}}}. \quad (16)$$

В случае радиоподавления телефонной радиосвязи с ОМ необходимо в формулу (14) вместо $P_{\text{пс}}$ подставить среднюю выходную мощность станций связи $P_{\text{псОМ}}$, получаемую по формуле (15).

Как правило, антенны передатчиков наземной УКВ-радиосвязи и помех имеют одинаковую (вертикальную) поляризацию ($\gamma = 1$), а приемные антенны не направлены или слабонаправлены ($G_{\text{прс}} = G_{\text{прп}}$). В этом случае формула (14) примет вид

$$R_{\text{п}} = D_{\text{с}} \sqrt[4]{\frac{P_{\text{пн}} G_{\text{пн}} (l_{\text{п}}^*)^2}{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} (l_{\text{с}}^*)^2 K_{\text{п}}}}. \quad (17)$$

3. Определяется дальность прямой видимости между антеннами передатчика помех и подавляемого приемника $D_{\text{пр.вид}}^*$ в соответствии с п. 1 методики решения прямой задачи.

4. Производится сравнение радиуса зоны подавления $R_{\text{п}}$, рассчитанного по формуле (3) или (16), и дальности прямой видимости $D_{\text{пр.вид}}^*$. Реальный радиус зоны подавления находится как наименьшее из этих значений:

$$R_{\text{п}}^* = \min \{ R_{\text{п}} ; D_{\text{пр.вид}}^* \}. \quad (18)$$

5. Производится сравнение полученного реального радиуса зоны подавления и дистанции подавления и принимаются решения:

- если $R_{\text{п}}^* \geq D_{\text{п}}$, то подавляются все приемники в рассчитанной зоне;
- если $R_{\text{п}}^* < D_{\text{п}}$, то приемники на данной дистанции не подавляются (подавляются на дистанциях до $R_{\text{п}}^*$).

Пример решения обратной задачи

Пример 2. Произвести расчет радиуса зоны подавления наземной УКВ-радиосвязи в районе с влажной почвой в звене «дивизия – бригада», в котором работают радиостанции типа AN/VRC-12 ($P_{\text{пс}} = 200$ Вт, $G_{\text{пс}} = G_{\text{прс}} = G_{\text{прп}} = 2$, $l_0 = l_{\text{пр}} = 18$ м, поляризация вертикальная), при условиях: $f = 30$ МГц, $D_{\text{с}} = 15$ км, вид передачи ТЛФ АМ, $P_{\text{с}} = 2,5$, $M_{\text{с}} = 1$, английская речь; параметры СП: $P_{\text{пн}} = 1000$ Вт, $G_{\text{пн}} = 6$, $l_{\text{п}} = 25$ м, излучается ЧМШ-помеха с вертикальной поляризацией.

Решение:

1. При определении требуемого значения показателя эффективности для *полной* степени эффективности радиоподавления английской речи находится $W = 0,75$. Затем по зависимости $K_{\text{вых}}(W)$ для шумовой помехи на выходе

подавляемого приемника из графиков на рис. П.3.2 определяется $K_{\text{вых}} = 0,8$, и по формуле (П.3.19) находится коэффициент подавления

$$K_{\text{п}} = \sqrt{4 \cdot 0,8 / (1 + 2,5^2 / 1^2)} + 1 - 1 = 0,2.$$

2. Для расчета радиуса зоны подавления определяются эквивалентные эффективные высоты антенн передатчиков связи и помех, подавляемого приемника ($l_{\text{с}}^*$, $l_{\text{п}}^*$, $l_{\text{пр}}^*$), для чего вначале рассчитывается минимальная эффективная высота подъема антенны для влажной почвы, длины волны 10 м ($\lambda_{(\text{м})} = 300 / f_{(\text{МГц})}$) и вертикальной поляризации по формулам (9) с учетом параметров почвы, определяемых из табл. 4 ($\epsilon = 10$ и $\sigma = 0,01$):

$$q^2 = \frac{\sqrt{(10-1)^2 + (60 \cdot 10 \cdot 0,01)^2}}{10^2 + (60 \cdot 10 \cdot 0,01)^2} = \frac{\sqrt{81+36}}{100+36} = 0,08; \quad l_0 = \frac{10}{2\pi\sqrt{0,08}} = 5,6 \text{ м.}$$

Т. к. $l_{\text{п}} = 25 \text{ м} > 3l_0 = 16,8 \text{ м}$; $l_{\text{с}} = l_{\text{пр}} = 18 \text{ м} > 3l_0 = 16,8 \text{ м}$, то антенны передатчика и приемника линии связи и передатчика помех являются высокоподнятыми ($l_{\text{п}}^* = l_{\text{п}}$; $l_{\text{с}}^* = l_{\text{с}}$; $l_{\text{пр}}^* = l_{\text{пр}}$).

Для дистанции связи выполняется условие дальней зоны (10) $D_{\text{с}} = 15\,000 \text{ м} > 18 \cdot 18 \cdot 18 / 10 = 583 \text{ м}$. Станции помех всегда будут находиться в дальней зоне в соответствии с их предназначением, в данном примере – на удалении $D_{\text{п}}$ большем, чем $18 \cdot 25 \cdot 18 / 10 = 810 \text{ м}$. Следовательно, можно применить формулу (16) для расчета максимальной дистанции подавления:

$$R_{\text{п}} = 10\,000 \sqrt[4]{\frac{1000 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 25^2 \cdot 1}{200 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 18^2 \cdot 0,2}} = 10\,000 \cdot 3,47 = 34\,700 \text{ м.}$$

3. Дальность прямой видимости между антеннами передатчика помех и подавляемого приемника определяется с учетом влияния рельефа местности:

$$D_{\text{пр.вид}}^* = 0,9 \cdot 4120 (\sqrt{25} + \sqrt{18}) = 34\,270 \text{ м.}$$

Радиус зоны подавления находится по формуле (18) как наименьшее из двух дистанций, т.е. $R_{\text{п}}^* = 34\,270 \text{ м}$.

На основании результатов расчетов принимается решение о размещении станции помех на позиции с учетом того, что радиостанция дивизии находится в глубине на расстоянии до 20 км, а бригады – в глубине на расстоянии до 10 км от линии соприкосновения войск. Следовательно, станция помех может располагаться на удалении до 14 км от линии соприкосновения войск.

Оценка возможностей радиоразведки и радиоподавления наземной УКВ-радиосвязи по номограммам

Для определения возможностей радиоразведки и радиоподавления УКВ-линий радиосвязи могут использоваться номограммы, примеры которых для сухой и влажной почвы при вертикальной поляризации радиоволн приведены в прил. 1. На поле 1 номограмм изображены зависимости

напряженности электромагнитного поля сигнала (помехи) на входе приемника от дистанции связи (подавления) и частоты, рассчитанные по формулам $E_c = \sqrt{30P_{пс}G_{пс}/[D_c^2\varphi(D_c)]}$ ($E_n = \sqrt{30P_{пп}G_{пп}/[D_n^2\varphi(D_n)]}$) с учетом формул (7), для *нормативного* энергопотенциала (произведение мощности передатчика на коэффициент усиления антенны) станции связи (помех), равного $P_{пс}G_{пс} = 1000$ Вт ($P_{пп}G_{пп} = 1000$ Вт). Поле 2 номограмм предназначено для получения из нормативной напряженности поля сигнала (помехи), соответствующей энергопотенциалу в 1000 Вт, реальной напряженности поля сигнала (помехи), которая рассчитана для *действительного энергопотенциала* $P_{пс}G_{пс}$ ($P_{пп}G_{пп}$) станции связи (помех).

Методику определения возможностей радиоразведки и радиоподавления по номограммам рассмотрим на следующем примере.

Пример 3. Определить возможности радиоразведки и радиоподавления УКВ-радиосвязи противника в районе с сухой почвой при работе радиостанций AN/VRC-14 ($P_{пс} = 30$ Вт, $G_{пс} = G_{прс} = G_{прп} = 2$, поляризация вертикальная) при условиях: $f = 45$ МГц, $D_c = 10$ км, вид передачи ТЛГ ЧМн (ЧТ), передача текста; параметры СП: $P_{пп} = 1000$ Вт, $G_{пп} = 6$, $D_n = 15$ км, излучается помеха ХИП ЧТ с вертикальной поляризацией, согласованная с сигналом по частоте, при наихудшем рассогласовании по времени ($\tau = 0,5T$).

Решение:

1. В прил. 1 выбирается номограмма, соответствующая типу подстилающей поверхности (сухая почва).

2. Определяются по графику (поле 1 номограммы), ближайшему к рабочей частоте излучения, нормативные напряженности поля сигнала $E_{с.норм}$ и помехи $E_{п.норм}$ для дистанции связи $D_c = 10$ км (сплошная линия) и подавления $D_n = 15$ км (пунктирная линия).

3. Определяются точки пересечения прямых, проведенных из найденных точек нормативной напряженности поля $E_{с.норм}$, $E_{п.норм}$ параллельно оси D , с вертикальной линией на поле 2, соответствующей энергопотенциалу $P_{пс}G_{пс} = 1000$ Вт ($P_{пп}G_{пп} = 1000$ Вт).

4. Из найденных точек на вертикальной линии $P_{пс}G_{пс} = 1000$ Вт ($P_{пп}G_{пп} = 1000$ Вт) проводятся прямые параллельно косым линиям до пересечения с воображаемыми вертикальными линиями, соответствующими действительным энергопотенциалам станции связи (в примере $P_{пс}G_{пс} = 30 \cdot 2 = 60$ Вт) и станции помех (в примере $P_{пп}G_{пп} = 1000 \cdot 6 = 6000$ Вт).

5. Из полученных точек на воображаемых вертикальных линиях $P_{пс}G_{пс}$ и $P_{пп}G_{пп}$ проводятся прямые параллельно оси D до оси E для определения реальных напряженностей поля сигнала E_c и помехи E_n (в примере $E_c = 3$ мкВ/м, $E_n = 9$ мкВ/м).

6. Для оценки возможности радиоподавления линии радиосвязи сравнивается отношение полученных реальных напряженностей поля помехи и

Сигнала $K_E = E_{\text{п}}/E_{\text{с}}$ с необходимым коэффициентом подавления по напряженности поля $K_{\text{п.Е}}$ в табл. 2 для заданного вида передачи. Если $K_E \geq K_{\text{п.Е}}$, то линия УКВ-радиосвязи может быть подавлена (в примере $K_E = 9/3 = 3 \geq K_{\text{п.Е}} = 1,1$, линия УКВ-радиосвязи может быть подавлена).

Вместо пп. 3–6 данной методики можно по значениям $E_{\text{с.норм}}$ и $E_{\text{п.норм}}$ определить искомое значение K_E , преобразовав формулу (2) к виду:

$$K = \frac{P_{\text{пп}} G_{\text{пп}} G_{\text{прп}} E_{\text{п.норм}}^2}{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} G_{\text{прс}} E_{\text{с.норм}}^2}, \quad K_E = \sqrt{\frac{P_{\text{пп}} G_{\text{пп}} G_{\text{прп}} E_{\text{п.норм}}}{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} G_{\text{прс}} E_{\text{с.норм}}}}$$

Для оценки эффективности радиоподавления линии радиосвязи заданной помехой по формуле (П.3.7) определяется средняя вероятность ошибочного приема элементов сигнала при воздействии помехи, рассогласованной с сигналом по времени, с учетом $K = K_E^2 = 3^2 = 9$

$$p_{\text{ср}}(\tau = 0,5T) = 0,5 \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1+K}} \right] = 0,5 \left[1 - \frac{1}{\sqrt{10}} \right] = 0,34.$$

Рассчитанное значение $p_{\text{ср}}$ соответствует высокой степени эффективности радиоподавления.

7. Определяется возможность радиоразведки линии радиосвязи путем сравнения полученной реальной напряженности поля сигнала на входе разведывательного приемника станции помех $E_{\text{с}}$ (для известной дистанции разведки) с чувствительностью приемника $E_{\text{чувств}}$. Если $E_{\text{с}} \geq E_{\text{чувств}}$, то линия УКВ-радиосвязи может быть разведана.

Оценка возможностей радиоразведки и радиоподавления наземной УКВ-радиосвязи по таблицам

Табличные расчеты предназначены для приближенной оценки возможностей радиоразведки и радиоподавления УКВ-линий радиосвязи. Как правило, в таблицах приводятся результаты расчетов возможности радиоразведки и радиоподавления важнейших УКВ-радиолиний тактического звена управления для типовых радиостанций противника и станций помех, наиболее вероятных (нормативных) дистанций связи и подавления и характерных типов подстилающей поверхности и рельефа местности.

Методику определения возможностей радиоразведки и радиоподавления по таблицам рассмотрим на следующем примере.

Пример 4. Оценить возможности радиоразведки и радиоподавления станцией помех с мощностью $P_{\text{пп}} = 1000$ Вт типовой УКВ-линии радиосвязи противника в звене «бригада – батальон» в районе с влажной почвой при условиях: $f = 40$ МГц, вид передачи ТЛГ ЧМн (ЧТ), $B = 300$ Бод, передача данных; помеха ХИП ЧТ, согласованная с сигналом по времени, при рассогласовании по частоте $\Delta f = 200$ Гц.

Решение:

1. Выбирается таблица, соответствующая типу подстилающей поверхности и характеристикам станции помех (см. табл. 4).

2. Определяется ячейка таблицы на пересечении строки, соответствующей назначенному для подавления направлению радиосвязи, и столбца, соответствующего ближайшему значению частоты. В ячейке приведены четыре числа в виде дроби (по два в числителе и знаменателе).

3. По значениям в числителе определяются отношения напряженности поля сигнала к чувствительности разведывательного приемника станции помех $E_c/E_{\text{чувств}}$ для главной (первое число) и подчиненной (второе число) радиостанций. Если отношение больше единицы, то соответствующий корреспондент радионаправления может быть разведан. Звездочка означает, что отношение меньше единицы, и соответствующий корреспондент не может быть разведан. В приведенном примере оба числа больше единицы, следовательно, и главная и подчиненная радиостанции могут быть разведаны.

4. По значениям в знаменателе определяются отношения напряженности поля помехи к напряженности поля сигнала $K_E = E_{\text{п}}/E_c$ для главной (первое число) и подчиненной (второе число) радиостанций. Если $K_E \geq K_{\text{п.Е}}$, то соответствующий корреспондент радионаправления может быть подавлен. В приведенном примере вместо левого значения в знаменателе звездочка, следовательно, значение K_E для главной радиостанции меньше единицы, и она не может быть подавлена; правое значение $K_E = 1,25 > K_{\text{п.Е}} = 1,1$ (значение $K_{\text{п.Е}}$ взято из табл. 2), значит подчиненная радиостанция может быть подавлена.

Таблица 4

Возможности радиоразведки и радиоподавления УКВ-линий радиосвязи станцией помех с мощностью $P_{\text{пп}} = 1000$ Вт при влажной почве

Направление УКВ-радиосвязи	Мощность излучения радиостанции связи, Вт	Дистанция, км			Условия разведки/подавления на частотах			
		связи и	разведки (подавления)		30 МГц	40 МГц	60 МГц	75 МГц
			главной радиостанции	подчиненной радиостанции				
Дивизия – бригада	50	15	20	10	$\frac{*...4,4}{4...20}$	$\frac{*...2,8}{3,9...19,6}$	$\frac{*...1,7}{9...45}$	$\frac{*...1,7}{2,2...11,1}$
Дивизия – батальон разведки и РЭБ	50	10	20	15	$\frac{*...2}{1,8...3,6}$	$\frac{*...1,3}{1,8...3,6}$	$\frac{*...*}{2...5,2}$	$\frac{*...*}{1,3...3,3}$
Бригада ПА – артдивизион	50	15	25	10	$\frac{*...4,4}{2,6...20}$	$\frac{*...2,8}{2,1...19,6}$	$\frac{*...1,7}{2,5...23}$	$\frac{*...1,7}{2...16,7}$
Батальон разведки и РЭБ – группа СП	20	8	15	10	$\frac{2...4,4}{3,3...8,3}$	$\frac{1,3...2,8}{2,3...5,6}$	$\frac{*...1,7}{2,6...4,6}$	$\frac{*...1,7}{2,5...5}$
Бригада – батальон	15	5	10	7	$\frac{4,4...8}{*...1,2}$	$\frac{2,8...9,4}{*...1,25}$	$\frac{1,4...3,7}{*...1,3}$	$\frac{1,4...3,3}{*...1,4}$
КУТА дивизии – КУТА бригады	50	15	20	10	$\frac{*...4,4}{4...20}$	$\frac{*...2,8}{3,9...19,6}$	$\frac{*...1,7}{5...23}$	$\frac{*...1,7}{3,3...16,7}$

КУТА бригады – ПАН	15	5	10	7	$\frac{4,4...8}{*...1,2}$	$\frac{2,8...9,4}{*...1,25}$	$\frac{1,4...3,7}{*...1,3}$	$\frac{1,4...3,3}{*...1,4}$
-----------------------	----	---	----	---	---------------------------	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------

Аналогично примеру 3 для оценки эффективности радиоподавления подчиненной радиостанции заданной помехой по формулам (П.3.10) определяется средняя вероятность ошибочного приема элементов сигнала при воздействии помехи, рассогласованной с сигналом по частоте, с учетом $K = K_E^2 = 1,25^2 = 1,56$, $T = 1/B = 0,0033$ с:

$$g = \left| \frac{\sin(3,14 \cdot 200 \cdot 0,0033)}{3,14 \cdot 200 \cdot 0,0033} \right| = 0,41, p_{\text{ср}} = 0,5 \cdot 1,56 \cdot 0,41^2 / (1 + 1,56 \cdot 0,41^2) = 0,12.$$

Значение $p_{\text{ср}}$ соответствует высокой степени эффективности радиоподавления подчиненной радиостанции.

Применимость таблиц ограничивается конкретными типами станций помех и радиостанций, мощности которых приведены в заголовке таблицы и соответствующей строке, а также нормативными дистанциями связи, разведки и подавления.

Энергетические расчеты возможности радиоподавления наземной КВ-радиосвязи

Оценка возможностей радиоразведки и радиоподавления линий КВ-радиосвязи так же, как и для УКВ-диапазона, может проводиться по формулам, номограммам и таблицам с учетом номиналов рабочих частот, типов подстилающей поверхности, дистанций связи и подавления, излучаемой мощности радиостанций противника и станций помех. При этом формулы для расчета мощности помехи и сигнала на входе подавляемого приемника для КВ- и УКВ-диапазонов аналогичны, за исключением выражений для расчета коэффициентов ослабления $\phi(D_c)$ и $\phi(D_n)$.

Необходимо различать поверхностное и пространственное распространение радиоволн в КВ-диапазоне, т.к. расчеты коэффициентов ослабления в этих случаях существенно отличаются. Поверхностные радиоволны в КВ-диапазоне, в отличие от УКВ-диапазона, могут огибать земную поверхность (возвышенные формы рельефа), и для них дальность прямой видимости не играет существенной роли. Предельные дистанции связи (подавления) оцениваются из энергетической доступности.

Для пространственного (ионосферного) распространения радиоволн в КВ-диапазоне важное значение имеют дистанция связи (подавления), рабочая частота, а также время года и суток, влияющие на критическую частоту $f_{\text{кр}}$ (критический угол падения $\phi_{\text{кр}}$) волны, отражающейся от ионосферы. Для расчетов необходимо знать коэффициенты поглощения сигнала и помехи в ионосфере при распространении через слои D , E , F_1 (неотклоняющее поглощение) и отражении от слоя F_2 (отклоняющее поглощение).

Характерной особенностью КВ-диапазона является образование зоны радиомолчания между максимальной дальностью распространения поверхностной волны $r_{\text{пов}}$ и минимальной дальностью связи пространственной волной, отраженной от ионосферы $r_{\text{простр}}$. Пояснение принципа образования

зоны радиомолчания в КВ-диапазоне представлено на рис. 21.

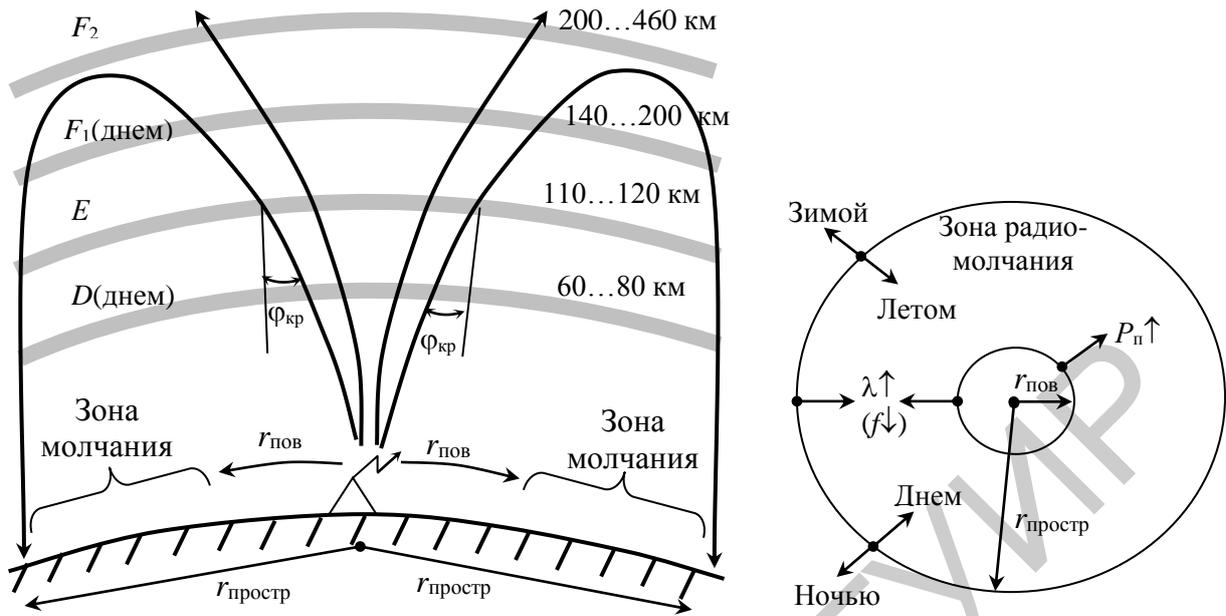


Рис. 21. Пояснение принципа образования зоны радиомолчания в КВ-диапазоне

Расчет возможности радиоподавления наземной КВ-радиосвязи по формулам

Расчет возможности радиоподавления наземной КВ-радиосвязи производится в соответствии с выражением (2). Антенны КВ-диапазона в большинстве случаев можно считать низкоподнятыми, т. к. l_0 для КВ-диапазона составляет более 20 м. При этом коэффициент ослабления аппроксимируется зависимостью

$$\frac{1}{\sqrt{\varphi(D_{c,п})}} = 2 \frac{2 + 0,3x}{2 + x + 0,6x^2}, \quad (19)$$

где $x = \frac{\pi D_{c,п}}{\lambda} \cdot q^2 = \frac{\lambda D_{c,п}}{4\pi l_0^2}$, где q , l_0 – параметр и минимальная эффективная высота антенны.

Характеристики разных типов поверхностей приведены в табл. 3.

При $x \gg 1$ ($x > 25$), т. е. больших дистанциях связи (подавления), формула (17) упрощается к виду:

$$\frac{1}{\sqrt{\varphi(D_{c,п})}} \approx \frac{1}{x} = \frac{4\pi l_0^2}{\lambda D_{c,п}}, \quad \varphi(D_c) \approx \frac{\lambda^2 D_c^2}{16\pi^2 l_0^4}, \quad \varphi(D_п) \approx \frac{\lambda^2 D_п^2}{16\pi^2 l_0^4}, \quad (20)$$

что совпадает с формулами (11) для коэффициентов ослабления УКВ-радиосвязи (низкоподнятые антенны, дальняя зона).

Для применения формулы (18) дистанция связи (подавления) в КВ-диапазоне (для рабочей частоты из середины диапазона) должна быть:

- для влажной почвы – более 5 км;
- для сухой почвы – более 1,5 км;
- для лесных массивов – более 2 км.

Следовательно, в большинстве случаев дистанции связи и подавления в КВ-диапазоне будут соответствовать дальней зоне (за исключением радиоподавления с помощью малогабаритной техники помех), а для расчета коэффициентов ослабления можно использовать формулу (18).

Тогда отношение помеха/сигнал на входе приемника и радиус зоны подавления при распространении сигнала и помехи поверхностной волной в соответствии с (2) определяются выражениями:

$$K = \frac{P_{\text{пп}} G_{\text{пп}} G_{\text{прп}} D_c^4 \gamma}{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} G_{\text{прс}} D_{\text{п}}^4}, \quad R_{\text{п}} = D_c \sqrt[4]{\frac{P_{\text{пп}} G_{\text{пп}} G_{\text{прп}} \gamma}{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} G_{\text{прс}} K_{\text{п}}}}. \quad (21)$$

Пример решения обратной задачи при радиоподавлении КВ-радиосвязи поверхностными волнами

Пример 5. Определить максимальную дистанцию подавления противником КВ-радиосвязи поверхностной волной в звене «бригада – батальон», в котором работают радиостанции Р-130М ($P_{\text{пс}} = 40$ Вт, $G_{\text{пс}} = G_{\text{прс}} = G_{\text{прп}} = 1,4$, поляризация вертикальная) при условиях: $D_c = 8$ км, вид передачи ТЛФ ОМ, русская речь, $\Pi = 4$, параметры СП: $P_{\text{пп}} = 1000$ Вт, $G_{\text{пп}} = 7$, излучается ЧМШ помеха с вертикальной поляризацией.

Решение:

Аналогично примеру 2 определяется требуемое для полной степени эффективности радиоподавления значение разборчивости речи $W = 0,6$ и по зависимости $K_{\text{вых}}(W)$ для шумовой помехи на рис. П.3.2 определяется $K_{\text{вых}} = 3,5$, а по формуле (П.3.20) коэффициент подавления:

$$K_{\text{п}} = K_{\text{вых}} / 0,5 = 3,5 / 0,5 = 7.$$

Излучаемая средняя мощность радиостанции при передаче сигнала с ОМ равна:

$$P_{\text{псОМ}} = 2 \cdot 40 / 4^2 = 5 \text{ Вт},$$

а максимальная дистанция подавления (радиус зоны радиоподавления) по формуле (21)

$$R_{\text{п}} = 8000 \sqrt[4]{\frac{1000 \cdot 7 \cdot 1,4 \cdot 1}{5 \cdot 1,4 \cdot 1,4 \cdot 7}} = 27 \text{ 700 м}$$

Расчет возможности радиоподавления КВ-радиосвязи пространственными волнами

При данном виде расчета необходимо учитывать ослабление сигнала (помехи) при поглощении в ионосфере и при отражениях от ионосферы и земной поверхности.

Коэффициент ослабления для пространственной волны сигнала (помехи) определяется выражением:

$$\frac{1}{\sqrt{\varphi(D_{с,п})}} = \frac{1+R}{4} R^{n-1} \exp(-n\Gamma_{с,п}), \quad (22)$$

где R – коэффициент отражения от земной поверхности, $R = 0,8$;
 n – число «скачков», $n = [D_{[км]}/4000] + 1$; $[*]$ – целая часть числа;
 $\Gamma_{с,п}$ – полный интегральный коэффициент поглощения в ионосфере:

$$\Gamma_{с,п} = \frac{A_{сум}(D_{с,п}, f_{крE})}{(f + 0,8)^2} + B_{откл}(D_{с,п}, H_g) f^2, \quad (23)$$

где $A_{сум}$ – суммарный коэффициент поглощения в слоях D, E, F_1 ;
 $B_{откл}$ – коэффициент отклоняющего поглощения в слое F_2 .

Коэффициенты $A_{сум}$ и $B_{откл}$ определяются по графикам на рис. 22 в зависимости от дистанций связи и подавления ($D_{с,п}$), критической частоты $f_{крE}$ слоя E , высоты H_g слоя F_2 . Последние две характеристики определяются в зависимости от времени года и суток по графикам на рис. 23.

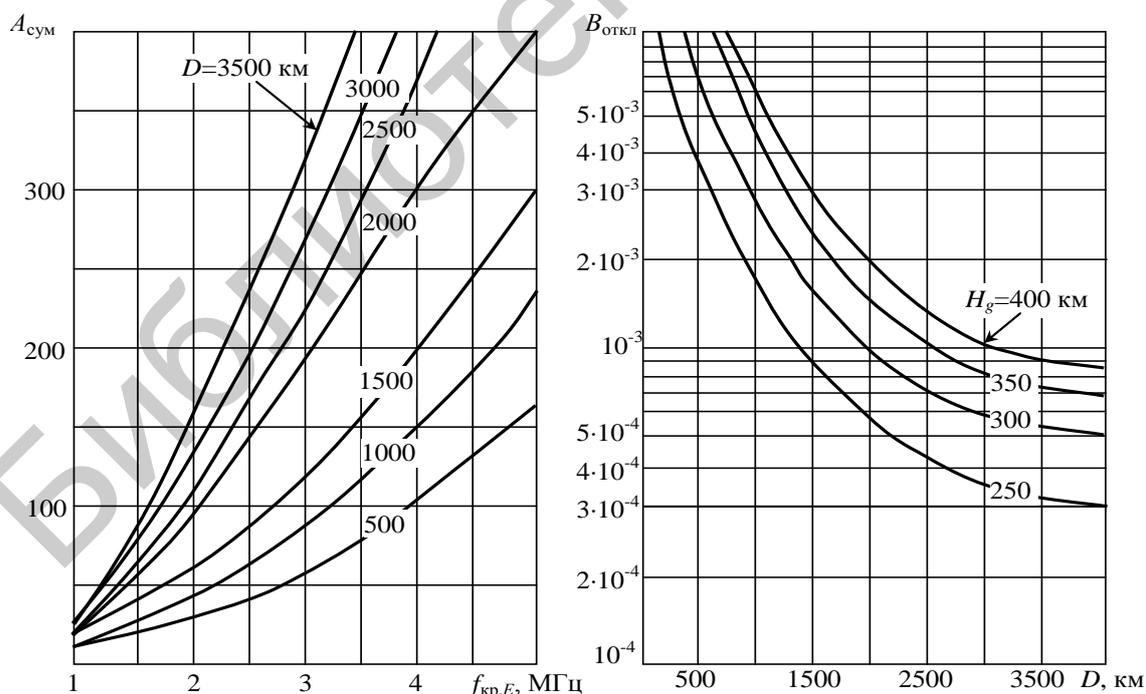


Рис.22. Зависимости коэффициентов $A_{сум}$ и $B_{откл}$ от дистанции связи и подавления (D), критической частоты $f_{кр.E}$ слоя E и высоты H_g слоя F_2

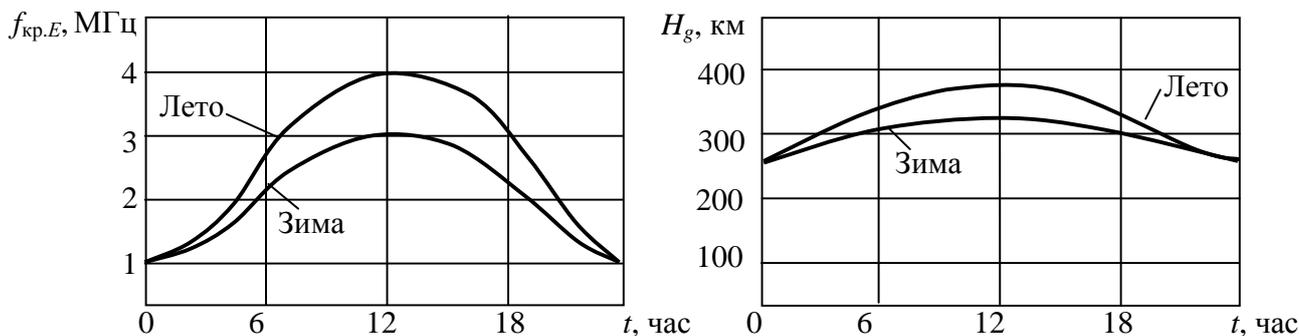


Рис.23. Зависимости критической частоты $f_{кр, E}$ слоя E и высоты H_g слоя F_2 от времени года и суток

Пример решения прямой задачи при радиоподавлении КВ-радиосвязи пространственными волнами

Пример 6. Определить возможность радиоподавления пространственной волной КВ-радиопередачи противника, в которой работают радиостанции AN/GRC-106 ($P_{пс} = 200$ Вт, $G_{пс} = G_{прс} = G_{прп} = 1,3$), при следующих условиях: время года – зима, время суток – 6.00, $f = 5$ МГц, $D_c = 500$ км, вид передачи ТЛГ ЧМн (ЧТ), передача текста, параметры СП: $P_{пп} = 5000$ Вт, $G_{пп} = 4$, $D_{п} = 1500$ км, излучается помеха ХИП ЧТ асинхронная с поляризацией, совпадающей с поляризацией сигнала.

Решение:

Из зависимостей на рис. 23 для заданных времени года и суток определяется критическая частота слоя E $f_{кр, E} = 2$ МГц и высота слоя F_2 $H_g = 300$ км, а из зависимостей на рис. 22 для дистанций связи и подавления – значения коэффициентов для сигнала $A_{сум} = 30$ и $B_{откл} = 7 \cdot 10^{-3}$, $A_{сум} = 60$ и для помехи $B_{откл} = 1,7 \cdot 10^{-3}$.

Далее по формуле (23) определяются полные интегральные коэффициенты поглощения сигнала и помехи в ионосфере:

$$\Gamma_c = \frac{30}{(5 + 0,8)^2} + 7 \cdot 10^{-3} \cdot 5^2 = 1,07,$$

$$\Gamma_{п} = \frac{60}{(5 + 0,8)^2} + 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot 5^2 = 1,82.$$

По формуле (20) рассчитываются коэффициенты ослабления сигнала и помехи:

$$\frac{1}{\sqrt{\varphi(D_c)}} = \frac{1 + 0,8}{4} 0,8^\circ \exp(-1,07) = 0,15, \quad \varphi(D_c) = \frac{1}{0,15^2} = 44,44,$$

$$\frac{1}{\sqrt{\varphi(D_{п})}} = \frac{1 + 0,8}{4} 0,8^\circ \exp(-1,82) = 0,07, \quad \varphi(D_{п}) = \frac{1}{0,07^2} = 204,08.$$

Отношение помеха/сигнал на входе подавляемого приемника рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{5000 \cdot 4 \cdot 1,3 \cdot (5 \cdot 10^5)^2 \cdot 44,44 \cdot 1}{200 \cdot 1,3 \cdot 1,3 \cdot (15 \cdot 10^5)^2 \cdot 204,08} = 1,86.$$

Для подоптимальной (асинхронной) помехи ХИП ЧТ по формуле (П.3.8) определяется

$$p_{cp}(t) = 0,5 \left[1 - \frac{1}{\sqrt{(1 + 0,25 \cdot 1,86)(1 + 1,86)}} \right] = 0,26.$$

Рассчитанное значение p_{cp} соответствует высокой степени эффективности радиоподавления.

Оценка возможностей радиоразведки и радиоподавления наземной КВ-радиосвязи по номограммам и таблицам

Оценка возможностей радиоразведки и радиоподавления наземной КВ-радиосвязи по номограммам

Номограммы для КВ-радиосвязи приведены в прил. 2. Как и в случае УКВ-диапазона, зависимости напряженности электромагнитного поля сигнала (помехи) на входе приемника от дистанции связи (подавления) и частоты, приведенные в средней части номограмм, построены по формулам (1), (19), (22) для *нормативного* энергопотенциала станции связи (помех), равного $P_{пс}G_{пс} = 1000$ Вт ($P_{пп}G_{пп} = 1000$ Вт), при вертикальной поляризации радиоволн.

Методику определения возможностей радиоразведки и радиоподавления КВ-радиосвязи поверхностными волнами рассмотрим на следующем примере.

Пример 7. Определить возможность радиоразведки и радиоподавления КВ-радиолинии связи противника, в которой работают радиостанции AN/GRC-106 ($P_{пс} = 150$ Вт, $G_{пс} = G_{прс} = G_{прп} = 1,33$, $l_c = l_{пр} = 3$ м, поляризация вертикальная), при условиях: $f = 5$ МГц, $D_c = 20$ км, вид передачи ТЛФ ЧМ, английская речь, параметры СП: $P_{пп} = 250$ Вт, $G_{пп} = 4$, $D_{п} = 30$ км, $l_{п} = 12$ м, излучается ЧМШ-помеха с параметрами $\delta_{\omega} = 1,5$, $\delta_0 = 0$, поляризация вертикальная.

Решение:

1. Выбираются номограммы, наиболее близко соответствующие сумме высот подъема антенн передатчика связи и подавляемого приемника ($l_{\Sigma} = 6$ м), станции помех и подавляемого приемника ($l_{\Sigma} = 15$ м). В обоих случаях это номограмма для $l_{\Sigma} = 10$ м.

2. Определяются по графикам, соответствующим заданным дистанциям связи $D_c = 20$ км и подавления $D_{п} = 30$ км, для рабочей частоты $f = 5$ МГц нормативные напряженности поля сигнала $E_{с.норм}$ и помехи $E_{п.норм}$ в пункте приема на оси $E_{норм}$ (в примере $E_{с.норм} = 160$ мкВ/м, $E_{п.норм} = 80$ мкВ/м).

3. Переносятся значения напряженности поля сигнала $E_{с.норм} = 160$ мкВ/м с оси $E_{норм}$ на вспомогательную ось $E_{с.норм}$.

4. Определяется на оси $\delta = (E_{п.норм}/E_{с.норм})^2$ точка, соответствующая отношению квадратов напряженностей поля помехи и сигнала для

нормативных энергопотенциалов передатчиков связи и помех путем проведения прямой через точки $E_{п.норм}$ на оси $E_{норм}$ и $E_{с.норм}$ на оси $E_{с.норм}$.

5. Определяется отношение мощностей помехи и сигнала K на входе подавляемого приемника для реальных энергопотенциалов станции помех $P_{пп}G_{пп} = 250 \cdot 4 = 1000$ Вт и станции связи $P_{пс}G_{пс} = 150 \cdot 1,33 = 200$ Вт путем проведения прямых линий через точки на осях δ и $P_{пп}G_{пп}$ до оси $\delta P_{пп}G_{пп}$ и через точки на осях $\delta P_{пп}G_{пп}$ и $P_{пс}G_{пс}$ до оси K . Полученное значение $K = 1,25$.

6. Определяется возможность радиоподавления ЛРС путем сравнения $K = 1,25$ с коэффициентом подавления по мощности для вида передачи ТЛФ ЧМ из табл.2 ($K_{п} = 2,5$). Т. к. $K < K_{п}$, то линия КВ-радиосвязи не подавляется.

Вместо п. 3–6 данной методики можно по значениям $E_{с.норм}$ и $E_{п.норм}$ определить искомое отношение K , преобразовав формулу (2) к виду

$$K = \frac{P_{пп} G_{пп} G_{прп} E_{п.норм}^2}{P_{пс} G_{пс} G_{прс} E_{с.норм}^2} = \frac{250 \cdot 4 \cdot 1,33 \cdot (80 \cdot 10^{-6})^2}{150 \cdot 1,33 \cdot 1,33 \cdot (160 \cdot 10^{-6})^2} = 1,25.$$

Аналогично примеру 3 для оценки эффективности радиоподавления линии радиосвязи заданной помехой по зависимости на рис. П.3.3 для $K = 1,25$ находятся $K_{вых} = 20$ и $W = 0,17$, что соответствует полной степени эффективности радиоподавления.

7. Определяется возможность радиоразведки ЛРС путем сравнения реальной напряженности поля сигнала E_c на входе разведывательного приемника станции помех, соответствующей дистанции разведки и рабочей частоте (в примере $D_p = 30$ км, $f = 5$ МГц), и определенной по осям на правой стороне номограмм, с чувствительностью приемника $E_{чувств.}$. При этом оси на правой стороне соответствуют: $E_{с.норм}$ – нормативной напряженности поля сигнала; $P_{пс}G_{пс}$ – энергопотенциалу передатчика связи; E_c – реальной напряженности поля сигнала в точке приема (в примере это 80 мкВ/м, 200 Вт, 35 мкВ/м соответственно).

Следует учесть, что существенное влияние на распространение поверхностных волн оказывает влажность почвы: для влажных суглинков напряженность поля сигнала (помехи) возрастает по сравнению с рассчитанной по номограммам в 1,3...1,5 раз; для влажного чернозема – в 3...5 раз; для морской поверхности – в 10...12 раз.

Оценка возможностей радиоразведки и радиоподавления линий КВ-радиосвязи пространственными волнами по номограммам

Для пространственных радиоволн КВ-диапазона распространение практически не зависит от высоты антенны и характера подстилающей поверхности; в данном случае определяющими факторами для радиоразведки и радиоподавления являются высота отражения радиоволн от ионосферы и поглощение в ней.

Методика определения возможностей радиоразведки и радиоподавления КВ-радиосвязи пространственными волнами заключается в следующем:

1. По рис. 23 определяется критическая частота слоя $E f_{кр.E}$.
2. По номограммам (прил. 2), соответствующим критической частоте $E f_{кр.E}$, рабочей частоте и заданным дистанциям связи и подавления, определяются нормативные напряженности поля помехи и сигнала в пункте приема.
3. Выполняются действия, аналогичные пп. 2–7 методики определения возможностей радиоразведки и радиоподавления КВ-радиосвязи поверхностной волной.

Оценка возможностей радиоразведки и радиоподавления КВ-радиосвязи по таблицам

Табличные расчеты производятся аналогично УКВ-радиосвязи. При пространственном распространении волн следует вначале определить по рис. 23 критическую частоту слоя E ионосферы.

Расчетные возможности радиоразведки и радиоподавления КВ-линий радиосвязи станцией помех с мощностью $P_{пп} = 1000$ Вт поверхностной волной приведены в табл. 5, а пространственной волной для станции помех с мощностью $P_{пп} = 5000$ Вт – в табл. 6.

Таблица 5

Возможности радиоразведки и радиоподавления линий КВ-радиосвязи
поверхностной волной станцией помех с мощностью $P_{пп} = 1000$ Вт (вариант)

Направление КВ-радиосвязи	Мощность излучения радиостанции связи, Вт	Дистанция, км			Условия разведки/подавления на частотах				
		связи	разведки (подавления)		3 МГц	5 МГц	7,5 МГц	10 МГц	15 МГц
			главной радиостанции	подчиненной радиостанции					
ОАК – дивизия	1000	30	45	20	<u>29...178</u> *...3,9	<u>10...100</u> *...4,6	<u>7,8...57</u> *...3,7	<u>4,8...36</u> *...3,8	<u>2...15</u> *...3,3
Дивизия – бригада	400	15	20	10	<u>9,3...34</u> *...*	<u>6,5...18</u> *...*	<u>5...11</u> *...*	<u>3...5,5</u> *...*	<u>1,3...2,2</u> *...*
ОАК – КП дивизиона ОТР	400	15	45	35	<u>113...452</u> 1,4...6,8	<u>63...283</u> 2...8,9	<u>36...181</u> 1,5...7,3	<u>22...104</u> 1,4...8	<u>9,5...41</u> 1,6...7
Бригада – батальон	100	4	10	7	<u>226...452</u> *...1,7	<u>142...240</u> *...1,5	<u>90...147</u> *...1,4	<u>52...96</u> *...1,5	<u>20...47</u> *...1,6
Бригада ПВО – КП дивизиона «Patriot»	1000	35	55	25	<u>19...107</u> *...3,5	<u>8,6...55</u> *...3,3	<u>4,3...36</u> *...3,6	<u>2,6...19</u> *...3,7	<u>1...7</u> *...3,5

Примечание. ОАК – объединенный армейский корпус; ОТР – оперативно-тактические ракеты.

Таблица 6

Возможности радиоразведки и радиоподавления линий КВ радиосвязи пространственной волной станцией помех с мощностью $P_{\text{пп}} = 5000$ Вт (вариант)

Направление КВ-радиосвязи	Мощность излучения радиостанции связи, Вт	Дистанция, км			Условия разведки/подавления на частотах								
		связи	разведки (подавления)		$f_{\text{кр.Е}} = 1$ МГц			$f_{\text{кр.Е}} = 2$ МГц			$f_{\text{кр.Е}} = 3$ МГц		
			главной радиостанции	подчиненной радиостанции	3 МГц	3 МГц	5 МГц	3 МГц	5 МГц	7,5 МГц	3 МГц	5 МГц	7,5 МГц
Объединенное командование – ОАК	2500	120	355	245	<u>96...90</u> 39...37	<u>29...34</u> 12...14	<u>54...56</u> 74...78	<u>6,8...7,9</u> 2,8...3,2	<u>19...22</u> 24...31	<u>30...28</u> 91...84			
ЦУВО – ЦКВО	1000	100	450	380	<u>54...61</u> 34...39	<u>16...18</u> 10...12	<u>31...34</u> 45...50	<u>3,2...3,9</u> 2,1...2,5	<u>10...12</u> 14...17	<u>19...21</u> 59...65			
ОЦС ПВО – ЦУО	2500	150	450	355	<u>90...96</u> 64...68	<u>25...29</u> 18...21	<u>49...54</u> 84...94	<u>5...6,8</u> 3,6...4,8	<u>16...19</u> 24...33	<u>30...30</u> 111...113			
ЦУО – ПУО	1000	100	335	245	<u>62...57</u> 40...37	<u>19...21</u> 12...1,4	<u>35...35</u> 51...51	<u>4,3...4,9</u> 2,8...3,2	<u>13...14</u> 19...20	<u>20...18</u> 63...56			
ЦУТА – ЦКВО	1000	150	365	245	<u>61...57</u> 104...101	<u>18...21</u> 32...38	<u>34...35</u> 150...153	<u>3,9...4,3</u> 4...8,8	<u>13...14</u> 55...60	<u>19...18</u> 178...168			
ЦУТА – КП авиакрыла	1000	50	365	335	<u>61...62</u> 6,1...6,3	<u>18...19</u> 1,8...1,9	<u>34...35</u> 9,4...9,5	<u>3,9...4,3</u> *...*	<u>13...12</u> 3,5...3,2	<u>19...20</u> 9,9...10			

Примечание. ЦУВО – центр управления воздушными операциями; ЦКВО – центр координации воздушных операций; ОЦС – оперативный центр сектора; ЦУО – центр управления и оповещения; ПУО – пункт управления и оповещения; ЦУТА – центр управления тактической авиацией.

Энергетические расчеты возможности радиоподавления УКВ-радиосвязи авиации

УКВ-радиосвязь авиации предназначена для наведения самолетов тактической и армейской авиации на наземные и воздушные цели. Она организуется в виде линий радиосвязи «ВПУ – самолет», «ППУ – самолет», «ПАН – самолет».

Основные характеристики взаимного расположения приемной антенны самолета ($l_{\text{пр}}$), передающих антенн ВПУ ($l_{\text{с.ВПУ}}$), ППУ ($l_{\text{с.ППУ}}$), ПАН ($l_{\text{с.ПАН}}$), станции помех ($l_{\text{п}}$) приведены на рис. 24. При этом высота антенны приемника линии связи $l_{\text{пр}}$ принимается равной высоте полета самолета; типовые удаления от линии соприкосновения войск для ВПУ – 100...200 км, ППУ – 15...20 км, ПАН – 1...1,5 км, станций помех – 4...6 км.

Расчет возможности радиоподавления УКВ-радиосвязи авиации по формулам

Т. к. УКВ-радиосвязь авиации предназначена для наведения самолетов на цели, то объектом радиоподавления является приемник самолета. Основные характеристики взаимного расположения и высот антенн самолета, ВПУ, ППУ, ПАН и станции помех представлены на рис. 24.

Расчеты радиоподавления УКВ-связи авиации имеют ряд особенностей

по сравнению с наземной УКВ-связью:

1. Вследствие большой высоты подъема приемной антенны подавляемого приемника на самолете радиус зоны подавления (практически при любой мощности применяемых в настоящее время станций помех) равен дальности прямой видимости и имеет значения, значительно превышающие значения для наземной УКВ-связи. Так, при налете авиации на малых высотах (например 750 м) дистанция подавления составит 130 км, при налете на средних и больших высотах (например 2000 м) – 200 км:

$$R_{\Pi} = D_{\text{пр.вид}} = 4120 (\sqrt{l_{\Pi}} + \sqrt{l_{\text{пр}}}) = \begin{cases} 130 \text{ км} & \text{при } l_{\text{пр}} = 750 \text{ м}, l_{\Pi} = 16 \text{ м}, \\ 200 \text{ км} & \text{при } l_{\text{пр}} = 2000 \text{ м}, l_{\Pi} = 16 \text{ м}. \end{cases} \quad (24)$$

2. Вследствие того, что в диапазоне частот УКВ-радиосвязи авиации 100...400 МГц минимальная эффективная высота антенны l_0 для любого типа почвы не более 2,5 м, то антенны самолета ($l_{\text{пр}} > 100$ м), ВПУ ($l_c > 100$ м), ППУ ($l_c > 10$ м), станции помех ($l_{\Pi} = 12...16$ м) являются высокоподнятыми, а антенна ПАН ($l_c = 1...2$ м) сравнима по высоте с l_0 .

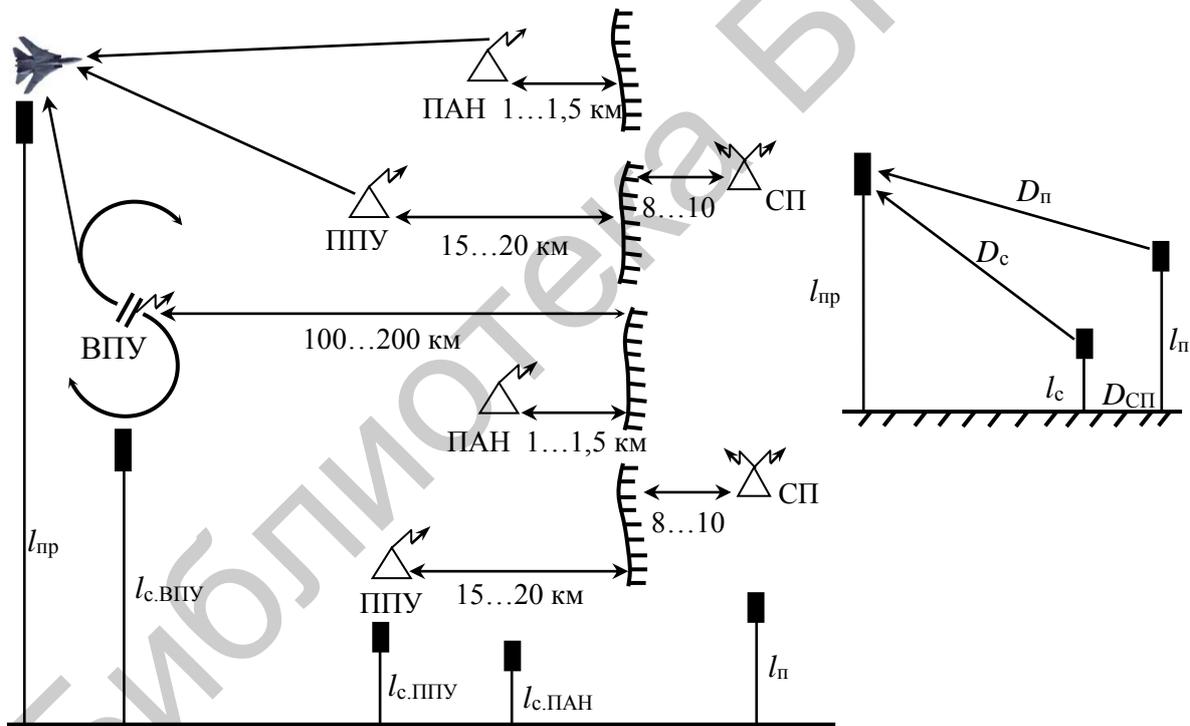


Рис. 24. Основные характеристики взаимного расположения и высот антенн самолета, ВПУ, ППУ, ПАН и станции помех

3. Вследствие применения на самолетах ненаправленных антенн $G_{\text{прс}} = G_{\text{прп}}$.

4. Вследствие постоянного изменения положения самолета относительно ВПУ, ППУ, ПАН и станции помех динамично изменяются дистанции связи D_c и подавления D_{Π} , а значит и отношение помеха/сигнал на входе подавляемого приемника $(P_{\Pi}/P_c)_{\text{вх}}$ (рис. 25). При этом образуются области пространства, в которых $(P_{\Pi}/P_c)_{\text{вх}} > K_{\Pi}$ (зоны подавления), и области пространства возле

пунктов управления, в которых $(P_{\text{п}}/P_{\text{с}})_{\text{вх}} < K_{\text{п}}$ (зоны неподавления). На границе зон подавления и неподавления $(P_{\text{п}}/P_{\text{с}})_{\text{вх}} = K_{\text{п}}$.

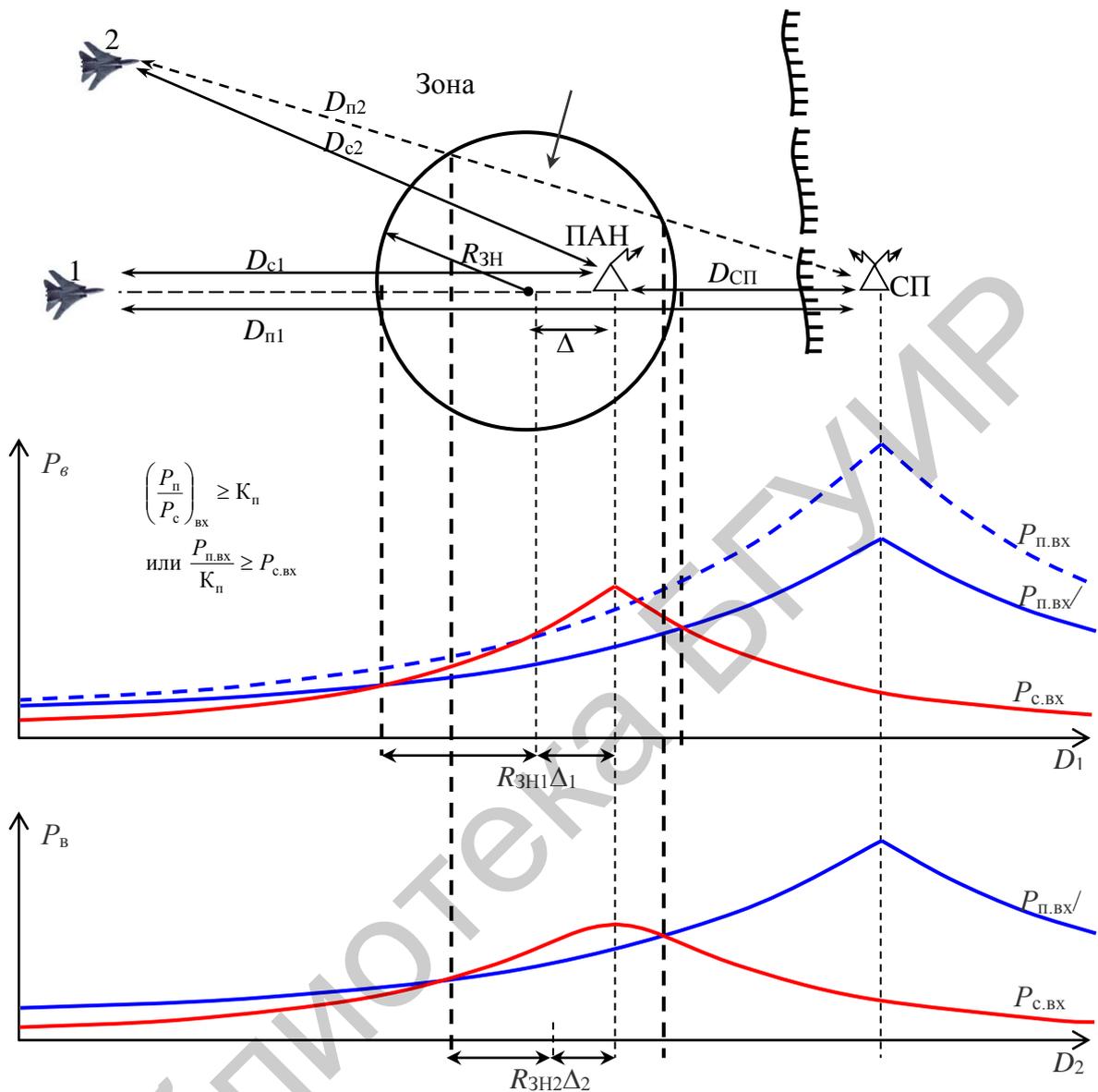


Рис. 25. Пояснение расчетов радиоподавления линий связи «ПАУ – самолет»

5. Вследствие того, что расчеты возможностей радиоподавления УКВ-радиосвязи авиации возле пунктов управления проводятся практически для случая ближней зоны, коэффициенты ослабления сигнала и помехи, усредненные для множества дистанций связи и подавления на траектории полета самолета можно считать приблизительно равными. Тогда на границе зон подавления и неподавления

$$\frac{D_{\text{п}}}{D_{\text{с}}} = \sqrt{\frac{P_{\text{пн}} G_{\text{пн}} G_{\text{уп}} \gamma}{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} G_{\text{прс}} K_{\text{п}}}} = \sqrt{\frac{P_{\text{пн}} G_{\text{пн}} \gamma}{P_{\text{пс}} G_{\text{пс}} K_{\text{п}}}} = \text{const} = a. \quad (25)$$

При этом из (25) следует, что зоны неподавления представляют собой круги радиусом

$$R_{\text{ЗН}} = D_{\text{СП}} \frac{a}{a^2 - 1}, \quad (26)$$

где $D_{\text{СП}}$ – расстояние между станцией помех и передатчиком линии связи (ВПУ, ППУ, ПАН).

6. Вследствие того, что со стороны станции помех (см. рис. 25) условие эффективного радиоподавления (отношение $(P_{\text{п}}/P_{\text{с}})_{\text{вх}} \geq K_{\text{п}}$) выполняется ближе к передатчику линии связи, чем с обратной стороны, центр зоны неподавления смещен от передатчика линии связи в сторону, обратную расположению станции помех, на расстояние Δ по линии, проходящей через точки расположения передатчика линии связи и станции помех:

$$\Delta = \frac{D_{\text{СП}}}{a^2 - 1}. \quad (27)$$

Определение зон подавления и неподавления УКВ-радиосвязи авиации

Методика расчетов радиоподавления линий связи «ПАН – самолет»

Расчеты в данном случае проводятся в два этапа:

1. Определение положения станции помех для срыва наведения самолетов на цели.

2. Расчет параметров зон подавления и неподавления радиосвязи при выбранном положении станции помех, отображение положения станции помех и рассчитанных зон на карте.

На первом этапе при определении местоположения станции помех, при котором не будет происходить наведение самолетов на цель, вначале определяется максимально допустимое удаление станции помех от ПАН $D_{\text{СП макс}}$. При этом исходят из того, что для уверенного срыва наведения самолета на цель передовым авиационным наводчиком максимальное время нахождения самолета в зоне неподавления $t_{\text{нах.в зоне}}$ должно быть меньше необходимого времени наведения $t_{\text{нав.необх}}$.

Обычно принимается

$$t_{\text{нах.в зоне}} \leq t_{\text{нав.необх}} / 2, \quad (28)$$

где $t_{\text{нав.необх}} = 40 \dots 60$ с.

Т. к. максимальным время нахождения самолета в зоне неподавления будет при его пролете над центром зоны, то

$$t_{\text{нах.в зоне}} = 2R_{\text{ЗН}}/V, \quad (29)$$

где V – скорость полета самолета.

Тогда из (28) и (29) следует, что допустимая зона неподавления (при условии обеспечения срыва наведения самолета на цель):

$$R_{\text{ЗН}} \leq V t_{\text{нав.необх}} / 4. \quad (30)$$

Максимально допустимое удаление станции помех от ПАН соответствует максимальному значению радиуса зоны неподавления

$$R_{\text{ЗН макс}} = V_{\text{нав.необх}}/4 \quad (31)$$

и определяется из (26):

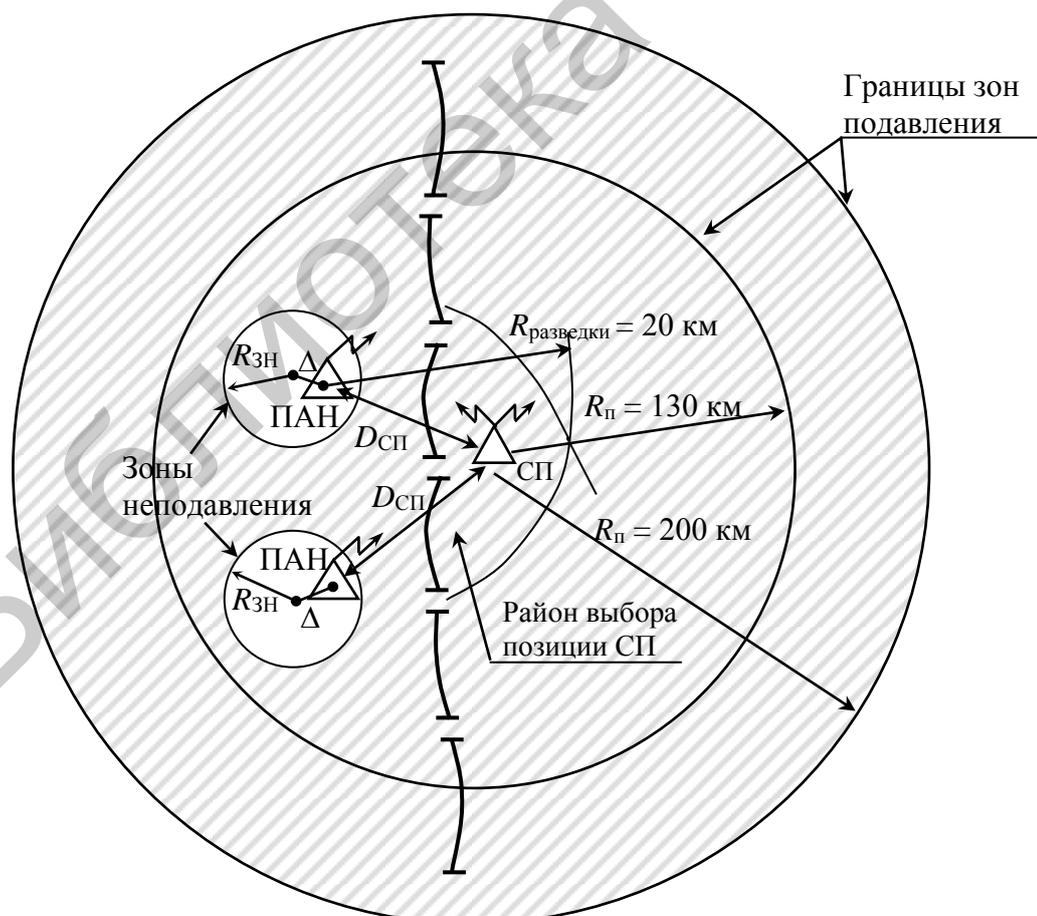
$$D_{\text{СП макс}} = R_{\text{ЗН макс}} (a^2 - 1)/a. \quad (32)$$

В результате расчетов выбирается местоположение станции помех относительно ПАН из условия $D_{\text{СП}} \leq D_{\text{СП макс}}$.

При этом позиционный район станции помех УКВ-радиосвязи авиации выбирается из условий:

– на удалении 4...6 км от линии соприкосновения войск с целью защиты станции помех от огневого поражения противником;

– в районе, ограниченном дугами радиусом, равным дальности прямой видимости антенн ПАН и СП (около 20 км), для обеспечения допустимой дистанции разведки $R_{\text{разведки}}$ радиостанции ПАН разведывательными приемниками станций помех. Дуги строятся из точек возможного местоположения двух ПАН (на фронте шириной до 5 км, соответствующей расстоянию между батальонами первого эшелона) в полосе ответственности подразделения помех до их взаимного пересечения. Зоны подавления



радиолиний наведения «ПАН – самолет» представлены на рис. 26.

Рис. 26. Зоны подавления радиолиний наведения «ПАН – самолет»

На втором этапе:

– рассчитывается радиус зоны подавления как дальность прямой видимости приемника самолета по формуле (24);

– определяются параметры зоны неподавления по формулам (26), (27) для выбранного на первом этапе значения $D_{СП}$;

– производится построение зон подавления и неподавления по результатам расчетов. При этом границей зоны подавления является окружность, построенная из центра позиционного района станции помех, радиусом, равным дистанции прямой видимости. Для упрощения расчетов радиус зоны подавления может приниматься равным 130 км при налете авиации на малых высотах и 200 км – на средних и больших высотах.

Для типовых радиостанций ПАН и станции помех, а также нормативных удалений ПАН и станции помех от линии соприкосновения войск радиус зоны неподавления обычно составляет $R_{ЗН} \approx 2...5$ км, а смещение центра зоны неподавления $-\Delta \approx 0,5...2$ км.

Рассмотрим пример расчетов зон подавления и неподавления линий связи «ПАН – самолет»

Пример 8. Произвести расчет радиоподавления радиосвязи «ПАН – самолет» для радиостанции AN/VRC-83 ($P_{пс} = 30$ Вт, $G_{пс} = 2$, $l_c = 10$ м, поляризация вертикальная) при условиях: вид передачи ФМн, передача текста, $V = 900$ км/ч, $t_{нав.необх} = 40$ с, $l_{пр} = 500$ м, параметры СП: $P_{пп} = 1000$ Вт, $G_{пп} = 6$, $l_{п} = 16$ м, излучается ФМн помеха со случайным изменением фазы с вертикальной поляризацией.

Решение:

На первом этапе для определения местоположения СП для срыва наведения самолетов на цель вначале по формуле (31) рассчитывается максимальный радиус зоны неподавления

$$R_{ЗН \max} = (9 \cdot 10^5 / 3600) \cdot 40 / 4 = 2500 \text{ м.}$$

Для *высокой* степени эффективности радиоподавления определяется требуемое значение показателя эффективности $p_{ср} = 0,1$. Затем из формулы (П.3.14) рассчитывается коэффициент подавления:

$$K_{п} = 1 / \sin((0,5 - p_{ср}) \pi) = 1 / \sin(0,4\pi) = 1,05.$$

Значение коэффициента a :

$$a = \sqrt{\frac{1000 \cdot 6 \cdot 1}{30 \cdot 2 \cdot 1,05}} = 9,76.$$

Далее по формуле (32) рассчитывается максимальное удаление станции помех от ПАН

$$D_{СП \max} = 2500 \cdot (9,76^2 - 1) / 9,76 = 24 \ 140 \text{ м.}$$

С учетом расположения ПАН на удалении до 1,5 км, а СП – на удалении до 10 км от линии соприкосновения войск (см. рис. 24) выбирается позиционный район станции помех, соответствующий $D_{СП} = 1500 + 10\,000 = 11\,500 \text{ м} < D_{СП \text{ макс.}}$

На втором этапе рассчитывается радиус зоны подавления самолетной УКВ-радиосвязи по формуле (24):

$$R_{п} = 4120 (\sqrt{16} + \sqrt{500}) = 108\,600 \text{ м.}$$

Для выбранного на первом этапе значения $D_{СП} = 11\,500 \text{ м}$ определяются параметры зоны неподавления по формулам (26), (27):

$$R_{ЗН} = 11\,500 \cdot 9,76 / (9,76^2 - 1) = 1191 \text{ м,}$$

$$\Delta = 11\,500 / (9,76^2 - 1) = 122 \text{ м.}$$

По полученным значениям $R_{п}$, $R_{ЗН}$, Δ может быть произведено построение зон подавления и неподавления на карте в соответствии с рис. 26.

Методика расчетов радиоподавления линий связи «ППУ – самолет», «ВПУ – самолет»

В данном случае расчеты по первому этапу не проводятся, т. к. не происходит наведение самолетов на наземные цели. Задача ППУ и ВПУ – вывод самолетов к линии соприкосновения войск.

При расчетах по второму этапу параметры зон подавления и неподавления определяются по тем же формулам, что и для подавления связи «ПАН – самолет». Однако в данном случае расчеты имеют особенности по сравнению с расчетами линий «ПАН – самолет». Вследствие большей мощности радиостанций $P_{пс}$ ППУ и ВПУ по сравнению с ПАН и их большего удаления от станции помех $D_{СП}$, а значит, меньшего параметра a и большего радиуса зоны неподавления $R_{ЗН}$:

– радиусы зон неподавления $R_{ЗН}$ в этом случае сравнимы с радиусом зоны подавления $R_{п}$ (дальностью прямой видимости $D_{пр.вид}$);

– границы зон неподавления превращаются в переднюю границу зоны подавления. Зоны подавления радиолиний наведения «ППУ – самолет», «ВПУ – самолет» представлены на рис. 27 и 28 соответственно, зона подавления из полного круга – в круг с вырезанными округлыми сегментами;

– увеличивается дистанция разведки радиостанций ППУ, ВПУ, а значит, увеличивается район для выбора местоположения станций помех. Максимальная дистанция радиоразведки (дистанция прямой видимости между антеннами пункта управления и СП) для ППУ составляет 35 км, для ВПУ – 300 км. Для ВПУ зоны радиоразведки и радиоподавления строятся из центра зоны барражирования.

Для типовых радиостанций ППУ, ВПУ и станции помех, чтобы упростить процедуры построения зон подавления и неподавления, иногда принимается $R_{ЗН} = 2,4D_{СП}$; $\Delta = 2D_{СП}$.

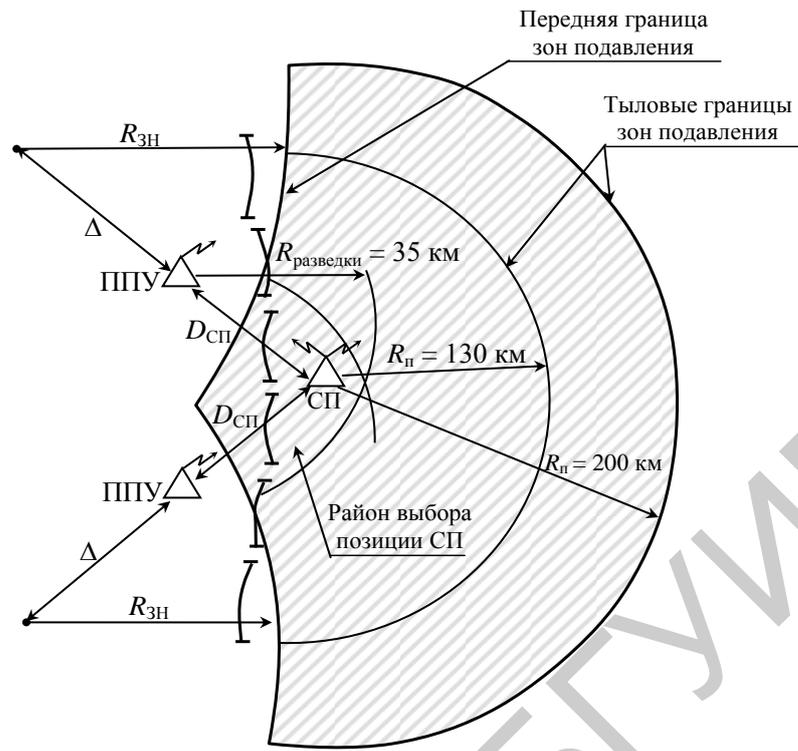


Рис. 27. Зоны подавления радиолиний наведения «ППУ – самолет»

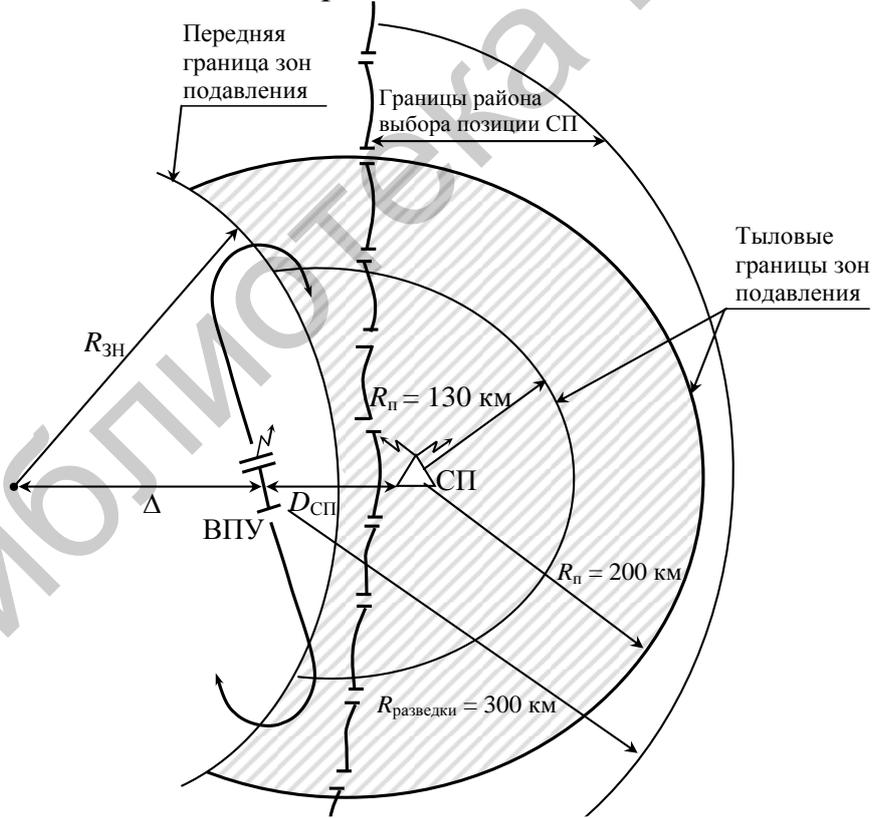


Рис. 28. Зоны подавления радиолиний наведения «ВПУ – самолет»

**Пример расчетов зон подавления и неподавления линий связи
«ППУ – самолет»**

Пример 9. Провести расчет радиоподавления радиосвязи «ППУ – самолет», в которой работает радиостанция AN/TRC-87 ($P_{\text{пс}} = 1000$ Вт, $G_{\text{пс}} = 1,4$, $l_c = 10$ м, поляризация вертикальная), при условиях: вид передачи – передача аналоговых телеметрических сигналов, $l_{\text{пр}} = 900$ м, параметры СП: $P_{\text{сп}} = 1000$ Вт, $G_{\text{сп}} = 6$, $l_{\text{п}} = 16$ м, $D_{\text{СП}} = 35$ км, излучается оптимальная помеха с вертикальной поляризацией.

Решение:

Для *высокой* степени эффективности радиоподавления требуемое значение показателя эффективности $\delta^2 = 0,75$. Затем по формуле (П.3.17) рассчитывается коэффициент подавления $K_{\text{п}} = 0,75/(1-0,75) = 3$.

По формуле (25) рассчитывается значение коэффициента a :

$$a = \sqrt{\frac{1000 \cdot 6 \cdot 1}{1000 \cdot 1,4 \cdot 3}} = 1,2.$$

Далее по формулам (26), (27), (24) рассчитываются радиус зоны неподавления, смещение центра зоны неподавления и радиус зоны подавления:

$$R_{\text{ЗН}} = 35\,000 \cdot 1,2 / (1,2^2 - 1) = 95\,450 \text{ м},$$

$$\Delta = 35\,000 / (1,2^2 - 1) = 79\,550 \text{ м},$$

$$R_{\text{п}} = 4120 (\sqrt{16} + \sqrt{900}) = 140\,080 \text{ м}.$$

По полученным значениям $R_{\text{п}}$, $R_{\text{ЗН}}$, Δ с учетом значения $D_{\text{СП}}$ может быть произведено построение зон подавления и неподавления на карте в соответствии с рис. 27.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общеизвестно, что для оценки эффективности деятельности, в том числе и управления войсками (силами) необходимо провести анализ конкретных величин. Для принятой системы управления войсками, а значит и для ее важнейшей составляющей, системы связи, эти величины должны дать всестороннюю характеристику.

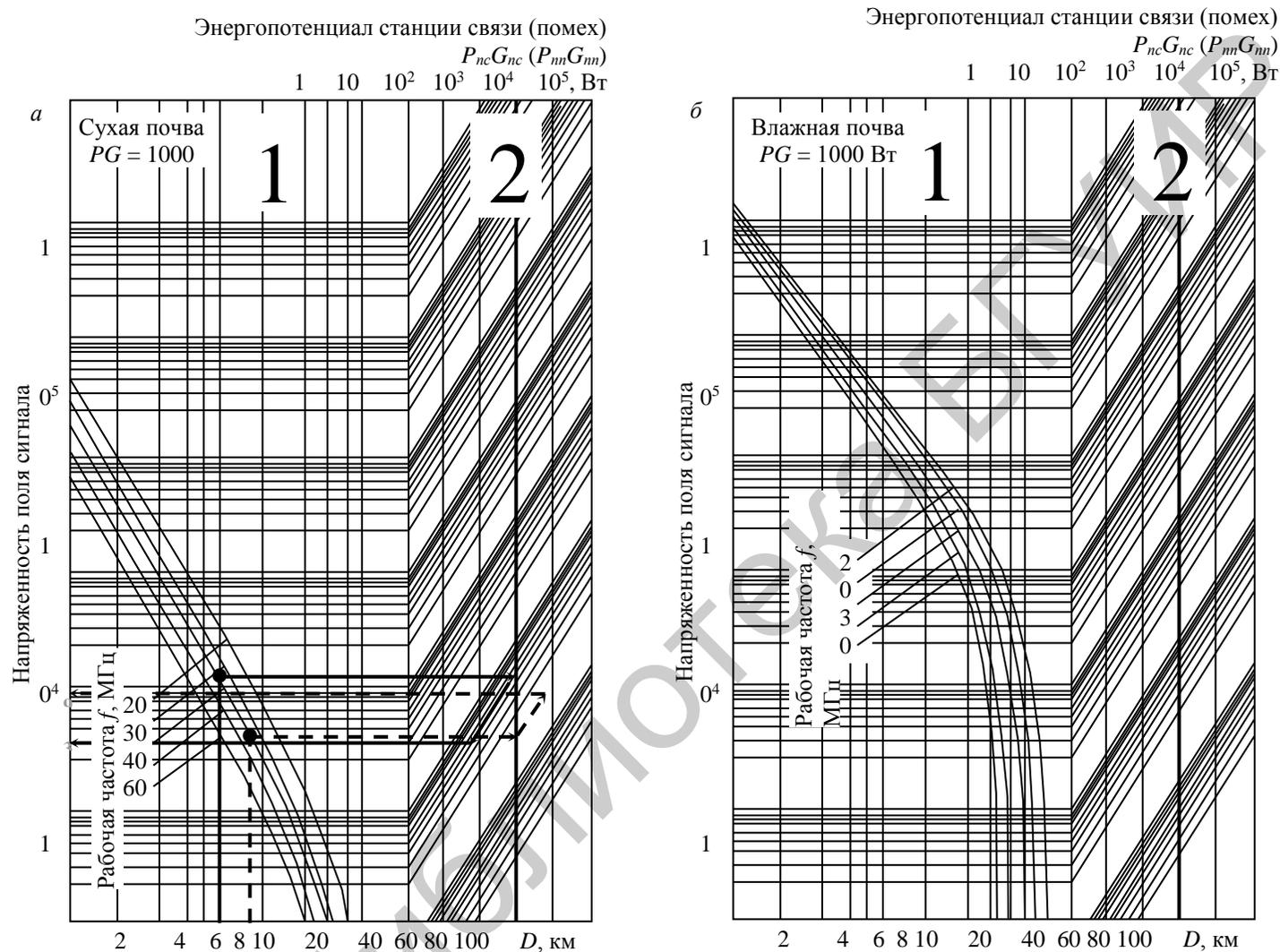
Сложность оценки эффективности управления войсками (силами) на сегодняшний день обуславливается тем, что сама методология оценки находится еще в стадии развития. Имеющиеся расчетные задачи позволяют учесть влияние функционирования только отдельных элементов системы связи в различных условиях обстановки.

Проблема оценивания эффективности имеет концептуальный, методологический и методический аспекты.

В концептуальном аспекте необходимо четко определить, что следует понимать под эффективностью функционирования системы военной связи.

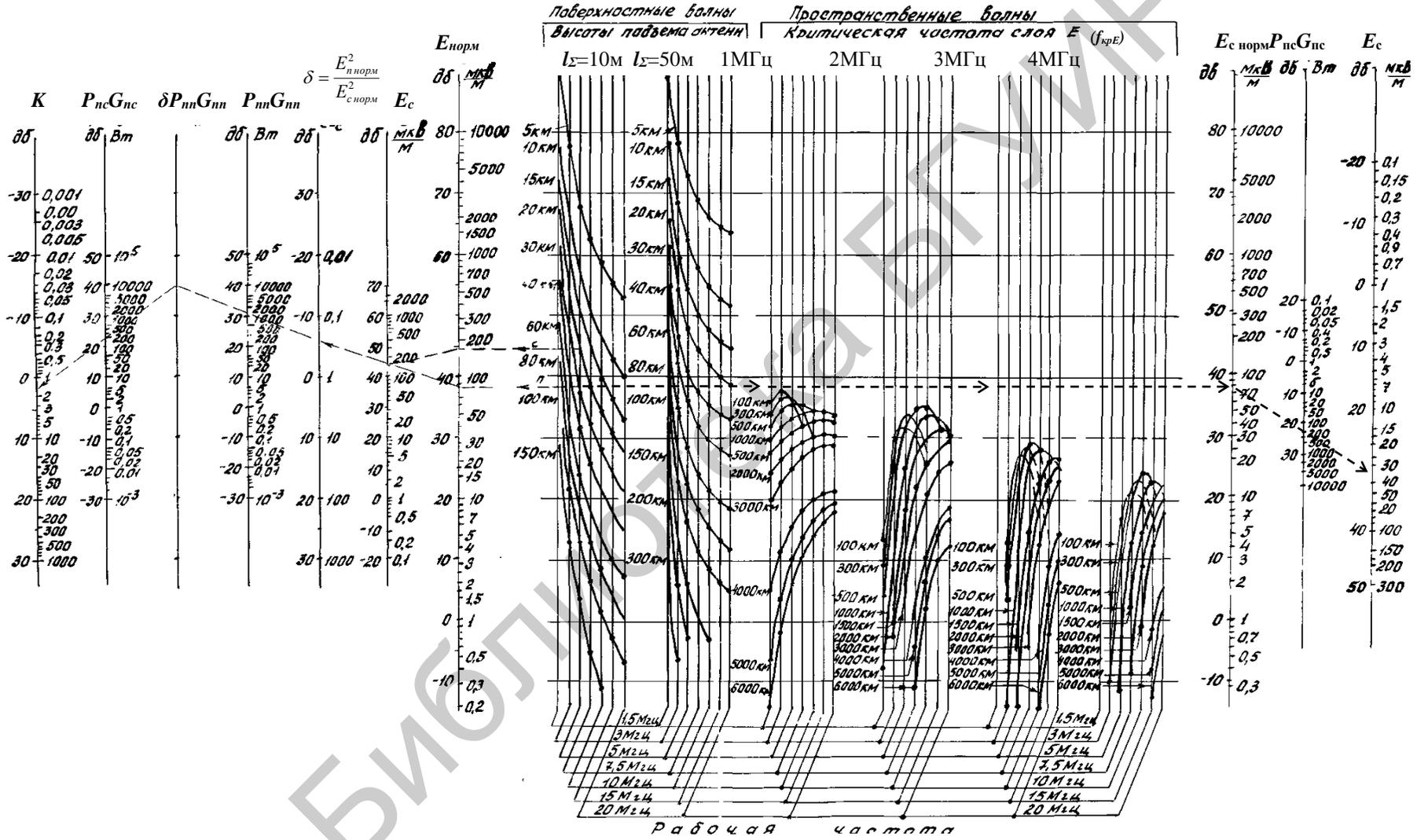
В методологическом аспекте прежде всего необходимо установить как (на основе каких показателей) можно измерить или прогнозировать эффективность системы военной связи в операциях и боевых действиях.

В методическом аспекте необходимо осуществить конструктивное построение показателей, обеспечивающих измерение (прогнозирование) эффективности функционирования системы военной связи.



ПРИЛОЖЕНИЕ 1
 (рекомендуемое)
ПРИМЕРЫ НОМОГРАММ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОРАЗВЕДКИ И
РАДИОПОДАВЛЕНИЯ УКВ-ЛИНИЙ
РАДИОСВЯЗИ

Рис. П.1.1. Номограммы для определения напряженностей поля сигнала и помехи на входе подавляемого приемника и напряженности поля сигнала на входе приемника разведки в УКВ-диапазоне (20...75 МГц) для сухой (а) и влажной (б) почвы при вертикальной поляризации радиоволн



ПРИЛОЖЕНИЕ 2
НОМОГРАММЫ ДЛЯ КВ-СВЯЗИ
 (рекомендуемое)

Рис. П.2.1. Номограммы для определения отношения помеха/сигнал на входе подавляемого приемника и напряженности поля сигнала на входе приемника разведки в КВ-диапазоне (1,5...20 МГц) при вертикальной поляризации радиоволн

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(обязательное)

Формулы и графики для расчета информационных показателей эффективности радиоподавления дискретных и аналоговых каналов связи

1. Для дискретных каналов связи на фиксированных частотах

1.1. Оптимальный некогерентный приемник сигналов частотной телеграфии (ЧТ)

1.1.1. Средняя вероятность ошибочного приема элементов сигнала ЧТ в условиях флуктуационных шумов, замираний сигнала и помехи по закону Релея, равновероятной передачи элементов сигнала «0» и «1», отношения сигнал/шум на входе приемника более 10:

1.1.1.1. Для помехи произвольной структуры:

$$p_{cp} = 0,5 \left[1 - \frac{1}{\sqrt{[1 + K(g_0^2 + g_1^2)]^2 - 4K^2 g_0^2 g_1^2}} \right], \quad (\text{П.3.1})$$

где K – отношение мощностей помехи P_n и сигнала P_c на входе приемника;
 g_0, g_1 – коэффициенты взаимной корреляции r -го элемента сигнала и помехи, определяющие влияние помехи $Z_n(t)$ на r -й тракт обработки сигнала ($r = 0; 1$):

$$g_r = \frac{1}{\sqrt{P_c P_n T}} \sqrt{\left(\int_0^T Z_r(t) Z_n(t) dt \right)^2 + \left(\int_0^T \tilde{Z}_r(t) Z_n(t) dt \right)^2}, \quad (\text{П.3.2})$$

где P_c и P_n – мощности сигнала и помехи на входе приемника соответственно;
 $\tilde{Z}(t)$ – сигнал, полученный в результате реализации преобразования Гильберта над сигналом $Z_r(t)$:

$$Z_r(t) = U_c \cos(\omega_r t + \varphi_c), \quad 0 < t \leq T, r = 0, 1, \quad (\text{П.3.3})$$

$$\tilde{Z}(t) = U_c \sin(\omega_r t + \varphi_c), \quad 0 < t \leq T, r = 0, 1,$$

где ω_r и ω_c – частоты элементов сигнала «0» и «1» соответственно;
 T – длительность элемента сигнала.

1.1.1.2. Для оптимальной помехи (помеха, структура которой в каждый момент времени полностью совпадает со структурой одного из элементов сигнала):

$$p_{cp} = 0,5 K/(1+K). \quad (\text{П.3.4})$$

1.1.1.3. Для подоптимальной помехи в виде помехового сигнала ЧТ, рассогласованного с элементами сигнала по частоте и по времени:

$$p_{\text{cp}} = 0,5 \left[1 - \frac{1}{\sqrt{[1 + K(g_0^2 + g_1^2)]^2 - 4K^2 g_0^2 g_1^2}} \right], \quad (\text{П.3.5})$$

$$g_1 = \frac{\tau}{T} \left| \frac{\sin(\pi \Delta f_1 \tau)}{\pi \Delta f_1 \tau} \right|, \quad g_0 = \frac{T - \tau}{T} \left| \frac{\sin[\pi \Delta f_0 (T - \tau)]}{\pi \Delta f_0 (T - \tau)} \right|, \quad (\text{П.3.6})$$

где Δf_1 и Δf_0 – рассогласование по частоте элементов помехи с элементами сигнала;

τ – рассогласование по времени моментов смены элементов помехи и сигнала на входе подавляемого приемника.

1.1.1.4. Для подоптимальной помехи в виде помехового сигнала ЧТ, рассогласованного по времени с сигналом на входе подавляемого приемника на величину τ , при полном совпадении частот элементов помехи с частотами элементов сигнала ($\Delta f_1 = \Delta f_0 = 0$):

$$p_{\text{cp}}(\tau) = 0,5 \left[1 - \frac{1}{\sqrt{[1 + K(1 - 2\tau/T)^2] (1 + K)}} \right]. \quad (\text{П.3.7})$$

1.1.1.5. Для подоптимальной помехи в виде помехового сигнала ЧТ, рассогласованного с сигналом по времени, при полном совпадении частот элементов помехи с частотами элементов сигнала ($\Delta f_1 = \Delta f_0 = 0$) и обеспечении асинхронности помехи с сигналом на входе подавляемого приемника:

$$p_{\text{cp}}(\tau) = 0,5 \left[1 - \frac{1}{\sqrt{(1 + 0,25K)(1 + K)}} \right], \quad (\text{П.3.8})$$

$$K = \sqrt{\frac{4}{(1 - 2p_{\text{cp}})^2} + 2,25} - 2,5. \quad (\text{П.3.9})$$

1.1.1.6. Для подоптимальной помехи в виде помехового сигнала ЧТ, рассогласованного с сигналом по частоте (при условии $\Delta f_1 = \Delta f_0 = \Delta f$), при полном временном совпадении элементов помехи с элементами сигнала на входе подавляемого приемника:

$$p_{\text{cp}} = 0,5 \frac{Kg^2}{1 + Kg^2}, \quad \text{где } g = \left| \frac{\sin(\pi \Delta f T)}{\pi \Delta f T} \right|. \quad (\text{П.3.10})$$

1.1.2. Средняя вероятность ошибочного приема элементов сигнала ЧТ в условиях флуктуационных шумов, отсутствия замираний сигнала и помехи, равновероятной передачи элементов сигнала «0» и «1» для оптимальной помехи:

$$p_{\text{cp}} = 0,5Q(\sqrt{K} \cdot h_c, h_c), \quad (\text{П.3.11})$$

где h_c^2 – отношение энергии элемента сигнала к спектральной плотности шума на входе подавляемого приемника (отношение мощностей сигнала и шума в полосе пропускания приемника);

$Q(a, b)$ – функция Маркума (Q -функция):

$$Q(a, b) = \int_b^{\infty} x \exp\left(-\frac{x^2 + a^2}{2}\right) I_0(ax) dx,$$

где a и b – входные параметры (неотрицательные вещественные числа);

I_0 – функция Бесселя первого рода нулевого порядка.

При изменении a от $b - 3$ до $b + 3$ функция Маркума возрастает от 0 до 1. Она характеризует вероятность попадания случайной величины, распределенной по круговому нормальному закону с математическим ожиданием в точке (0;0) и дисперсией равной единице, в окружность радиусом a с центром, смещенным на расстояние b от начала координат.

1.2. Оптимальный когерентный приемник сигналов ЧТ

Средняя вероятность ошибочного приема элементов сигнала ЧТ в условиях отсутствия флуктуационных шумов, замираний сигнала и помехи по закону Релея, равновероятной передачи элементов сигнала «0» и «1» для оптимальной помехи:

$$p_{\text{ср}} = 0,5 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{K+1}} \right). \quad (\text{П.3.12})$$

1.3. Оптимальный когерентный приемник фазоманипулированных (ФМн) сигналов

1.3.1. Средняя вероятность ошибочного приема элементов ФМн-сигнала в условиях флуктуационных шумов, отсутствия замираний сигнала и помехи, равновероятной передачи элементов сигнала «0» и «1» для помехи в виде немодулированной несущей или несущей, манипулированной синфазно во времени с сигналом на входе подавляемого приемника:

$$p_{\text{ср}} = 0,5 \{ 1 - 0,5 \Phi[\sqrt{2h_c^2} (1 + \sqrt{K} \cos \Delta\phi_0)] - 0,5 \Phi[\sqrt{2h_c^2} (1 - \sqrt{K} \cos \Delta\phi_0)] \}, \quad (\text{П.3.13})$$

где $\Phi(X)$ – табулированная функция (интеграл вероятности Гаусса;

$$\Phi(X) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^X \exp(-b^2/2) db);$$

h_c^2 – отношение энергии элемента сигнала к спектральной плотности шума на входе подавляемого приемника (отношение мощностей сигнала и шума в полосе пропускания приемника);

$\Delta\phi_0$ – разность начальных фаз помехи и сигнала на входе подавляемого

приемника.

1.3.2. Средняя вероятность ошибочного приема элементов ФМн сигнала в условиях отсутствия флуктуационных шумов, отсутствия замираний сигнала и помехи, равновероятной передачи элементов сигнала «0» и «1» для помехи в виде манипулированной несущей со случайным изменением начальной фазы помехи на входе подавляемого приемника в моменты смены элементов сигнала:

$$P_{\text{ср}} = \begin{cases} 0,5 - 1/\pi \arcsin(1/K) & \text{при } K \geq 1, \\ 0 & \text{при } K < 1. \end{cases} \quad (\text{П.3.14})$$

2. Для аналоговых каналов связи на фиксированных частотах

2.1. Оптимальный приемник неречевых (телеметрических) сигналов

2.1.1. Среднее квадратическое значение ошибки ε^2 воспроизведения сигнала в приемнике из смеси сигнал - помеха - шум для оптимальной помехи:

$$\varepsilon^2 = P_{\text{с.вых}} K / (1 + K), \quad (\text{П.3.15})$$

где $P_{\text{с.вых}}$ – мощность сигнала на выходе подавляемого приемника.

2.1.2. Нормированная величина среднего квадратического значения ошибки δ^2 воспроизведения сигнала в приемнике из смеси сигнал–помеха–шум для оптимальной помехи:

$$\delta^2 = \varepsilon^2 / P_{\text{с.вых}} = K / (1 + K). \quad (\text{П.3.16})$$

Из (П.3.16) следует условие эффективного подавления

$$K \geq \delta^2_{\text{задан}} / (1 - \delta^2_{\text{задан}}). \quad (\text{П.3.17})$$

2.2. Оптимальный приемник речевых сигналов

Пояснение методики оценки эффективности помех каналам передачи речевых сообщений показано на рис.П.3.1.

2.2.1. Для оптимальной (по критерию максимума $K_{\text{вых}}$) помехи приемникам с амплитудной модуляцией (частотно-модулированная шумовая помеха):

$$K_{\text{вых}} = 0,5K (1 + 0,5K)(1 + P_{\text{с}}^2 / M_{\text{с}}^2), \quad (\text{П.3.18})$$

$$K = \sqrt{4K_{\text{вых}} / (1 + P_{\text{с}}^2 / M_{\text{с}}^2) + 1} - 1, \quad (\text{П.3.19})$$

где $P_{\text{с}}$ – пикфактор модулирующего напряжения сигнала;

$M_{\text{с}}$ – глубина модуляции сигнала.

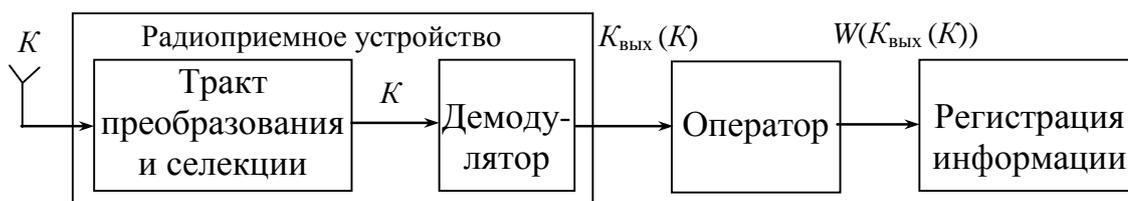


Рис.П.3.1. Пояснение методики оценки эффективности помех каналам передачи

речевых сообщений

2.2.2. Для оптимальной (по критерию максимума $K_{\text{вых}}$) помехи приемникам с однополосной модуляцией (частотно-модулированная шумовая помеха)

$$K_{\text{вых}} = 0,5K. \quad (\text{П.3.20})$$

2.2.3. Для оптимальной (по критерию максимума $K_{\text{вых}}$) помехи приемникам с частотной модуляцией (частотно-модулированная шумовая помеха):

$$K_{\text{вых}} = \begin{cases} K\delta_{\omega}(1+3K^2)+0,5K(\delta_0+\delta_{\omega}+1)(1+4K-K^2)/(1-K) & \text{при } K < 0,5; \\ K\delta_{\omega}(3+K)+0,5(\delta_0+\delta_{\omega}+1)(K^2+4K-1)/(K-1) & \text{при } K > 2, \end{cases} \quad (\text{П.3.21})$$

где $\delta_{\omega} = \overline{\Delta\omega_{\text{п}}^2} / \overline{\Delta\omega_{\text{с}}^2}$; $\delta_0 = \Delta\omega^2 / \overline{\Delta\omega_{\text{с}}^2}$, где $\Delta\omega = \omega_{\text{с}} - \omega_{\text{п}}$, $\omega_{\text{с}}$ и $\omega_{\text{п}}$ – средние частоты сигнала и помехи на входе частотного детектора; $\overline{\Delta\omega_{\text{с}}^2}$ и $\overline{\Delta\omega_{\text{п}}^2}$ – средние квадратические значения девиации частоты сигнала и помехи.

Графические зависимости разборчивости речи W от отношения помеха/сигнал на выходе подавляемого приемника $K_{\text{вых}}$, зависимости отношения помеха/сигнал $K_{\text{вых}}$ от отношения K на входе подавляемого приемника для различных видов демодуляторов, приведены на рис.П.3.2 и П.3.3 соответственно.

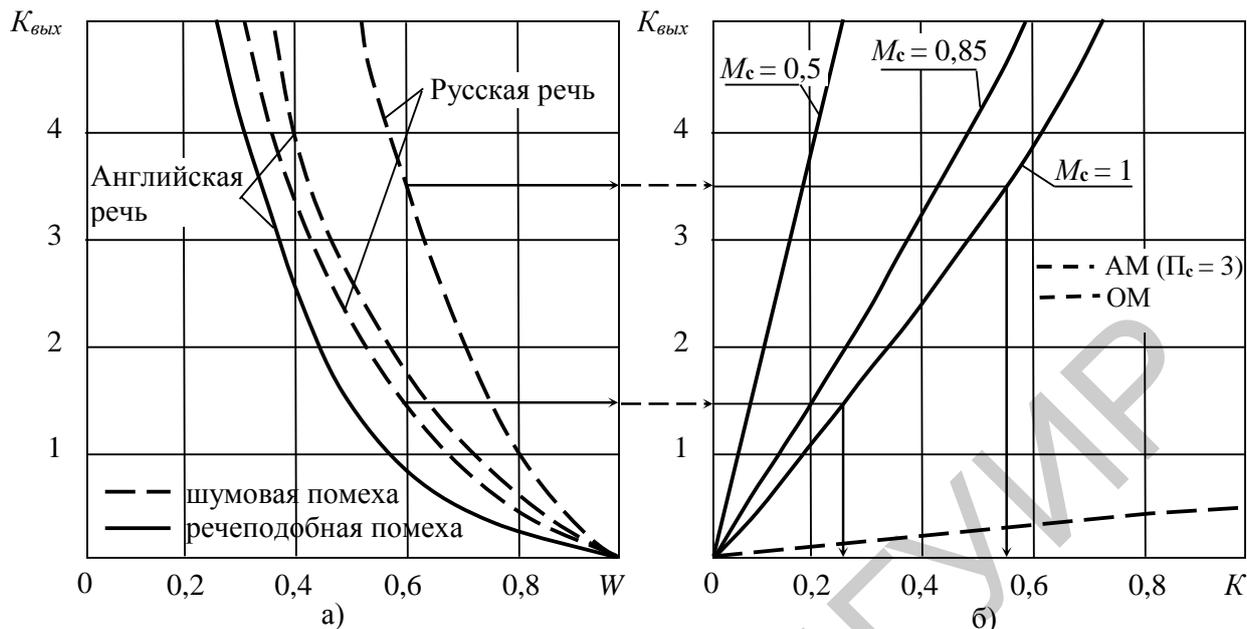


Рис.П.3.2.Связь зависимостей: *a*– разборчивости речи W от отношения помеха/сигнал на выходе приемника $K_{\text{вых}}$; *б*– отношения помеха/сигнал на выходе $K_{\text{вых}}$ от отношения на входе K для приемников АМ и ОМ сигналов

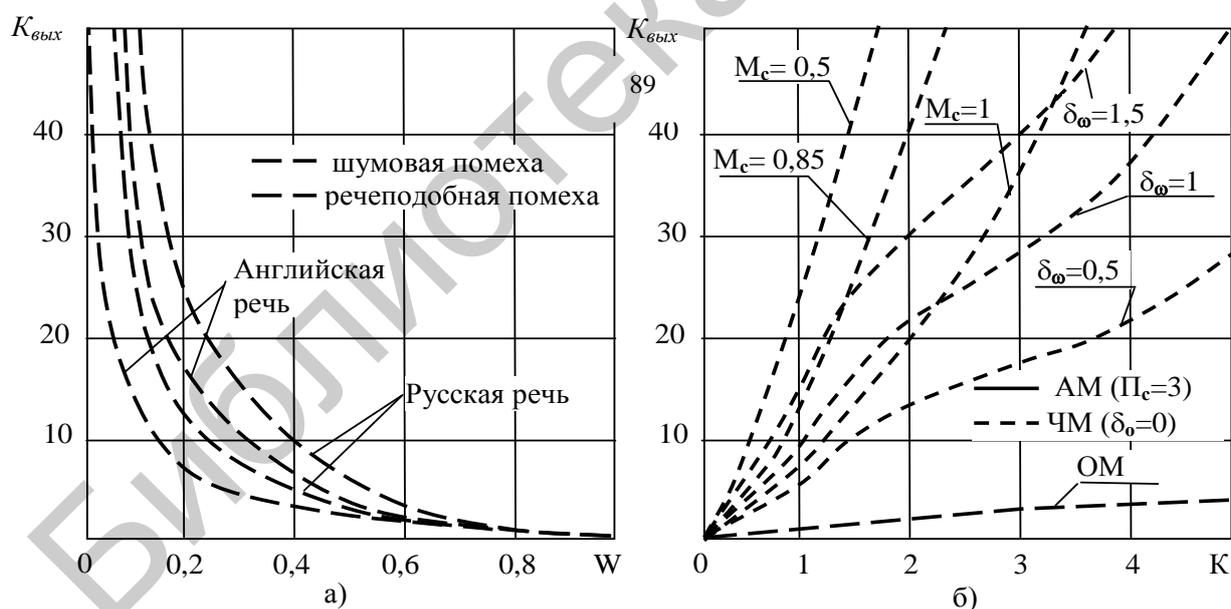


Рис.П.3.3.Связь зависимостей: *a*– разборчивости речи W от отношения помеха/сигнал на выходе приемника $K_{\text{вых}}$; *б*– отношения помеха/сигнал на выходе $K_{\text{вых}}$ от отношения на входе K для приемников ЧМ-, АМ- и ОМ-сигналов

3. Для дискретных и аналоговых каналов связи с программной перестройкой рабочей частоты

Для обеспечения условий эффективного радиоподавления ЛРС с

программной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ) могут быть применены следующие виды помех:

- сплошная заградительная;
- заградительная с гребенчатой по частоте структурой;
- заградительная с оптимальным числом частотных составляющих;
- прицельная с перестройкой по закону псевдослучайной последовательности (ПСП);
- ретранслированная;
- многоканальная, насыщающая сетку частот ППРЧ.

Воздействие различных видов помех сводится к так называемому блокированию частотных каналов и, как следствие, к снижению качества принимаемого сигнала. Блокированным считается частотный канал, в котором отношение помеха/сигнал на входе приемного устройства больше значения коэффициента подавления K_{Π} для данного устройства при условии его работы на фиксированной частоте.

При оценке эффективности радиоподавления ЛРС с ППРЧ для дискретных каналов связи вероятность ошибочного приема элемента сигнала оценивается по формуле

$$p = p_{\text{чвс}} p(\Pi) + (1 - p_{\text{чвс}}) p(O), \quad (\text{П.3.22})$$

где $p(\Pi)$ и $p(O)$ – вероятности ошибочного приема элемента сигнала при наличии преднамеренной помехи и ее отсутствии соответственно;

$p_{\text{чвс}}$ – вероятность частотно-временного совмещения помехи с сигналом на входе подавляемого приемника.

При оценке эффективности радиоподавления ЛРС с ППРЧ для аналоговых каналов связи степень ухудшения качества речи определяют числом заблокированных частотных каналов (табл. П.3.1).

Таблица П.3.1

Соотношение между качеством передачи речи и количеством заблокированных каналов ППРЧ

Количество заблокированных каналов, %	Качественная характеристика ухудшения сигнала (речь)
5	Ухудшение имеет место, но мало заметно
10	Незначительное ухудшение разборчивости речи
20	Ухудшение значительное, но речь разборчивая
30	Речь становится труднопонимаемой
40	Речь неразборчивая

3.1. Сплошная заградительная помеха

Сплошная заградительная помеха, создаваемая во всей полосе частот ППРЧ, позволяет получить максимально возможное значение средней вероятности частотно-временного совпадения помехи и сигнала на подавляемых частотах ППРЧ

$p_{\text{чвс}} = 1$. Однако при формировании такой помехи в полосу пропускания

подавляемого приемника в каждый момент времени попадает только часть суммарной мощности заградительной помехи, равная

$$P_{\text{п.загр}} = p_{\text{чвс}} P_{\text{п}} \Delta F_{\text{пр}} / \Delta F, \quad (\text{П.3.23})$$

где $P_{\text{п}}$ – суммарная мощность заградительной помехи на входе подавляемого приемника, определяемая по формуле (1);

$\Delta F_{\text{пр}}$ – полоса пропускания подавляемого приемника;

ΔF – полоса частот заградительной помехи.

В связи с этим при оценке эффективности воздействия данной помехи на приемники линий радиосвязи с ППРЧ в формулах расчета показателя эффективности вместо значения отношения помеха–сигнал на входе подавляемого приемника K необходимо подставлять

$$K_{\text{загр}} = p_{\text{чвс}} K \Delta F_{\text{пр}} / \Delta F. \quad (\text{П.3.24})$$

3.2. Заградительная помеха с гребенчатой по частоте структурой

С учетом недостатков сплошной заградительной помехи, а также экспериментальных данных, представленных в табл. П.3.1, на практике осуществляется создание заградительной гребенчатой помехи в виде модулированных несущих на всех N частотах ППРЧ. Создание такой помехи целесообразно, если постановщику помех известны набор частот ППРЧ и вид модуляции сигнала, а программа перестройки текущих рабочих частот неизвестна. При создании эффективной заградительной гребенчатой помехи мощность каждой составляющей помехи на входе подавляемого приемника определяется выражением

$$P_{\text{сост}} = p_{\text{чвс}} P_{\text{п}} / N, \quad (\text{П.3.25})$$

где $P_{\text{п}}$ – суммарная мощность всех составляющих гребенчатой помехи на входе подавляемого приемника, определяемая по формуле (1).

Для данной помехи, как и для сплошной заградительной помехи, $p_{\text{чвс}} = 1$.

В этом случае в формулах расчета показателя эффективности вместо значения отношения помеха–сигнал на входе подавляемого приемника K необходимо подставлять

$$K_{\text{греб}} = p_{\text{чвс}} K / N, \quad (\text{П.3.26})$$

где K – отношение суммарной мощности помехи к мощности сигнала на входе подавляемого приемника.

3.3. Заградительная помеха с оптимальным числом частотных составляющих

Решение задачи определения оптимального значения M по критерию максимума эффективности подавления при фиксированной общей мощности M -канальной помехи $P_{\text{п}}$ на входе подавляемого приемника получено на примере подавления ЛРС с ППРЧ, в которой:

- осуществляется быстрая ППРЧ на N частотах с передачей на каждой частоте одного дискретного элемента информации;
- для передачи используются сигналы частотной телеграфии;

– осуществляется воздействие на M каналов ППРЧ шумовых помех с фиксированной суммарной мощностью:

$$P_{\Pi} = MP_{\text{сост.}}$$

Зависимости средней вероятности искажения элементов информации $p_{\text{ср}}$ от отношения M/N при различных значениях $K = P_{\Pi}/P_c$ для данного случая приведены на рис. П.3.4 (h_c^2 – отношение сигнал–шум по мощности на входе приемника). Из этих зависимостей следует:

– при малом энергетическом ресурсе помех ($K = 1 \dots 10$) целесообразно сосредоточивать этот ресурс на небольшом числе частот ППРЧ $M/N = 0,1 \dots 0,3$; при этом даже в случае оптимальных значений M не достигается необходимое для высокой степени эффективности подавления значение $p_{\text{ср}} \geq 0,1$ в ЛРС с ППРЧ;

– при большом энергетическом ресурсе помех ($K > 100$) целесообразно сосредоточивать этот ресурс на 35...60 % частот ППРЧ ($M/N = 0,35 \dots 0,6$), т. к. в этом случае достигается полное подавление ЛРС с ППРЧ, а дальнейшее увеличение значения M/N уменьшает эффективность подавления и требует большего числа каналов создания помех.

Наличие экстремума (максимума) функции $p = f(M/N)$ обусловлено разным характером зависимостей p от M (прямая зависимость) и p от $P_{\text{сост}} = P_{\Pi}/M$ (обратная зависимость):

– при малых значениях M прирост вероятности p за счет увеличения M больше, чем ее снижение за счет уменьшения $P_{\text{сост}} = P_{\Pi}/M$ (энергетический потенциал помехи на каждой частоте достаточен для эффективного радиоподавления);

– при больших значениях M , когда $P_{\text{сост}}$ очень мало, энергетический потенциал помехи на всех подавляемых частотах недостаточен для эффективного радиоподавления и быстро уменьшается с ростом M , что приводит к уменьшению вероятности p .

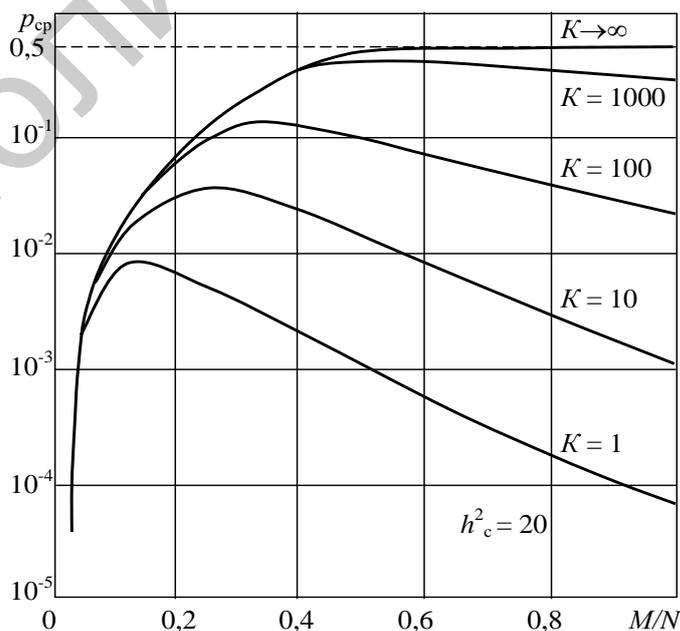


Рис.П.3.4. Зависимости средней вероятности искажения элементов информации $p_{\text{ср}}$ от относительного числа подавляемых каналов ППРЧ M/N при различных отношениях K суммарной мощности помехи $P_{\text{п}}$ к мощности сигнала $P_{\text{с}}$ на входе приемника

3.4. Прицельная помеха с перестройкой по закону ПСП

При наличии информации о структуре кодовой последовательности, по закону которой происходит перестройка рабочей частоты, применяется помеха, прицельная по времени и с перестройкой по частоте в соответствии с этим законом. При этом помеха формируется в виде узкополосного сигнала с изменяемой частотой по закону ППРЧ. Использование узкополосных помех для борьбы с системами связи с ППРЧ заключается в создании помех в направлении выбранного корреспондента по принятому и обработанному сигналу в реальном масштабе времени.

Мощность прицельной помехи $P_{\text{приц}}$, осуществляющей искажение принимаемого сигнала, в данном случае зависит от мощности прицельной помехи $P_{\text{п}}$ на входе подавляемого приемника и от времени реакции станции помех (от степени совпадения импульсов помехи и сигнала на входе приемника $p_{\text{чвс}}$):

$$P_{\text{приц}} = p_{\text{чвс}} \cdot P_{\text{п}}, \quad (\text{П.3.27})$$

где $P_{\text{п}}$ – мощность прицельной помехи на входе подавляемого приемника.

В этом случае в формулах расчета показателя эффективности вместо значения отношения помеха/сигнал на входе подавляемого приемника K необходимо подставлять

$$K_{\text{приц}} = p_{\text{чвс}} K. \quad (\text{П.3.28})$$

3.5. Ретранслированная помеха

Временные соотношения помехи и сигнала ЛРС с ППРЧ при создании ретранслированной помехи связаны с размещением станции ретранслированной помехи относительно передатчика и приемника ЛРС представлены на рис.П.3.5.

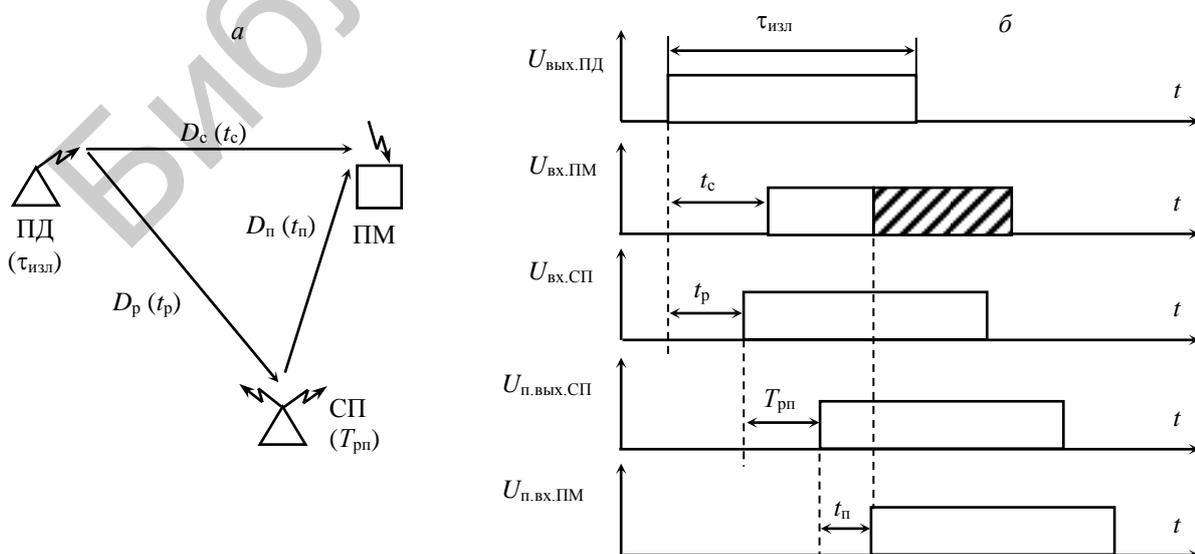


Рис. П.3.5. Вариант взаимного расположения передатчика (ПД) и приемника (ПМ) ЛРС относительно СП (а) и временные диаграммы, поясняющие создание ретранслированной помехи (б)

Условие возможности реализации ретранслированной помехи имеет вид:

$$t_p + T_{pp} + t_{п} < t_c + m\tau_{изл}, \quad \text{т. е. } (D_p + D_{п})/c + T_{pp} < D_c/c + m\tau_{изл}, \quad (\text{П.3.29})$$

где t_p , t_c – время распространения сигнала от передатчика ЛРС до СП и приемника ЛРС;

$t_{п}$ – время распространения помехи от СП до приемника ЛРС;

T_{pp} – время реакции СП;

D_c – расстояние между передатчиком и приемником ЛРС с ППРЧ (дистанция связи);

D_p – расстояние между передатчиком ЛРС с ППРЧ и СП (дистанция разведки);

$D_{п}$ – расстояние между СП и приемником ЛРС с ППРЧ (дистанция подавления);

c – скорость распространения электромагнитных волн;

m – коэффициент, определяемый правилом принятия решений в приемном устройстве ЛРС с ППРЧ и зависящий от момента отсчета, в который выносится решение относительно принимаемого элемента сигнала: $m = 0,5$, если измерение уровня сигнала и принятие решения происходит в средней части бита; $m = 1$, если принятие решения происходит по окончании приема бита;

$\tau_{изл}$ – время излучения несущей на одной рабочей частоте.

Из неравенства (П.3.29) следует, что

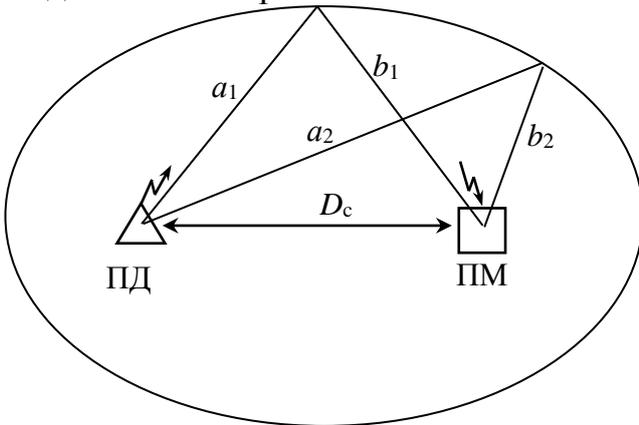
$$D_p + D_{п} < (m\tau_{изл} - T_{pp})c + D_c. \quad (\text{П.3.30})$$

Если правую часть этого неравенства рассматривать как постоянную величину $2A$, то последующее приравнивание обеих частей неравенства приводит к уравнению эллипса, в двух фокусах которого размещаются передатчик и приемник ЛРС, а большая полуось равна A . Пояснение принципа получения зоны расположения СП, из которой возможно формирование ретранслированной помехи представлено на рис.П.3.6.

Размещение станции ретранслированной помехи за пределами эллипса сделает реализацию такой помехи невозможной из-за запаздывания помехи на входе подавляемого приемника по отношению к изменениям частоты. Если станция ретранслированной помехи находится внутри эллипса, то ее эффективность может быть оценена по формулам, оценивающим эффективность подавления ЛРС на фиксированной частоте, в которых отношение помеха–сигнал на входе приемника K необходимо заменить в соответствии с временным совпадением импульсов помехи и сигнала (в соответствии с положением СП относительно передатчика и приемника ЛРС) на величину

$$K_{\text{ретр}} = K [1 - (D_p + D_n) / (2A)], \quad (\text{П.3.31})$$

где K – отношение мощности помехи к мощности сигнала на входе подавляемого приемника.



$$a_1 + b_1 = a_2 + b_2 = 2A = (m\tau_{\text{изл}} - T_{\text{рп}})c + D_c, \quad T_{\text{рп}} < m\tau_{\text{изл}}$$

Рис. П.3.6. Пояснение принципа получения зоны расположения СП, из которой возможно формирование ретранслированной помехи

3.6. Многоканальная помеха, насыщающая сетку частот ППРЧ

Значительно ухудшают качество связи в ЛРС с ППРЧ помехи от других ЛРС с ППРЧ, работающих на этой же сетке частот. Оценка влияния таких помех на работу ЛРС с ППРЧ проведена в предположении, что в системе используется случайная адресация абонентов, обмен информацией ведется в L независимых одинаковых одновременно работающих ЛРС. Каждый элемент дискретной двухпозиционной информации передается на определенной, случайно выбранной из N частоте.

В этом случае в формуле (П.3.22) вероятность ошибки поэлементного приема информации в условиях взаимных помех L корреспондентов определяется выражением

$$p(\Pi) = \sum_{Q=1}^L [p_v(Q) \cdot p_Q(h_{\text{пс}}^2)], \quad (\text{П.3.32})$$

$p_v(Q)$ – вероятность выбора одной и той же рабочей частоты Q корреспондентами;

$p_Q(h_{\text{пс}}^2)$ – вероятность ошибки поэлементного приема при наличии на входе приемника одного сигнала и $Q - 1$ сосредоточенных помех при отношении суммарной мощности помех к мощности сигнала $h_{\text{пс}}^2$.

Вероятность $p_v(Q)$ – это вероятность того, что в комбинации, состоящей из L элементов, в $Q = 1, 2, \dots, L$ элементах произойдет совпадение частот полезного и мешающего сигналов. Эта вероятность определяется по формуле Бернулли:

$$p_v(Q) = C_L^Q \cdot p_{\text{совп}}^Q \cdot (1 - p_{\text{совп}})^{L-Q}, \quad (\text{П.3.33})$$

где $p_{\text{совп}} = 1/N$ – вероятность совпадения частот полезного и мешающего

сигналов.

В случае если производится некогерентная обработка сигналов частотной телеграфии, источники взаимных помех имеют одинаковую мощность на входе приемника (при этом общая мощность всех помех составляет $(Q - 1)K$, где K —отношение мощности одной помехи к мощности сигнала на входе приемника), то вероятность ошибки

$$p_Q = 0,5 \exp\{-0,5h_c^2/[1 + h_c^2(Q - 1)K]\}. \quad (\text{П.3.34})$$

Окончательное выражение для средней вероятности ошибки приема элемента сигнала p_{cp} в ЛРС, работающей совместно с другими ЛРС с ППРЧ, может быть получено путем подстановки (П.3.34) и (П.3.33) в (П.3.32), а затем (П.3.32) в (П.3.22).

Анализ зависимостей p_{cp} от L и K , построенных по данным формулам в предположении, что $p_{чвс} = 1$, позволяет сделать вывод, что вероятность ошибки приема элемента сигнала в ЛРС с ППРЧ существенно зависит от количества средств L , одновременно функционирующих на общей сетке частот ППРЧ; при этом увеличение числа средств приводит к увеличению вероятности ошибки приема. Зависимости вероятности искажения элементов информации p_{cp} от числа ЛРС с ППРЧ L , работающих на одной сетке частот, и от отношения мощностей одной взаимной помехи и сигнала на входе приемника K представлены на рис.П.3.7.

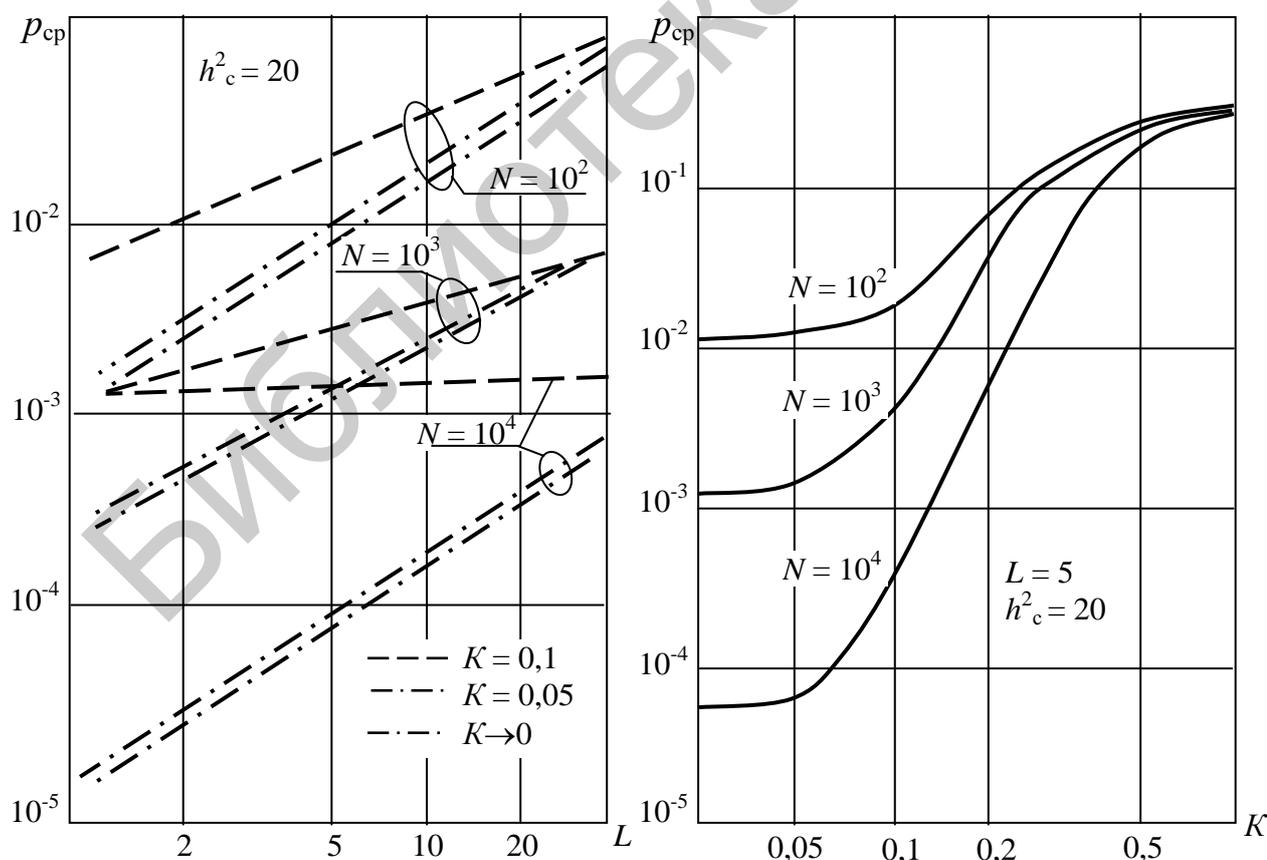


Рис. П.3.7. Зависимости вероятности искажения элементов информации p_{cp}

от числа ЛРС с ППРЧ L , работающих на одной сетке частот, и от отношения мощностей одной взаимной помехи и сигнала на входе приемника K

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АМ	– амплитудная модуляция
АМн	– амплитудная манипуляция
АПРЧ	– адаптивная перестройка рабочей частоты
АСУ	– автоматическое средство управления
АФС	– антенно-фидерная система
БПЭ	– боевой показатель эффективности
ВПУ	– воздушный пункт управления
ВТКС	– военная телекоммуникационная система
ДНА	– диаграмма направленности антенны
ЗС	– земная станция
ЗН	– зона неподавления
ИБПЭ	– информационно-боевой показатель эффективности
ИПЭ	– информационный показатель эффективности
ИСЧ	– информационная часть сообщения
КВ	– короткие волны
ЛПР	– лицо, принимающее решение
ЛРС	– линия радиосвязи
НАП	– навигационная аппаратура потребителей
ОАК	– объединенный армейский корпус
ОМ	– однополосная модуляция
ОТР	– оперативно-тактические ракеты
ОЦС	– оперативный центр сектора
ОЭП	– оптико-электронное подавление
ПАН	– передовой авиационный наводчик
ПД	– передатчик
ПМ	– приемник
ППРЧ	– программная перестройка рабочей частоты
ПСП	– псевдослучайная последовательность
ППУ	– передовой пункт управления
ПУО	– пункт управления и оповещения
ПЭ	– показатель эффективности радиоподавления
РЛС	– радиолокационная станция
РП	– радиоподавление
РПДУ	– радиопередающее устройство
РПУ	– радиоприемное устройство
РЭБ	– радиоэлектронная борьба
РЭБ-С	– радиоэлектронная борьба с самолетными средствами
РЭБ-Н	– радиоэлектронная борьба с наземными средствами
РЭБ-К	– радиоэлектронная борьба с космическими средствами
РЭП	– радиоэлектронное подавление

РЭПр	– радиоэлектронное поражение
РЭС	– радиоэлектронное средство
СП	– станция помех
СВН	– система военного назначения
СВС	– система военной связи
СОИ	– система обработки информации
СПИ	– система передачи информации
ССВН	– система связи военного назначения
СУВО	– система управления войсками и оружием
СЧС	– служебная часть сообщения
ТЛГ	– телеграфный (вид связи)
ТЛФ	– телефонный (вид связи)
ФМн	– фазоманипулированный (сигнал)
ХИП	– хаотическая импульсная последовательность
ЦКВО	– центр координации воздушных операций
ЦУВО	– центр управления воздушными операциями
ЦУО	– центр управления и оповещения
ЦУТА	– центр управления тактической авиацией
ЧВС	– частотно-временное совмещение (помехи и сигнала)
	ЧМн – частотная манипуляция
ЧМ	– частотная модуляция
ЧМШ	– частотная модуляция шумом
ЧМШП	– частотно-модулированная шумовая полоса
ЧТ	– частотная телеграфия
ЭЛТ	– электронно-лучевая трубка
ЭМС	– электромагнитная совместимость

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

$G_{с,п}$ – полный интегральный коэффициент поглощения пространственных радиоволн сигнала (помехи) в ионосфере в КВ-диапазоне

M_c – глубина модуляции АМ-сигнала

Π – пикфактор излучаемого сигнала

Π_c – пикфактор модулирующего напряжения АМ-сигнала

$\Pi\mathcal{E}_{\text{треб}}$ – требуемое значение показателя эффективности радиоподавления

$\Pi\mathcal{E}_{\text{зад}}$ – заданное значение показателя эффективности радиоподавления

$A_{\text{сум}}$ – суммарный коэффициент поглощения в ионосфере пространственных радиоволн КВ-диапазона для слоев D , E , F_1

V – скорость телеграфирования сигнала ЧТ

$V_{\text{откл}}$ – коэффициент отклоняющего поглощения в ионосфере пространственных радиоволн КВ-диапазона для слоя F_2

$D_{\text{п}}$ – дистанция подавления

$D_{\text{пр.вид}}$ – дальность прямой видимости с учетом кривизны Земли и нормальной атмосферной рефракции

$D_{\text{пр.вид}}^*$ – реальная дальность прямой видимости с учетом рельефа местности

$D_{\text{р}}$ – дистанции разведки

$D_{\text{с}}$ – дистанции связи

$D_{\text{СП}}$ – расстояние между станцией помех и передатчиком линии авиационной УКВ-радиосвязи (ПАН, ППУ, ВПУ)

E – напряженность поля

E_c – напряженность поля сигнала на входе подавляемого приемника

$E_{\text{с.норм}}$ – нормативная напряженность поля помехи на входе подавляемого приемника (при нормативном энергопотенциале передатчика связи 1000 Вт)

$E_{\text{п}}$ – напряженность поля помехи на входе подавляемого приемника

$E_{\text{п.норм}}$ – нормативная напряженность поля помехи на входе подавляемого приемника (при нормативном энергопотенциале передатчика помех 1000 Вт)

$E_{\text{чувств}}$ – чувствительность приемника по напряженности поля

f – рабочая частота подавляемой линии радиосвязи и станции помех

$f_{\text{кр}}$ – критическая частота отражения радиоволн КВ-диапазона от ионосферы

$f_{\text{кр.Е}}$ – критическая частота отражения радиоволн КВ-диапазона от ионосферы для слоя E

$G_{\text{п.ЗС}}$ – коэффициент усиления передающей антенны земной станции линии спутниковой связи

$G_{\text{прс}}$, $G_{\text{прп}}$ – коэффициенты направленности антенны подавляемого приемника ЛРС в сторону прихода сигнала от передатчика ЛРС и прихода помехи от передатчика СП

$G_{\text{пр.СП с}}$, $G_{\text{пр.СП п}}$ – коэффициенты усиления приемной антенны спутника-ретранслятора в направлениях приема сигнала и помехи

$G_{\text{псР}}$ – коэффициент усиления передающей антенны спутника-ретранслятора

$G_{\text{пс}}$, $G_{\text{пп}}$ – коэффициенты направленности (по мощности) антенн передатчика ЛРС и передатчика СП в сторону подавляемого приемника ЛРС

$G_{\text{пр.ЗС с}}$, $G_{\text{пр.ЗС п}}$ – коэффициенты усиления приемной антенны земной станции линии спутниковой связи в направлениях приема сигнала и помехи

g_r – коэффициент взаимной корреляции помехи и элемента сигнала в r -м тракте обработки приемника сигналов ЧТ ($r = 0; 1$)

H_g – действующая высота слоя F_2 ионосферы

h_c^2 – отношение мощностей сигнала и шума на входе подавляемого приемника в полосе его пропускания

$h_{\text{п}}^2$ – отношение мощностей помехи и шума на входе подавляемого приемника в полосе его пропускания

K – отношение мощностей помехи и сигнала на входе подавляемого приемника

$K_{\text{вых}}$ – отношение помеха/сигнал на выходе демодулятора приемника

$K_{\text{п}}$ – коэффициент подавления (по отношению мощностей помехи и сигнала на входе подавляемого приемника)

$K_{\text{п.Е}}$ – коэффициент подавления (по отношению напряженностей поля помехи и сигнала на входе подавляемого приемника)

K_E – отношение напряженностей поля помехи и сигнала на входе подавляемого приемника

$l_{\text{с,п,пр}}^*$ – эквивалентные эффективные высоты антенн передатчиков связи и помех, подавляемого приемника:

$l_{\text{с,п,пр}}$ – высоты поднятия антенн передатчиков связи и помех, подавляемого приемника

l_0 – минимальная эффективная высота антенны

l_{Σ} – сумма высот подъема антенн передатчика связи (станции помех) и подавляемого приемника

n – число «скачков» пространственных радиоволн КВ-диапазона между передатчиком и приемником

$P_{\text{п}}$ – мощность помехи на входе подавляемого приемника

$P_{\text{п.ЗС}}$ – мощность передатчика земной станции линии спутниковой связи

$P_{\text{пс}}$ – мощность передатчика сигнала в линии радиосвязи

$P_{\text{пс.ОМ}}$ – средняя выходная мощность передатчика связи при излучении сигнала с ОМ

$P_{\text{псР}}$ – мощность передатчика спутника-ретранслятора

$P_{\text{пп}}$ – мощность передатчика помехи

$P_{\text{с}}$ – мощность сигнала на входе подавляемого приемника

$P_{\text{с.вых}}$ – мощность сигнала на выходе подавляемого приемника

$P_{\text{ш}\uparrow}$, $P_{\text{ш}\downarrow}$ – уровни мощности шума на линиях спутниковой связи вверх и вниз

p – вероятность искажения элементов (битов) дискретного сигнала в приемнике

$p_{\text{кк}}$ – вероятность искажения кодовых комбинаций дискретного сигнала в приемнике

$p_{\text{ср}}$ – средняя вероятность искажения элементов (битов) «0» и «1» дискретного сигнала в приемнике

R – коэффициент отражения пространственных радиоволн КВ-диапазона от земной поверхности

$R_{\text{ЗН}}$ – радиус зоны неподавления линии авиационной УКВ-радиосвязи («ПАН – самолет», «ППУ – самолет», «ВПУ – самолет»)

$R_{\text{п}}$ – радиус зоны радиоподавления

$R_{\text{разведки}}$ – радиус зоны радиоразведки передатчиков линий авиационной УКВ-радиосвязи (ПАН, ППУ, ВПУ)

$R_{\text{п}}^*$ – реальный радиус зоны подавления с учетом реальной дальности прямой видимости

$r_{\text{пов}}$ – максимальная дальность распространения поверхностных радиоволн КВ-диапазона от источника излучения

$r_{\text{простр}}$ – минимальная дальность падения пространственных радиоволн КВ-диапазона от источника излучения при отражении от ионосферы

T – длительность элементов (битов) дискретного сигнала

$t_{\text{нав.необх}}$ – время, необходимое для наведения самолета на цель по УКВ-радиосвязи

$t_{\text{нах.в зоне}}$ – время нахождения самолета в зоне неподавления линии авиационной УКВ-радиосвязи

V – скорость полета самолета

W – разборчивость принимаемого речевого сообщения

γ – коэффициент поляризационных потерь мощности помехи вследствие различия поляризаций излучения помехи и сигнала ($\gamma = 1$, если поляризации помехи и сигнала совпадают; $\gamma = 0$, если поляризации ортогональны)

Δ – смещение центра зоны неподавления линии авиационной УКВ-радиосвязи относительно расположения передатчика линии связи

$\Delta F_{\text{с}}$ – ширина спектра сигнала

Δf – рассогласование частот помехи и сигнала

$\Delta \omega$ – расстройка средних частот спектров ЧМШ-помехи и ЧМ-сигнала

$\Delta \omega_{\text{с}}$ – девиация частоты ЧМ-сигнала

$\Delta \omega_{\text{п}}$ – девиация частоты ЧМШ-помехи

δ^2 – нормированная (к мощности сигнала на входе подавляемого приемника) величина средней квадратической ошибки воспроизведения аналогового сигнала при приеме неречевых сообщений

δ_{ω} – отношение средних квадратических значений девиаций частоты ЧМШ-помехи и ЧМ-сигнала

δ_0 – отношение квадрата расстройки средних частот спектров ЧМШ-помехи и ЧМ-сигнала к среднему квадратическому значению девиации частоты

ЧМ-сигнала

ε —диэлектрическая проницаемость подстилающей поверхности

ε^2 – среднее квадратическое значение ошибки воспроизведения аналогового сигнала при приеме неречевых сообщений

$\eta_{п.ЗС}$ —коэффициент передачи по мощности антенно-волноводного тракта передающей антенны земной станции линии спутниковой связи

$\eta_{пр.ЗС}$ —коэффициент передачи по мощности антенно-волноводного тракта приемной антенны земной станции линии спутниковой связи

$\eta_{псР}$ —коэффициент передачи по мощности антенно-волноводного тракта передающей антенны спутника-ретранслятора

$\eta_{пр.СР}$ —коэффициент передачи по мощности антенно-волноводного тракта приемной антенны спутника-ретранслятора

λ —длина волны

σ —проводимость подстилающей поверхности

τ —рассогласование по времени моментов смены элементов дискретной помехи и дискретного сигнала на входе подавляемого приемника

$\varphi(D_c)$, $\varphi(D_n)$ —функции ослабления радиоволн на дистанциях связи и подавления, зависящие от условий их распространения (диапазон длин волн, диэлектрические свойства трассы распространения радиоволн, высоты антенн и т. д.)

$\varphi_{кр}$ – критический угол падения радиоволн КВ-диапазона при отражении от ионосферы

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основы информационного обеспечения и радиоэлектронной борьбы. Основы радиоподавления радиосвязи: учеб. пособие. // под ред. В. В. Гордея. – Минск.: ВА РБ, 2007.
2. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / Под ред. В.Г. Радзиевского. –М. : Радиотехника, 2006.
3. Козленко, Н. И. Помехоустойчивость дискретной передачи непрерывных сообщений. / Н.И. Козленко– М.: Радиотехника, 2004.
4. Черный, Ф.Б. Распространение радиоволн/ Ф. Б. Черный. – М.: Сов. радио, 1972.
5. Коржик В. И. Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений / В. И. Коржик, Л. М. Финк, К. Н. Щелкунов–М. : Радио и связь, 1981.
6. Долуханов, М. П. Распространение радиоволн/ М. П. Долматов. –М. : Связьиздат, 1960.
7. Зюко, А.Г. Помехоустойчивость и эффективность систем связи / А. Г. Зюко. – М. : Связь, 1972.
8. Системы спутниковой связи / под ред. Л. Я. Кантора. –М. : Радио и связь, 1992.
9. Чучин, Е. В. Основы теории преднамеренных помех радиосвязи / Е. В. Чучин. –Череповец : ЧВВИУРЭ, 1980.
10. Гордей, В.В. Синтез и оценка эффективности помех приемникам двоичных сигналов / В.В. Гордей, Л. А. Овчаренко, В. Н. Поддубный // Информационный конфликт в спектре электромагнитных волн : прил. к журналу «Радиотехника». – М., 1991.
11. Гордей, В.В., Помехоустойчивость приема сложных ФМ сигналов на фоне гармонической помехи с учетом замираний и неточности синхронизации / В. В. Гордей, В. Н. Поддубный // Радиотехника. – 1992. – №5/6.
12. Кузнецов, В.И. Радиосвязь в условиях радиоэлектронной борьбы / В. И. Кузнецов. –Воронеж : Воронежский НИИ связи, 2002.
13. Варакин, Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е. Варакин. – М.: Радио и связь, 1985.
14. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Под ред. Г. И. Тузова – М. : Радио и связь, 1985.
15. Лосев, В. В. Поиск и декодирование сложных дискретных сигналов / В. В. Лосев, Е. Б. Бродская, В. И. Коржик. – М. : Радио и связь, 1988.
16. Вагин, Д. Е. Помехоустойчивость радиолиний с широкополосными сигналами в условиях воздействия взаимных помех. / Д. Е. Вагин, Н. В. Мастеров – Л. : ВАС, 1986.
17. Радиолинии с программной перестройкой рабочих частот / Под ред. А. А. Мельникова и В.К. Прохорова. – Л.: ВАС, 1989.

18. Борисов, В. И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом ППРЧ / В. И. Борисов. –М. : Радио и связь, 2000.

19. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов несущей псевдослучайной последовательностью / под ред. В. И. Борисова. –М. : Радио и связь, 2003.

20. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники/ Б. Р. Левин. – М.: Радио и связь, 1989.

21. Гордей, В. В. Взаимодействие двух фазоманипулированных сигналов в идеальном амплитудном ограничителе/ В.В. Гордей, В. Н. Поддубный // Вопросы синтеза цепей и сигналов: Сб. науч. ст. Воронежского ВВИУРЭ. –Воронеж : ВВВИУРЭ, 1991.

22. Гордей, В. В. Воздействие гармонической помехи на приемник ФМ сигналов с ограничителем на входе / В. В. Гордей, В. Н. Поддубный // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 1992. – №9.

23. Гордей, В. В. Влияние расстройки станционной помехи и ФМ сигнала на помехоустойчивость приемника с ограничителем / В. В. Гордей, Л. А. Овчаренко, В. Н. Поддубный // Радиотехника. – 1996. – №5.

24. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения/ Е. С. Вентцель, Е. А. Овчаров. –М. : Наука, 1988.

25. Вентцель, Е. С. Исследование операций/ Е. С. Вентцель. – М. : Сов. радио, 1972.

Учебное издание

Мачихо Игорь Олегович
Кашкаров Андрей Васильевич
Масейчик Елена Алексеевна
Романовский Сергей Викторович

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ ВОЕННОЙ СВЯЗИ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Редактор *Е. С. Чайковская*

Корректор *Е.Н. Батурчик*

Компьютерная правка, оригинал-макет *В.М. Задоя*

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 50 экз. Заказ 273.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014, №24.03.2014,
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.

ЛП №02330/264 от 14.04.2014.

220013, Минск, П. Бровки, 6