

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

Военный факультет

Кафедра связи

Л. Л. Утин, М. Н. Дудак, Е. А. Масейчик

ВОЕННЫЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ И ТРАНКИНГОВОЙ СВЯЗИ

*Рекомендовано УМО по военному образованию
в качестве учебно-методического пособия
для направления специальности 1-45 01 01-03
«Инфокоммуникационные технологии
(системы телекоммуникаций специального назначения)»*

Минск БГУИР 2023

УДК 621.396.96(076)+355(076)

ББК 32.884.1я73+68.4я73

У84

Рецензенты:

военная кафедра учреждения образования
«Белорусская государственная академия связи»
(протокол № 7 от 18.01.2021);

заведующий кафедрой инфокоммуникационных технологий
учреждения образования «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»
доктор технических наук, доцент В. Ю. Цветков

Утин, Л. Л.

У84

Военные системы спутниковой и транкинговой связи : учеб.-метод.
пособие / Л. Л. Утин, М. Н. Дудак, Е. А. Масейчик. – Минск : БГУИР, 2023. –
108 с. : ил.

ISBN 978-985-543-661-5.

Содержит информацию для изучения основ и принципов организации спутниковой и транкинговой связи, о назначении, составе, технических характеристиках, устройствах, принципах работы аналоговых и цифровых радиостанций транкинговой связи, станций полевых узлов связи и их составных частей, а также информацию, необходимую для обеспечения правильной эксплуатации и максимально эффективного использования технических возможностей станций.

Предназначено для обучения курсантов, а также студентов кафедры связи военного факультета учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», обучающихся по программе офицеров запаса.

УДК 621.396.96(076)+355(076)

ББК 32.884.1я73+68.4я73

ISBN 978-985-543-661-5

© Утин Л. Л., Дудак М. Н.,
Масейчик Е. А., 2023

© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОСНОВЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВОЕННЫХ СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ	4
1.1. Основные элементы системы спутниковой связи.....	4
1.2. Принципы построения системы спутниковой связи военного назначения	7
1.3. Общие принципы построения, основные характеристики земных станций спутниковой связи	15
1.4. Ретранслятор связи. Спутниковый модем	30
2. СТАНЦИИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ВООРУЖЕННЫХ СИЛАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	40
2.1. Станции спутниковой связи Р-440О, Р-440У	40
2.2. Станция спутниковой связи «АУРИГА – 1,2 В».....	43
2.3. Мобильные и стационарные станции спутниковой связи «БЕЛИНТЕРСАТ»	44
2.4. Станции спутниковой связи Р-443О, Р-443У, Р-443ОБ, Р-443ОС, Р-443УС, Р-443П, Р-443П1, Р-443ОП.....	46
3. ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ ТРАНКИНГОВОЙ СВЯЗИ.....	56
3.1. Принципы построения транкинговых систем связи	56
3.2. Базовые станции и ретрансляторы систем транкинговой связи.....	61
3.3. Абонентские станции систем транкинговой связи	63
4. ОСНОВЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ	74
4.1. Методика энергетических расчетов радиолинии в КВ-, УКВ-диапазонах.....	74
4.2. Методика энергетического расчета спутниковых радиолиний	101
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ.....	106
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	108

1. ОСНОВЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВОЕННЫХ СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

1.1. Основные элементы системы спутниковой связи

Система спутниковой связи – комплекс технических средств, предназначенных для обеспечения передачи информации на большие расстояния.

В состав системы спутниковой связи входят следующие основные элементы:

- земные станции и центры спутниковой связи, образующие группировку земных средств спутниковой связи;
- космические аппараты, имеющие в своем составе ретрансляторы связи, образующие орбитальную группировку средств спутниковой связи;
- центр управления системой спутниковой связи;
- ракетно-космический комплекс.

Земные станции и центры спутниковой связи предназначены для организации дальней засекреченной телефонной, телеграфной, факсимильной связи, передачи данных и спецсигналов с использованием ретрансляторов связи на космических аппаратах в интересах соответствующих органов управления.

Земные станции спутниковой связи представляют собой комплекс аппаратуры связи, включающий приемопередающее оборудование (радиопередающее и радиоприемное устройства), аппаратуру каналообразования, антенно-фидерное устройство с системой наведения на космический аппарат. Земные станции могут образовывать от одного до десятков дуплексных цифровых каналов и обеспечивать одновременную работу со многими корреспондентами. Количество образуемых земной станцией каналов и направлений связи определяется ее назначением.

Центры спутниковой связи представляют собой организационно-технические комплексы, предназначенные для обеспечения связи в высших звеньях управления. Они могут состоять из нескольких типовых земных станций или специально создаваемых комплексов аппаратуры. Центры спутниковой связи по своим возможностям обеспечения связи, как правило, превосходят земные станции.

Различные станции и центры спутниковой связи создаются для решения широкого круга задач по управлению войсками.

Земные станции и центры спутниковой связи могут быть стационарными и мобильными. Стационарные станции и центры размещаются в специальных технических зданиях (незащищенные) или в подземных объектах (защищенные).

Отличительной особенностью мобильных станций спутниковой связи является возможность их оперативного транспортирования к месту развертывания и автономной работы в полевых условиях или в составе подвижного пункта управления. Основную группу таких радиостанций образуют полевые станции, устанавливаемые на автомобилях, бронеобъектах, перевозимые в контейнерах и носимые. Эти станции имеют автономную систему

электропитания и систему жизнеобеспечения. К мобильным станциям относятся и станции из состава подвижных пунктов управления (воздушных, железнодорожных), а также станции, размещаемые на самолетах. Мобильные центры спутниковой связи создаются на базе мобильных станций.

В настоящее время для обеспечения спутниковой связи используются земные средства первого и второго поколений. Средства первого поколения образуют комплекс спутниковой связи «Кристалл», второго – «Ливень» и «Легенда». В комплексе «Кристалл» основными (базовыми) являются узловые станции Р-440У и оконечные станции Р-441О.

Космические аппараты с ретрансляторами связи на борту обеспечивают одновременную работу большого числа земных станций друг с другом. Основную роль при этом играет ретранслятор с комплектом приемных и передающих антенн. Простейший ретранслятор представляет из себя приемопередающее устройство, с помощью которого улавливаемые приемной антенной слабые сигналы земных станций выделяются из шумов в приемном устройстве, переносятся по частоте во избежание возбуждения ретранслятора, усиливаются в передающем устройстве и передаются с помощью передающей антенны в направлении Земли. Остальное оборудование космического аппарата – это системы электропитания и жизнеобеспечения ретранслятора. На практике применяются и более сложные ретрансляторы, в которых сигналы земных станций демодулируются и объединяются в единый групповой сигнал, передаваемый на Землю.

В состав системы спутниковой связи входят несколько космических аппаратов на геостационарной орбите типа «Грань» и «Глобус-1». Космические аппараты типа «Грань» обеспечивают работу земных станций комплекса «Кристалл», а космические аппараты типа «Глобус-1» – земных станций комплексов «Ливень» и «Легенда». Каждый космический аппарат обслуживает определенную часть земной поверхности (зону). Зона обслуживания космического аппарата определяется положением самого аппарата относительно Земли и используемой антенной. Точки, в которые выводятся данные космические аппараты, определены международными соглашениями.

Космические аппараты на геостационарной орбите не обеспечивают работу земных станций из высокоширотных районов, поэтому для решения этой проблемы в состав системы спутниковой связи включены космические аппараты типа «Молния-3» на высокоэллиптических орбитах, с которых эти районы хорошо «видны». Космические аппараты на высокоэллиптических орбитах совершают один виток вокруг Земли за 12 часов, причем использование их для связи возможно только в течение 6 часов. Поэтому для обеспечения круглосуточной работы необходимо четыре аппарата данного типа, образующих так называемую «четверку». В состав системы могут входить несколько «четверок», что позволяет обеспечить работу большого числа станций. Космические аппараты типа «Молния-3» предназначены для обеспечения работы земных станций комплекса «Кристалл».

Центр управления спутниковой связью предназначен для управления всеми элементами системы в процессе ее функционирования.

Основными задачами центра являются:

- разработка данных спутниковой связи и доведение их до всех станций системы;
- контроль за работой системы и передача команд об изменении режимов работы ее элементов;
- взаимодействие с наземным комплексом управления космическими аппаратами.

Наземный комплекс управления предназначен для управления космическими аппаратами, выведенными на орбиту, в течение всего жизненного цикла данного аппарата. Управление космическим аппаратом включает в себя управление системами обеспечения аппарата и управление режимами работы ретранслятора связи, входящего в его состав. В состав НКУ входят сеть наземных научно-измерительных пунктов и центральный пункт управления. Сеть научно-измерительных пунктов, в состав которой входят отдельные научно-измерительные пункты, расположенные в различных точках, обеспечивает сбор информации о траекториях полета и техническом состоянии каждого космического аппарата и при необходимости – коррекцию траектории полета и изменение отдельных параметров. Центральный пункт управления осуществляет координацию работы сети. Результаты траекторных измерений и контроля технического состояния космических аппаратов передаются от научно-измерительных пунктов через центральный пункт управления в центр управления системой спутниковой связи, где используются при планировании спутниковой связи. По запросам центра управления системой спутниковой связи через центральный пункт управления на сеть земных научно-измерительных пунктов выдаются команды на измерение режимов работы ретрансляторов, установленных на космических аппаратах.

Ракетно-космический комплекс предназначен для выведения космических аппаратов на орбиту. В состав ракетно-космического комплекса входят:

- стартовые площадки;
- ракеты-носители;
- центр управления.

Для вывода космических аппаратов на высокоэллиптическую и геостационарную орбиты могут использоваться различные стартовые площадки и ракеты-носители. Тип ракеты-носителя также определяется массогабаритными характеристиками выводимого на орбиту космического аппарата. Центр управления ракетно-космического комплекса обеспечивает управление запуском и выводением космического аппарата на орбиту.

1.2. Принципы построения системы спутниковой связи военного назначения

Для обеспечения дуплексной радиосвязи между пунктами А и Б в них устанавливаются приемопередающие земные станции, обозначенные как ЗС-1 и ЗС-2. На околоземную орбиту выводится ИСЗ, на борту которого размещена аппаратура переприема (ретрансляции) сигналов связи. Радиосигнал от ЗС-1 передается в сторону ИСЗ, ретранслируется аппаратурой спутника и принимается ЗС-2. Передача сигнала в обратном направлении (от ЗС-2 к ЗС-1) производится аналогично.

Земные станции космической и спутниковой связи могут располагаться на стационарных или мобильных наземных объектах, кораблях, самолетах, вертолетах и т. д.

Комплекс аппаратуры, смонтированный на борту ИСЗ и осуществляющий ретрансляцию сигналов связи от одной ЗС к другой, является ретранслятором. Аппаратура ЗС-1 и ЗС-2, ретранслятор связи, а также области пространства распространения сигналов связи составляют радиолинию спутниковой связи.

Радиолинии спутниковой связи бывают односкачковые (одна ретрансляция сигнала) и многоскачковые (две и более ретрансляции).

Принцип построения космической и спутниковой связи поясняется на рис. 1.

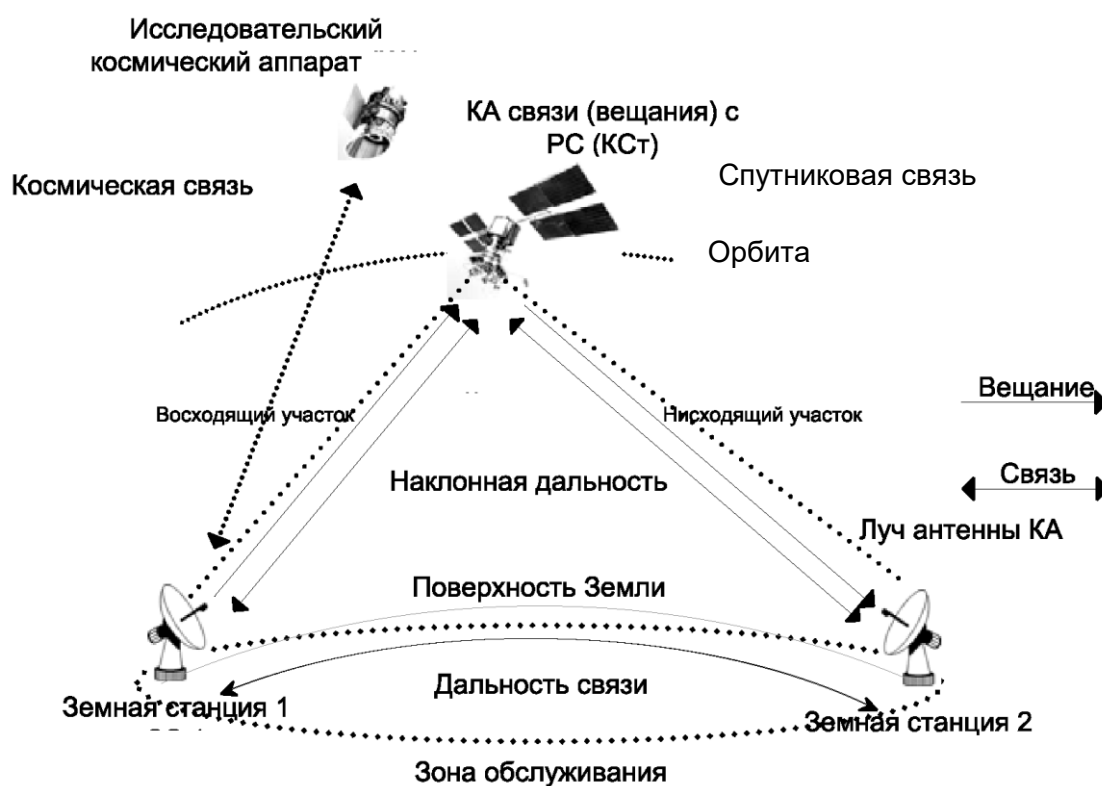


Рис. 1. Принцип построения космической и спутниковой связи

Границы частотного диапазона, используемого в спутниковой связи, определяются большим количеством факторов (из которых наиболее важными являются допустимые размеры антенн ЗС и СР и особенности распространения радиоволн) и существующей практикой распределения частотного ресурса между различными службами.

Системы спутниковой связи (ССС) работают в диапазоне частот от нескольких сотен МГц до нескольких десятков ГГц в участках спектра, специально выделенных Международным регламентом радиосвязи. Применительно к СССР «прижились» и широко используются условные буквенные обозначения диапазонов частот, введенные из соображений секретности еще в годы Второй мировой войны: *L*-диапазон – 0,5...1,5 ГГц; *S*-диапазон – 1,5...2,5 ГГц; *C*-диапазон – 4...8 ГГц; *K*-диапазон – 12...40 ГГц; *Q/V*-диапазон – 40...74 ГГц.

На начальной стадии развития теории и практики спутниковой связи предпочтение отдавалось *L*-, *S*- и *C*-диапазонам, соответствующим так называемому «окну радиопрозрачности» земной атмосферы, расположенному ориентировочно в пределах от 1 до 10 ГГц. Однако в начале 50-х годов прошлого столетия *L*- и *S*-диапазоны уже были основательно заняты другими радиослужбами, поэтому для нужд спутниковой связи в этих диапазонах были выделены полосы частот, не превышающие в сумме даже нескольких десятков МГц, что не позволяло достичь необходимой пропускной способности СССР. Поэтому первым выбором стал *C*-диапазон, который достаточно широко используется и в настоящее время. Однако серьезным недостатком этого диапазона является возможность создания взаимных помех между СССР и наземными радиорелейными и тропосферными линиями связи.

По мере постепенного насыщения *C*-диапазона и прогресса в области технологии производства СВЧ-компонентов радиоэлектронной аппаратуры началось освоение *K*-диапазона. Изначально буквенное обозначение «*K*-диапазон» было присвоено полосе частот 18...27 ГГц. Однако обнаружение значительного поглощения радиосигналов в атмосфере Земли на частоте 22,3 ГГц, обусловленного резонансными явлениями в молекулах водяного пара, исключило возможность использования частот вблизи этого резонанса. В результате были введены обозначения *Ku*-диапазон (*K-under*) и *Ka*-диапазон (*K-above*). В *K*-диапазоне возможно использование антенны меньших размеров, он характеризуется лучшими условиями электромагнитной совместимости с другими радиослужбами. Но проявление, хотя и не в очень сильной степени, влияния состояния земной атмосферы на поглощение и рассеяние радиосигналов требует определенного энергетического запаса радиолиний связи. Тем не менее *K*-диапазон достаточно апробирован на практике, технология производства аппаратуры отработана, и в настоящее время этот диапазон используется большинством действующих СССР.

В последние годы идет достаточно интенсивная подготовка к освоению и эффективному использованию *Q/V*-диапазона.

Распространены также и цифровые обозначения используемых в спутниковой связи диапазонов частот, представляющие собой средние округленные значения частот приема/передачи ретранслятора ИСЗ. Так, *C*-диапазону соответствует диапазон 6/4 ГГц (рабочая частота линий «вверх» составляет около 6 ГГц, «вниз» – 4 ГГц), *Ku*-диапазону – 14/12 ГГц, *Ka*-диапазону – 30/20 ГГц, *Q/V*-диапазону – 50/40 ГГц. Окончательное распределение частотных полос, выделяемых для организации и обеспечения спутниковой связи, находится в стадии формирования. Этот процесс затруднен вследствие ранее принятых непоследовательных, недостаточно обоснованных или просто ошибочных решений ряда Всемирных административных конференций по радиосвязи, противоречивых рекомендаций Международного союза электросвязи и Международного космического агентства. Поэтому для практической реализации спутниковой связи в настоящее время выделены дополнительные полосы:

- 137...138; 148...149,9; 272...273; 400,15...401; 312...315 МГц;
- 367...390 МГц – при использовании маломощных передатчиков и низкоскоростных передач;
- 1525...1544; 1610...1626,5 МГц – в направлении «вверх», т. е. от ЗС к СР, или «Земля – Космос»;
- 1970...2010; 2483...2520 МГц – в направлении «вниз», т. е. от спутника к ЗС, или «Космос – Земля»;
- 5150...5250 МГц – в направлении «Земля – Космос» для фидерных линий;
- 5091...5150 МГц – в направлении «Космос – Земля» для фидерных линий;
- 7025...7075 МГц – для фидерных линий в обоих направлениях;
- 15,4...15,7; 19,3...19,6; 29,1...29,4 ГГц – для межспутниковых каналов связи.

Международный регламент радиосвязи, кроме распределения радиочастотного ресурса, устанавливает еще и его закрепление за географическими зонами, областями, материками, континентами, отдельными странами, союзами государств, международными институтами, организациями, а также отраслями мирового хозяйства.

Принципы построения систем спутниковой связи

Основной принцип построения систем спутниковой связи основан на использовании промежуточного ретранслятора связи на ИСЗ (рис. 2).

Спутниковая связь существенно отличается от других видов радиосвязи – радиорелейной, тропосферной, ионосферной, сотовой или транкинговой. Так, в системах радиорелейной связи протяженность линии в значительной степени зависит от наличия прямой видимости между абонентами и типа трассы (открытая, полуоткрытая, закрытая). В системах загоризонтной (тропосферной и ионосферной) связи расстояние между станциями определяется состоянием

тропосферы или ионосферы, поскольку действие этих систем основано на эффекте рассеяния радиоволн за счет неоднородностей в тропосфере (ионосфере) или отражения от верхних слоев ионосферы. Размеры зон обслуживания сотовых и транкинговых систем зависят от высоты подъема антенны базовой станции. В системах спутниковой связи основными показателями, определяющими размеры такой зоны, качество обслуживания и энергетику радиолиний, являются тип орбиты и ее характеристики.

В зависимости от назначения ССС связываемые пункты могут быть расположены на поверхности Земли, в атмосфере или в космосе. В каждом из этих пунктов устанавливаются приемопередающие связные радиостанции (одноканальные или многоканальные), а на спутниках – бортовые ретрансляторы, принимающие радиосигналы от одних абонентов и ретранслирующие их другим абонентам. В простейшем случае ретрансляция сводится к усилению мощности входных сигналов и переносу их спектров на другие несущие частоты. Однако в ряде ССС в СР производится более сложная обработка сигналов, чтобы уменьшить перекрестные помехи между сигналами от различных ССС и повысить помехоустойчивость системы.

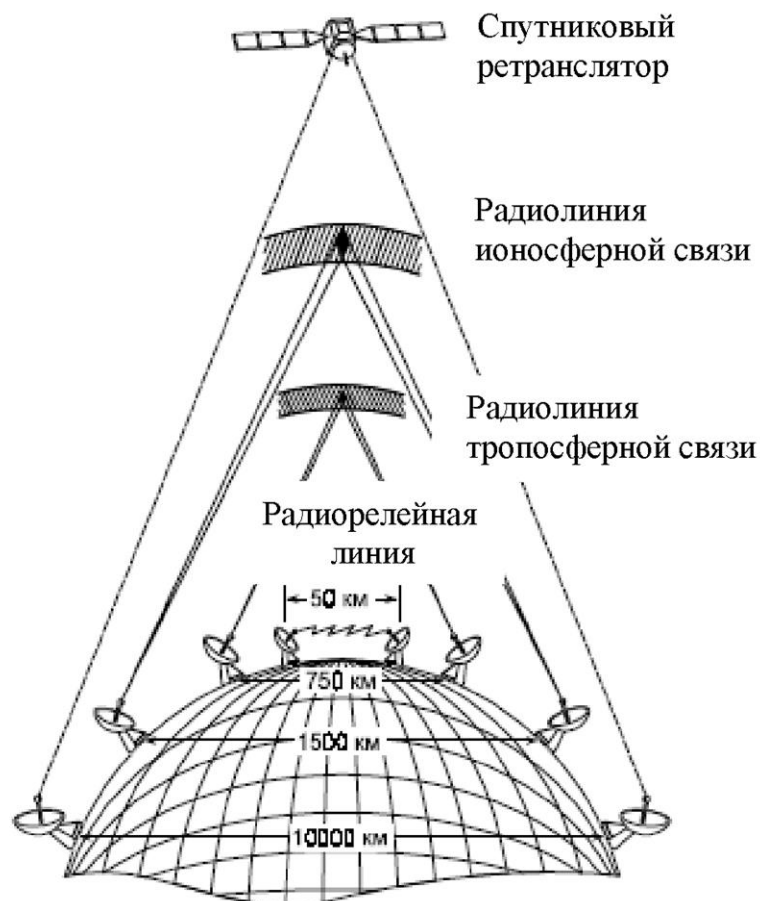


Рис. 2. Принцип осуществления спутниковой связи

Состав системы спутниковой связи военного назначения

В состав ССС, как правило, входят пять основных элементов или сегментов: ракетно-космический комплекс, наземный сегмент управления, космический сегмент, сегмент земных узловых станций и пользовательский сегмент. Ракетно-космический комплекс ССС включает в себя предприятия, изготавливающие необходимое оборудование, космодромы для запуска спутников связи с соответствующей инфраструктурой и наземную систему управления спутниками на этапе их вывода на орбиту и ввода в эксплуатацию.

Наземный сегмент управления предназначен для обеспечения эксплуатации спутниковой системы связи, в том числе для контроля работоспособности ее элементов, планирования и координации работ по развертыванию и восполнению орбитальной группировки, проведению траекторных измерений, определению параметров орбиты.

Космический сегмент представляет собой совокупность космических аппаратов, называемую орбитальной группировкой. В системе может быть всего один спутник на геостационарной орбите, что характерно для ряда национальных систем.

Сегмент земных узловых станций предназначен для обеспечения управления работой сети в отдельных географических зонах (регионах). Через узловые станции обеспечивается выход в наземные сети. Между узловыми станциями и ретранслятором организуются так называемые фидерные линии, т. е. магистральные линии, по которым передаются большие потоки информации.

Системы спутниковой связи строятся с использованием структур, предполагающих наличие или отсутствие межспутниковых связей. Данные различия в структуре систем носят радикальный характер. Первый принцип построения структуры предполагает, что выход осуществляется вначале на ближайшую земную станцию сопряжения, а затем на существующую фиксированную сеть (в основном наземную). Этот принцип позволяет сделать систему частью национальной сети страны, а также сокращает трассу для основной массы региональных (местных) соединений. С другой стороны, межрегиональные и международные соединения становятся зависящими от состояния наземных сетей.

Второй принцип наиболее целесообразен, когда базовых станций сравнительно немного (например, одна-две на регион). Соединение абонентов, находящихся в зоне покрытия разных спутников, осуществляется по межспутниковым линиям, что делает систему менее зависимой от наземных сетей в случае соединения двух абонентов системы между собой или абонента системы с абонентом сети общего пользования. Однако такое решение увеличивает использование спутниковых и наземных каналов при соединении с местными абонентами сети общего пользования, поскольку приходится создавать соединение с удаленной базовой станцией через межспутниковые линии и уже затем – по наземной трассе с местной АТС. Кроме того, за счет межспутниковой связи спутники становятся сложнее и дороже.

В пользовательский сегмент ССС включаются все модификации абонентских терминалов и земных станций, устанавливаемые непосредственно у пользователя. В зависимости от условий эксплуатации абонентские земные станции подразделяются на три типа: стационарные, возимые и носимые, портативные. Диапазон частот для работы абонентских линий выбирается обычно в пределах от 150 МГц до 2,5 ГГц.

Типовая структура ССС представлена на рис. 3.

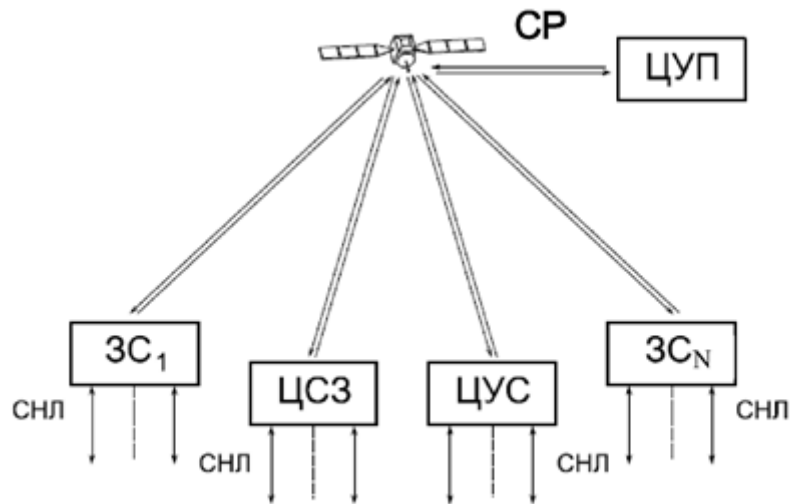


Рис. 3. Типовая структура системы спутниковой связи

В состав ССС независимо от ее назначения и принадлежности входят такие структурные элементы, как:

- космический аппарат или ИСЗ с СР – включает в себя приемопередающие устройства и антенны, а также ряд систем обеспечения энергоснабжения, ориентации, коррекции положения на орбите и т. д.;

- абонентские земные станции (ЗС), обеспечивающие дуплексный обмен информацией;

- центральная (координирующая) ЗС (ЦЗС), обеспечивающая контроль за режимом работы СР и соблюдением ЗС важных для работы ССС параметров (излучаемой мощности, несущей частоты, вида модуляции, поляризации и т. д.);

- центральная ЗС системы управления и контроля ИСЗ (ЦУС), обеспечивающая управление всеми техническими средствами, размещенными на ИСЗ, и контроль за их состоянием;

- соединительные наземные линии (СНЛ), обеспечивающие подключение ЗС к источникам и потребителям информации;

- центр управления (ЦУП) ССС, представляющий собой орган, осуществляющий руководство эксплуатацией ССС и ее развитием.

По характеру обеспечиваемого трафика ССС условно делятся на три типа:

- «точка – точка» (рис. 4, а) – простейший случай дуплексной линии связи между двумя удаленными станциями;

- «звезда» (рис. 4, б) – для многонаправленной радиальной передачи трафика между центром сети и периферийными (удаленными) пунктами связи;
- «каждый с каждым» (рис. 4, в) – для обеспечения прямых связей между любыми пунктами сети связи.

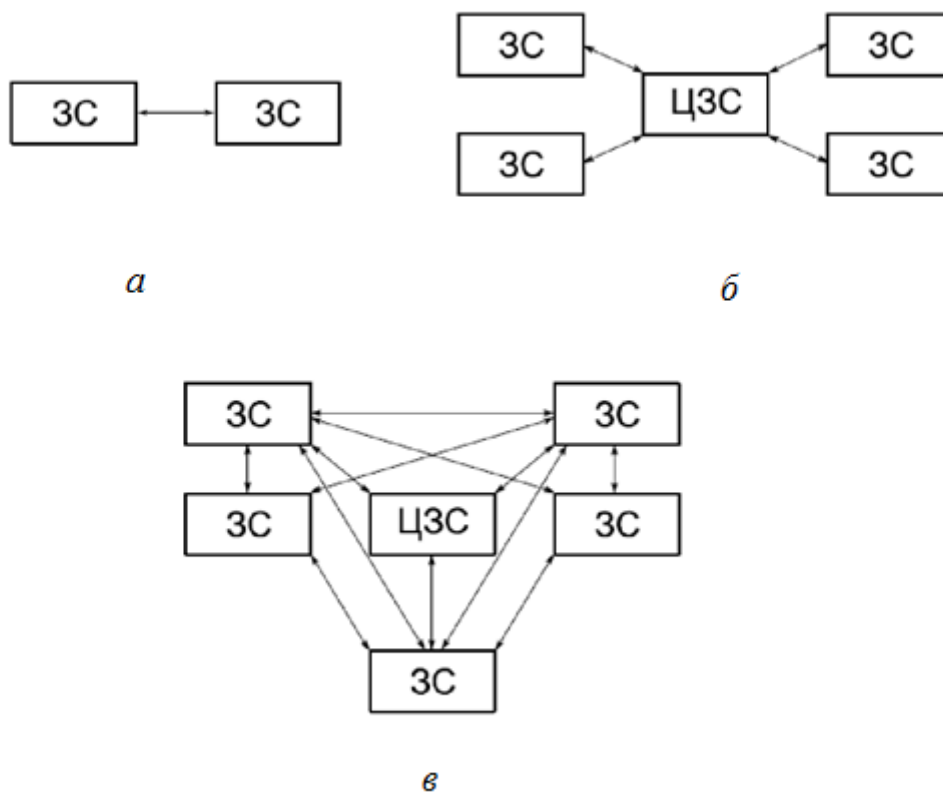


Рис. 4. Типовые варианты структуры сети спутниковой связи:
 а – «точка – точка»; б – «звезда»; в – «каждый с каждым»

Сеть типа «точка – точка», обеспечивающая дуплексную связь между двумя удаленными пунктами, наиболее эффективна при больших расстояниях между ними или при их расположении в труднодоступных регионах, а также при большой величине трафика между пунктами.

В наиболее распространенных сетях типа «звезда» обеспечивается многонаправленная радиальная передача трафика между центральной земной станцией сети (ЦЗС) и удаленными периферийными абонентскими ЗС по энергетически выгодной схеме, поскольку ЦЗС обладает антенной большого диаметра и мощным передатчиком. Функции контроля и управления в сети типа «звезда» обычно сосредоточиваются в ЦЗС.

Типовые варианты маршрутизации соединений представлены на рис. 5.

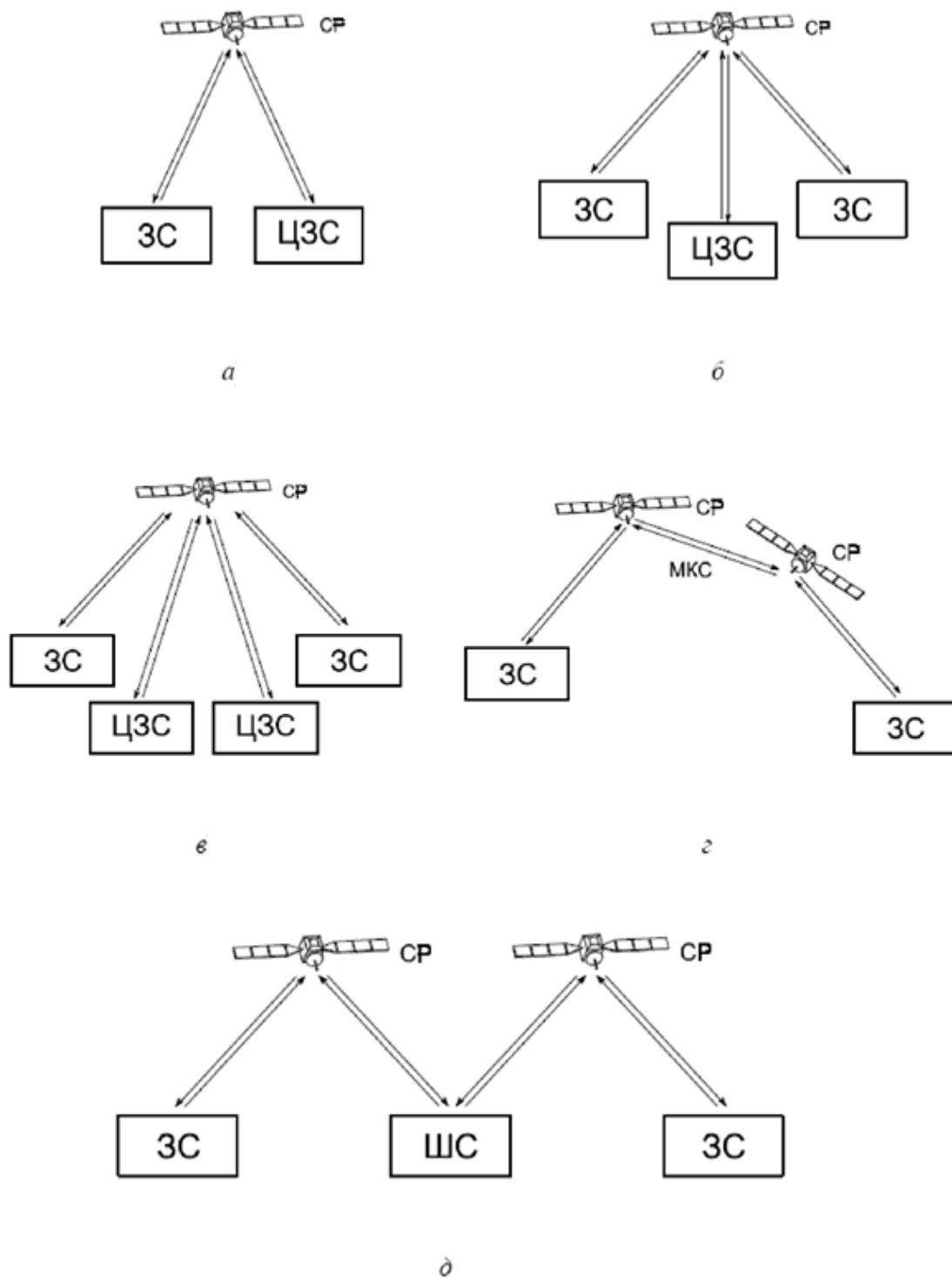


Рис. 5. Типовые варианты маршрутизации соединений:
a – односкачковая; *б* – двухскачковая; *в* – трехскачковая;
г – с межспутниковым каналом; *д* – со шлюзовой станцией

1.3. Общие принципы построения, основные характеристики земных станций спутниковой связи

В системах связи различного назначения спутниковые линии выполняют задачу обеспечения глобальной и дальней многоканальной радиосвязи. Обоснование и расчет определяющих и наиболее существенных технических параметров, а также основных элементов средств многоканальной радиосвязи, производятся как на этапе их проектирования и разработки, так и при планировании боевого применения уже введенных в эксплуатацию.

В задачу разработки и проектирования аппаратуры многоканальной радиосвязи входит реализация заданных тактико-технических требований на основе анализа конкретных инженерно-технических и схемно-конструкторских решений.

К решениям, определяющим структуру линий и станций, а также их технические характеристики, относятся:

- выбор и инженерное обоснование структуры линии и станции, метода объединения (разделения) каналов, вида модуляции (демодуляции) и обработки сигналов, диапазона используемых частот (если он не задан в тактико-техническом задании), типа антенно-мачтовых устройств;

- энергетический расчет интервалов, линии в целом и обоснование на его базе основных энергетических характеристик приемопередающего оборудования станций, параметров модуляции, методов приема и обработки сигналов.

Процесс выполнения указанных операций является, как правило, многоальтернативным, поэтому обычно рассматривается несколько вариантов возможных технических решений. Также обосновывается компромиссное решение, если не найдено прямого решения задачи.

При анализе возможных технических решений по построению систем многоканальной спутниковой связи возникает необходимость в решении следующих задач:

- выбора видов информационных сигналов, передаваемых по линиям, и методов их объединения (разделения) при многоканальной связи;

- выбора методов формирования и обработки радиосигналов (методов модуляции и демодуляции) в трактах передачи и приема станций;

- выбора метода многостанционного (множественного) доступа пользователей к стволам ретрансляции сигналов, т. е. признаков, по которым радиосигналы ЗС будут различаться в трактах приема ретранслятора на борту ИСЗ.

Последовательное и взаимосвязанное решение указанных задач с обоснованием выбора соответствующих характеристик и параметров составляет содержание методики расчета систем и линий спутниковой связи.

Основой методики является энергетический расчет, т. е. выявление величин и соотношений уровней сигналов, шумов и помех, приведенных к различным участкам радиолинии спутниковой связи.

Общая методика энергетического расчета радиолиний спутниковой связи

Из анализа задач, решаемых военными системами многоканальной радиосвязи, следует, что основными видами информационных сигналов, передаваемых по линиям спутниковой связи, являются сигналы телефонных, телеграфных и фототелеграфных сообщений, аппаратуры передачи данных и служебной связи.

Для упрощения формирования устройств и обработки все многообразие используемых информационных сигналов целесообразно привести к единой цифровой форме.

В целях унификации устройств обработки дискретных сигналов их скорости приводятся к определенным стандартам. Номиналы первичных скоростей в основном определяются типом используемой оконечной аппаратуры и для цифровых линий связи составляют 50...100 бит/с при передаче телеграфных и 1,2...2,4 кбит/с при передаче телефонных и факсимильных сообщений. Аппаратура передачи данных, кроме указанных номиналов скоростей, может формировать информационные сигналы со скоростью 4,8 кбит/с.

В соответствии с этим в линиях спутниковой радиосвязи в настоящее время приняты следующие международные стандарты индивидуальных и групповых скоростей передачи информации: 0,05...0,1; 1,2; 2,4; 4,8; 48; 96; 144; 240 и 480 кбит/с.

Групповые информационные сигналы формируются аппаратурой, использующей известные принципы временного объединения дискретных каналов.

Виды модуляции, используемые при передаче радиосигналов, в значительной мере определяют энергетические параметры многоканальных линий радиосвязи с ретрансляцией сигналов. При выборе метода модуляции необходимо учитывать как энергетические возможности усилителей мощности передатчиков, занимаемую радиосигналом полосу частот, так и требования к помехоустойчивости, сложность технической реализации устройств формирования и обработки сигналов и т. д.

Очевидно, что при заданной технической скорости передачи информации, реальной чувствительности приемника и одинаковой спектральной плотности мощности тепловых шумов лучшим будет тот способ передачи, который обеспечит минимум вероятности ошибок, либо (при заданной вероятности ошибок) потребует минимальных энергетических затрат на линии или будет допускать большие скорости передачи информации. С этих позиций лучшими для многоканальных линий радиосвязи являются угловые методы модуляции: частотная (ЧТ), фазовая (ФТ) или относительная фазовая (ОФТ), либо их разновидности.

Важными параметрами, учитываемыми при выборе соответствующего метода модуляции, являются достоверность приема сигналов и занимаемая ими

ширина полосы частот. Расчет указанных параметров зависит от выбранного метода обработки (демодуляции) сигналов в тракте приема и на этапе проектирования может быть осуществлен из соотношений вероятности ошибочного приема элемента сигнала.

Изучая теорию технологий беспроводных сетей доступа или сетей сотовой связи, можно столкнуться с такой аббревиатурой, как *OFDM*. Ей дается следующее определение: «*OFDM (Orthogonal frequency division multiplexing)* – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов. Является цифровой схемой модуляции, которая использует большое количество близко расположенных ортогональных поднесущих. Каждая поднесущая модулируется по обычной схеме модуляции (например, квадратурная амплитудная модуляция) на низкой символьной скорости, сохраняя общую скорость передачи данных, как и у обычных схем модуляции одной несущей в той же полосе пропускания. На практике сигналы *OFDM* получаются путем использования быстрого преобразования Фурье» (БПФ).

Попытаемся объяснить суть *OFDM*-модуляции простым языком, без сильного углубления в математический анализ и теорию цифровой обработки сигналов.

Параллельная передача данных с частотным разделением была придумана еще в середине 60-х годов прошлого века и использовалась, как и большинство известных сегодня технологий, сначала только в военных системах. В те времена военные, используя *OFDM*, уже осуществляли параллельную передачу данных с использованием 34 поднесущих.

В 1980-х стали рассматривать применение *OFDM* в коммерческих системах, в первую очередь в высокоскоростных модемах и цифровых мобильных сетях. В 1990-х *OFDM*-модуляцию стали использовать в цифровом радиовещании (*DAB*), в наземном телевидении, при передаче видео высокой четкости *HDTV*, а также в технологиях «последней мили» *ADSL* и *HDSL*.

Долгое время *OFDM* не находила широкого распространения в других системах связи по причине сложной технической реализации. Решение задачи формирования *OFDM*-сигнала аналоговыми методами весьма проблематично, но развитие вычислительных систем и методов цифровой обработки сигналов позволило начать применять *OFDM*-модуляцию в самых различных системах – от радио- до проводных и даже волоконно-оптических линий.

Несмотря на то что метод дословно расшифровывается как мультиплексирование с ортогональным частотным разделением, его в первую очередь относят к методам цифровой модуляции. Дело в том, что метод *OFDM* использует одновременно и модуляцию, и особое мультиплексирование. Обычное мультиплексирование подразумевает объединение различных сигналов от разных источников, здесь же происходит объединение составных частей одного и того же сигнала.

Объясним данный процесс на простом примере. Представьте, что из одного пункта в другой необходимо передать стеклянный витраж. Для этого в нашем распоряжении есть четыре тележки (в случае передачи информации в роли тележки выступает доступный для передачи диапазон частот).

Мы разбираем стеклянный витраж на некоторое определенное количество частей (в примере их четыре). Далее каждая тележка перевозит свою часть витража, при этом тележки катятся одновременно параллельно друг другу. На пути у нас встречается одна преграда в виде камня (в случае передачи информации – узкополосная помеха). Одна из тележек наезжает на камень и опрокидывается, соответственно, одна из частей витража не доходит до пункта приема (рис. 6).

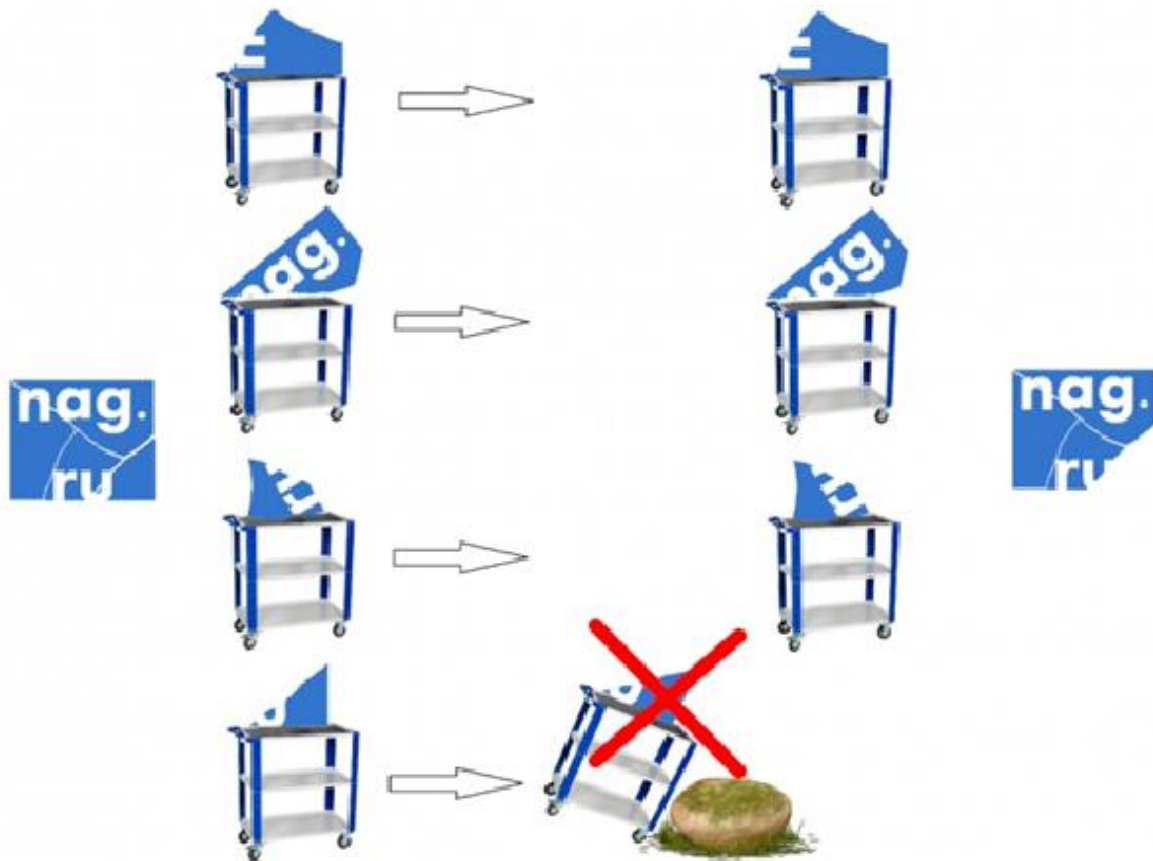


Рис. 6. Иллюстрация принципа работы *OFDM*

Однако большее количество частей витража все-таки было корректно получено, поэтому есть шанс восстановить потерянную часть (в реальности это делается с помощью помехоустойчивого кодирования).

Что случилось с витражом без применения *OFDM*? При традиционном подходе для наискорейшей передачи мы также задействовали бы все доступные ресурсы, но транспортировали бы витраж целиком, одновременно на всех четырех тележках (используя высокоскоростной метод модуляции, занимающий всю полосу канала). Допустим, на пути также встречается одна преграда в виде камня. В результате, когда одна из тележек наедет на камень, витраж упадет и разобьется вдребезги (рис. 7).

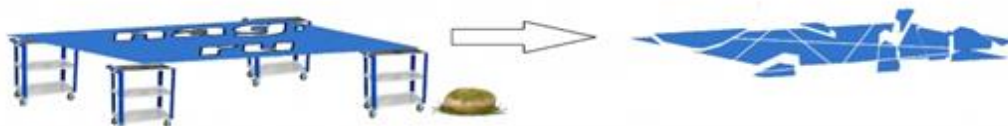


Рис. 7. Иллюстрация последствий применения традиционного подхода к передаче данных

Алгоритм, по которому в данном случае распадется витраж, случаен и неизвестен, поэтому собрать витраж заново невозможно. В итоге потерян немалый объем данных, которые невозможно восстановить даже с помощью помехоустойчивого кодирования.

Одной из особенностей *OFDM* является то, что все тележки могут двигаться параллельно, практически вплотную, и при этом не мешать друг другу. При передаче информации роль тележек выполняют поднесущие сигналы, т. е. множество несущих колебаний (рис. 8). Даже если при движении на пути одной из тележек встречается препятствие, она не мешает другим двигаться дальше.

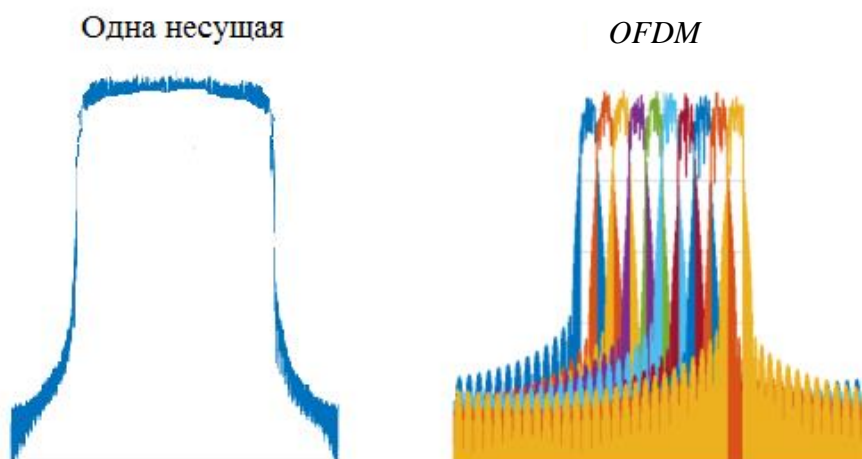


Рис. 8. Типы сигнала

Аналогичный эффект в отношении передачи сигналов – ортогональность сигналов. Взаимная энергия ортогональных сигналов равна нулю. Ортогональность поднесущих позволяет в процессе приема сигнала выделить каждый из них из общей массы даже в случае частичного перекрытия их спектров (см. рис. 8). Поскольку поднесущие располагаются вплотную друг к другу и даже частично накладываются друг на друга (рис. 9), спектральная эффективность модулированного *OFDM*-сигнала получается высокой.

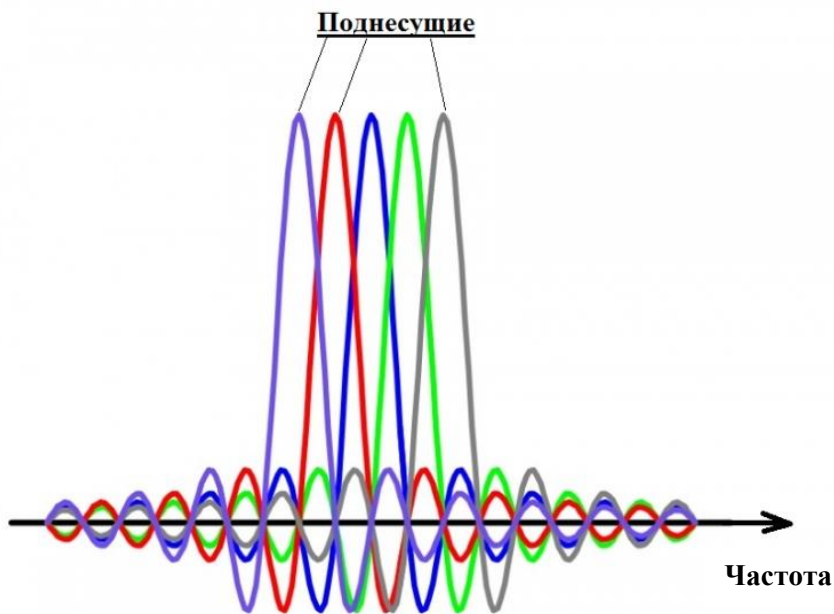


Рис. 9. Изображение поднесущих на частотной оси

На рисунке каждая поднесущая представлена отдельным пиком. В точке пика каждой поднесущей значение остальных поднесущих равно нулю. На оси времени каждой кривой соответствует свой модулированный сигнал. Сумма всех этих сигналов дает сложный по форме *OFDM*-сигнал (рис. 10).

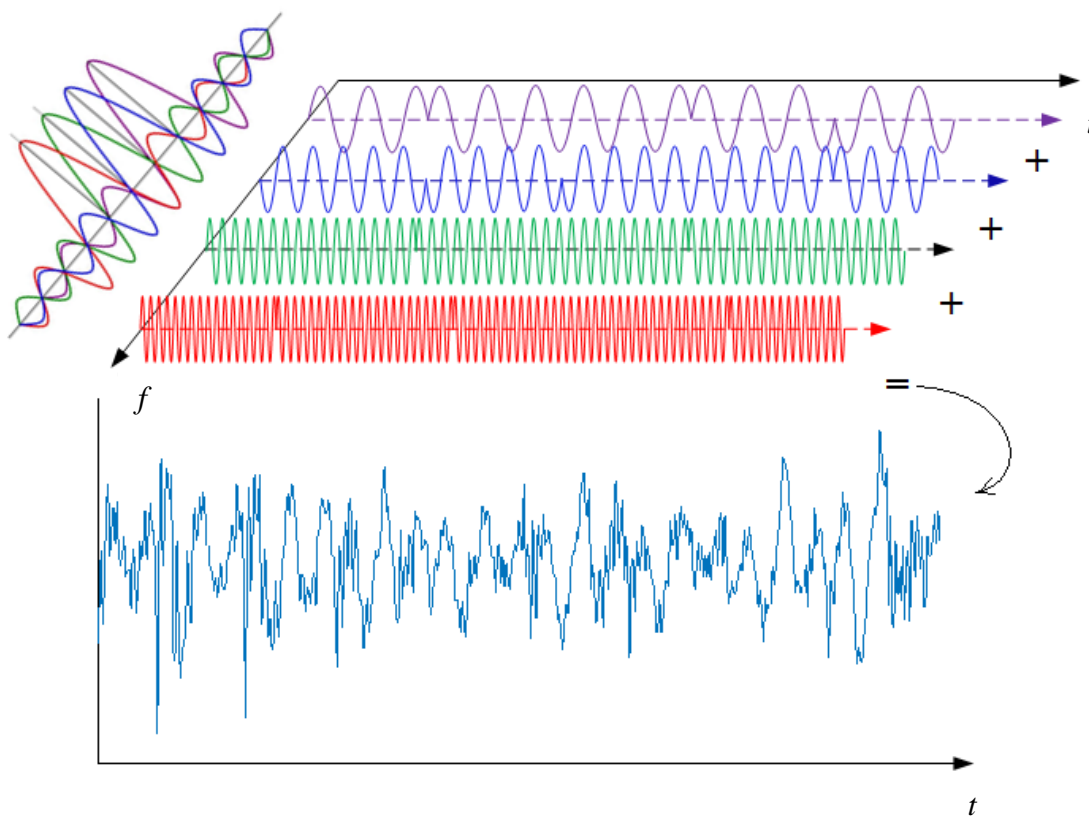


Рис. 10. *OFDM*-сигнал

Параметры поднесущих сигналов (например, синусоид) подбираются таким образом, чтобы они были ортогональны по отношению друг к другу. Для быстрого подбора с помощью вычислительных устройств используют алгоритм обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ): значения сигнала перед блоком ОБПФ относятся к частотной области, тогда на выходе блока ОБПФ мы получаем значения сигнала на временной оси. Объединяя все значения, мы получаем сложный составной *OFDM*-сигнал (рис. 11).

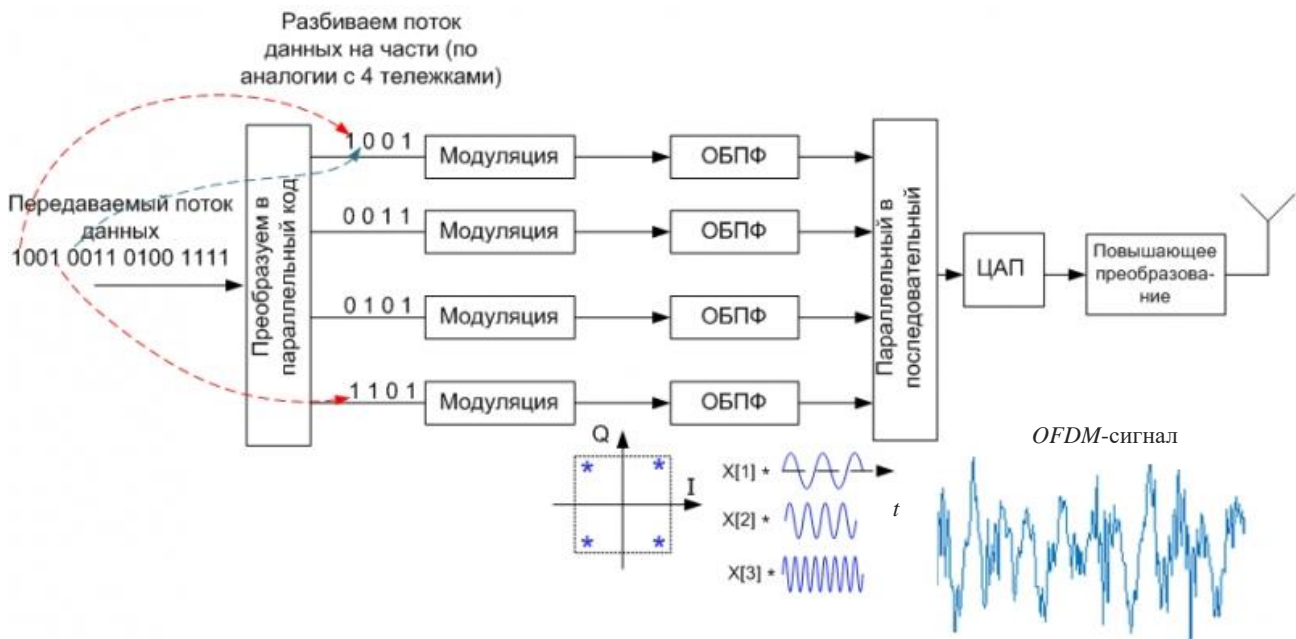


Рис. 11. Составной *OFDM*-сигнал

Важно отметить, что в данной упрощенной схеме представлены не все блоки, имеющиеся в реальных системах с *OFDM*. Для упрощения схемы не приведены блоки добавления защитных бит и циклического префикса, являющиеся неотъемлемой частью технологии.

Ввиду того, что ОБПФ эффективно работает с массивами размерностью 2^k , количество поднесущих выбирается исходя из аналогичной кратности. Например, в *WiMAX* число поднесущих выбирается от 128 до 2048 и может занимать полосы частот от 1,25 до 20 МГц (табл. 1).

Таблица 1

Выбор поднесущих

Ширина канала	Число поднесущих
1,25 МГц	128
2,5 МГц	256
5 МГц	512
10 МГц	1024
20 МГц	2048

Для каждой из поднесущих используется свой формат модуляции в зависимости от требований и величины помех в канале.

На приемном конце все блоки приведенной выше схемы (см. рис. 11) инвертируются (вместо ЦАП ставится АЦП, вместо обратного БПФ – прямое БПФ) и ставятся в обратном порядке.

Преимущества *OFDM*:

- способность противостоять сложным условиям в радиоканале, устранять межсимвольную интерференцию и бороться с узкополосными помехами (в примере мы потеряли одну из тележек, но можем сменить путь с препятствием на другой);

- высокая спектральная эффективность – если число поднесущих приближается к бесконечности, *OFDM*-системы показывают почти удвоенную спектральную эффективность в сравнении с традиционными системами с частотным разделением каналов;

- адаптивность метода – возможность использования различных схем модуляции для разных поднесущих, что позволяет адаптироваться к условиям распространения сигнала и к различным требованиям к качеству принимаемого сигнала;

- простая реализация методами цифровой обработки (стала доступна с ростом мощности вычислительных устройств);

- способность противостоять интерференции между поднесущими, что обуславливает хорошие показатели при многолучевом распространении.

Недостатки *OFDM*:

- требуется высокоточная синхронизация по времени и частоте;

- *OFDM*-сигнал имеет относительно высокое значение пик-фактора, что приводит к чрезмерным энергетическим затратам;

- использование защитных интервалов снижает спектральную эффективность метода;

- метод чувствителен к эффекту Доплера, что вызывает дополнительные трудности при его применении в мобильных сетях.

На сегодняшний день наиболее распространено применение *OFDM*-модуляции в беспроводных системах связи *Wi-Fi*, *WiMax* и *LTE*, в наземных системах цифрового телевидения *DVB-T*, в системах кабельного телевидения *DVB-C*, в технологии *ADSL* и т. д.

Важно отметить, что нами были рассмотрены только некоторые основные моменты *OFDM*. Для более глубокого изучения стоит обратить внимание также на вопросы добавления циклического префикса для устранения помех и борьбы с замираниями, использование пилотных поднесущих, процедуры тактовой и фазовой синхронизации и др.

Земные станции спутниковой связи

Земные станции (ЗС) спутниковой связи представляют собой достаточно сложный комплекс различных радиотехнических устройств, состав, структура и принципы построения которого определяются его целевым предназначением, а также ролью и местом в общей системе связи.

Станции спутниковой связи могут быть приемопередающими или только приемными. Кроме того, ЗС подразделяются на стационарные и мобильные, которые отличаются друг от друга размерами антенн, составом аппаратуры и возможностями. Стационарные станции имеют антенны диаметром от 12 до 30 м, вся аппаратура размещается в специальных зданиях. Мобильные станции снабжаются антеннами диаметром 1,8...4,5 м, их аппаратура размещается на различных транспортных средствах (автомобилях, самолетах, кораблях и др.). Ниже изображена основная (типовая) структурная схема приемопередающей ЗС, содержащая состав и назначение основных элементов аппаратуры (рис. 12).

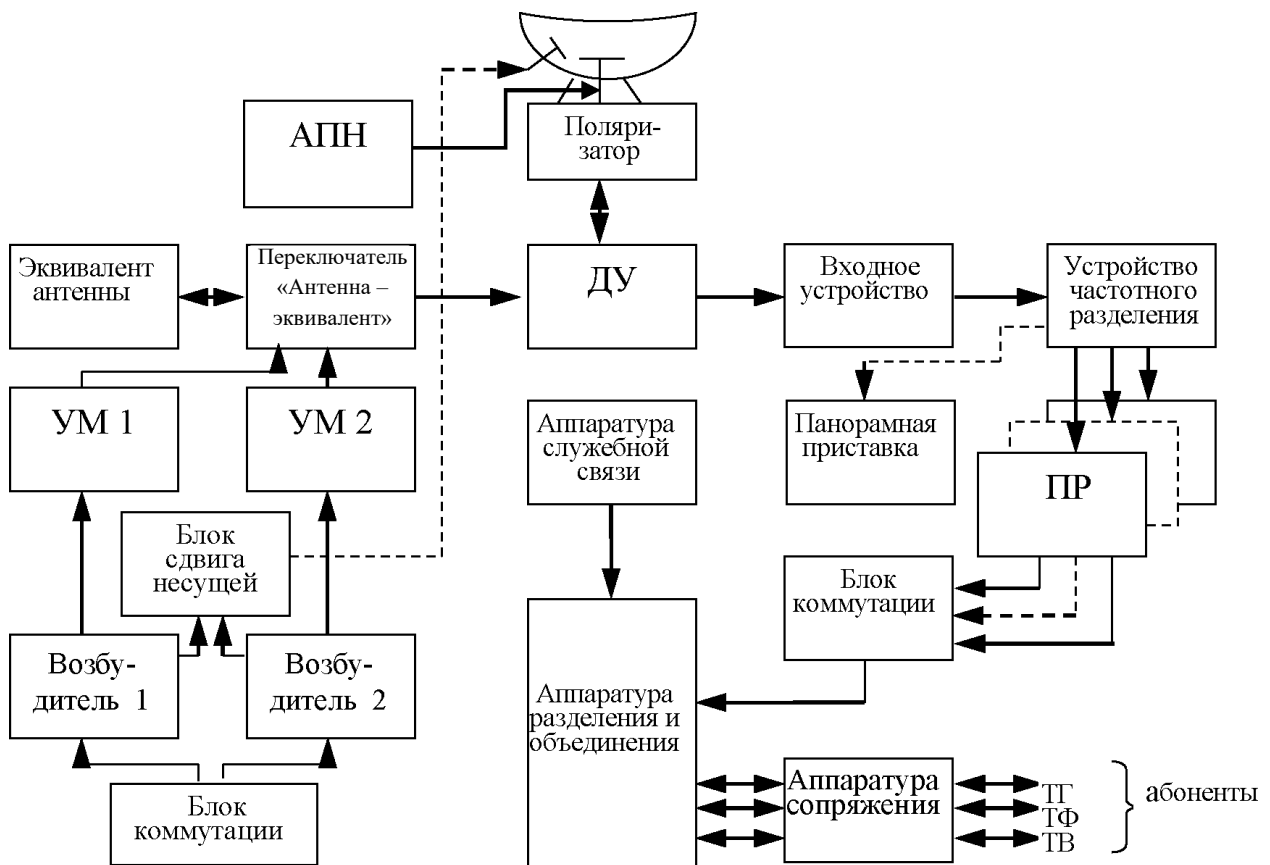


Рис. 12. Структурная схема земной станции спутниковой связи

В любой многоканальной станции всегда происходит как минимум два этапа модуляции. На первом этапе передаваемые индивидуальные (абонентские) сигналы объединяются в единый групповой сигнал, а на втором осуществляется модуляция ВЧ-колебаний передатчика групповым сигналом. При приеме производятся операции по обратному преобразованию радиосигнала в

групповой, а затем в индивидуальные (абонентские) сигналы. В соответствии с этим вся аппаратура станции условно может быть разделена на группы, объединяемые общностью выполняемых функций:

- высокочастотное (ВЧ) оборудование, выполняющее функции формирования и модуляции (демодуляции) высокочастотных колебаний групповым сигналом;

- низкочастотное (НЧ) оборудование, выполняющее функции объединения (разделения) индивидуальных абонентских сигналов в групповой и согласования этих сигналов с линиями привязки к оконечным абонентским устройствам;

- аппаратура контроля и управления, выполняющая контроль работоспособности всей аппаратуры станции, управление режимами ее работы и положением антенны в пространстве.

Высокочастотное оборудование станции включает в себя следующие составляющие.

1. **Антенно-фидерный тракт**, который из-за громоздкости антенных сооружений обычно выполняется общим для передачи и приема сигналов. В состав антенно-фидерного тракта обычно входят:

- непосредственно антенна;
- питающие фидеры трактов передачи и приема;
- поляризатор, преобразующий поле круговой поляризации в линейную при приеме и линейной в круговую при передаче;
- дуплексирующее устройство, обеспечивающее необходимую степень развязки между трактами передачи и приема.

2. **Передающее устройство**, состоящее из возбудителя, усилителя мощности (УМ) и источников питания. Для обеспечения высокой эксплуатационной надежности в состав каждой станции включают, как правило, два комплекта передающих устройств – рабочий и резервный. Для переключения передающих устройств с основного на резервный служит антенный коммутатор, с помощью которого выход рабочего передатчика подключается к антенне, а резервного – к эквиваленту антенны. Поскольку диапазоны рабочих частот ЗС на передачу и на прием разные, для проверки исправности станции при работе «на себя» в составе тракта передачи предусматривается специальный блок сдвига несущей, осуществляющий преобразование частоты передаваемых сигналов в диапазон приема.

3. **Приемный тракт**, в состав которого обычно входят следующие элементы:

- входное устройство, включающее общие для всех приемников малошумящий усилитель и предварительный преобразователь частоты, которые обеспечивают предварительное усиление, селекцию СВЧ-радиосигналов в полосе одного ствола и перенос их спектра в более низкий диапазон;

- устройство частотного разделения, представляющее собой систему полосовых фильтров и позволяющее выделить из широкой полосы ствола любую узкую полосу, в которой находится непосредственно сигнал корреспондента;

- радиоприемник, обеспечивающий прием радиосигналов корреспондента, их усиление, фильтрацию и демодуляцию. Число радиоприемников зависит от количества направлений связи и определяется конкретным типом станции. Причем в каждой ЗС для повышения эксплуатационной надежности помимо рабочих предусматривается несколько резервных комплектов радиоприемников.

Состав и характеристики НЧ-оборудования определяются выбранным методом получения многоканального сигнала и модуляции. При выборе конкретного метода каналообразования и модуляции необходимо учитывать следующие факторы:

- мощность передатчика (в том числе и на ИСЗ), необходимую для получения приемлемого соотношения «сигнал/шум»;
- требования к ширине полосы частот ретранслятора в соответствии с пропускной способностью (числом каналов), а также сравнительную экономичность в использовании радиочастотного спектра;
- метод обеспечения многостанционного доступа;
- гибкость в отношении способа, которым можно обеспечить доступность системы спутниковой связи для многих станций;
- возможность создания помех или восприимчивость к приему помех от других систем при совместном использовании полос частот;
- эксплуатационную надежность;
- осуществимость (реализуемость) с точки зрения современной и перспективной техники.

Управление режимами работы элементов станции обычно осуществляется с пульта управления станции дистанционно. Предусматривается также возможность непосредственного управления с передних панелей соответствующих устройств. Перемещение (нестабильность) ИСЗ относительно ЗС, а также необходимость использования высокоэффективных антенн с узкими (единицы градусов) диаграммами направленности требуют включения в состав ЗС специальной аппаратуры программного наведения (АПН), обеспечивающей наведение антенных устройств на ИСЗ и сопровождение их в процессе работы. Аппаратура наведения антенны обычно включает в себя специализированную ЭВМ для расчета необходимых угла места и азимута антенны и исполнительные устройства, обеспечивающие поворот антенны в нужном направлении.

Дадим краткую характеристику элементов приемопередающего тракта СВЧ-оборудования станций спутниковой связи.

1. Возбудитель. Важнейшими требованиями, предъявляемыми к современным возбудителям, являются:

- формирование заданной сетки рабочих частот с высокой стабильностью;
- формирование сигналов с заданными видами модуляции;
- высокая степень подавления паразитных колебаний;
- малое время перехода с частоты на частоту.

Для выполнения указанных требований возбудители современных станций спутниковой связи обычно строятся по принципу диапазонной кварцевой стабилизации частоты с использованием интерполяционного метода.

Применение других методов стабилизации, таких как компенсационный метод и метод автоматической подстройки частоты (АПЧ), в диапазоне СВЧ затруднено из-за технической сложности реализации. Эти методы используются в основном для стабилизации более низкочастотных опорных колебаний.

Структурная схема возбудителя ЗС приведена на рис. 13.

Колебания всех частот возбудителя формируются из эталонной частоты синтезатором частот (СЧ). В качестве источника эталонной частоты, как правило, используются генераторы, обладающие весьма высокой стабильностью (обычно $10^{-7} \dots 10^{-8}$). Из структурной схемы ясно следует, что значение рабочей частоты возбудителя p определяется набором коэффициентов умножения (m , n и k) частоты эталонного генератора.

$$f_p = n f_{\text{эт}} + k f_{\text{эт}} + m f_{\text{эт}} = (n + m + k) f_{\text{эт}}. \quad (1)$$

Для улучшения фильтрации побочных продуктов преобразования частоты все коэффициенты должны быть не кратными друг другу.

Для формирования опорных колебаний в синтезаторах частот современных возбудителей широко используются цифровые методы синтеза.

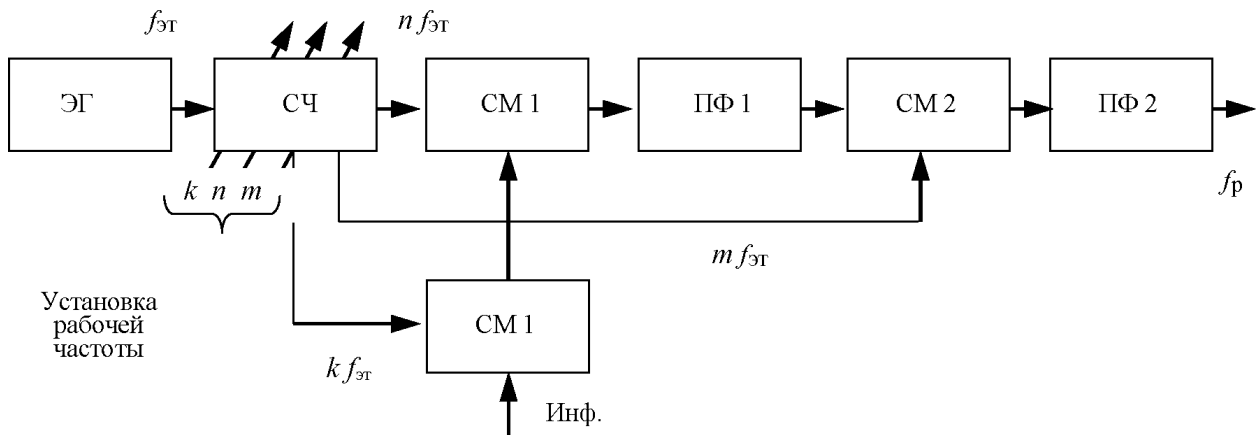


Рис. 13. Структурная схема возбудителя земной станции

2. Усилитель мощности. Основным требованием, предъявляемым к УМ, является обеспечение заданной выходной мощности во всем диапазоне частот при минимальных искажениях радиосигналов. Выходная мощность передатчика ЗС определяется исходя из требуемых показателей спутниковой радиолинии по надежности и помехоустойчивости и может составлять сотни Вт для мобильных и десятки кВт для стационарных земных станций спутниковой связи.

Поскольку уровень сигнала на выходе возбудителя обычно невелик (измеряется единицами мВт) по причине того, что только на малых уровнях удастся более эффективно осуществлять фильтрацию гармоник и других комбинационных колебаний, то для получения необходимой мощности сформированный на низком уровне сигнал необходимо усилить, применяя, как правило, несколько каскадов (рис. 14).

В качестве усилительных элементов могут использоваться ЛБВ и пролетные клистроны. Последние обладают достаточно большой мощностью, высоким коэффициентом усиления (порядка 40 дБ) и КПД (около 30 %), поэтому они чаще всего используются в выходных каскадах передатчиков стационарных станций. Однако применение пролетных клистронов в мобильных ЗС затруднительно из-за их относительно высоких массогабаритных характеристик, узкополосности и сложности перестройки в широком диапазоне частот. Поэтому в мобильных станциях наибольшее распространение получили усилители на ЛБВ. К достоинствам усилителей на ЛБВ можно отнести высокий коэффициент усиления и большую широкополосность, что позволяет делать усилительные каскады непереключаемыми во всем диапазоне частот.

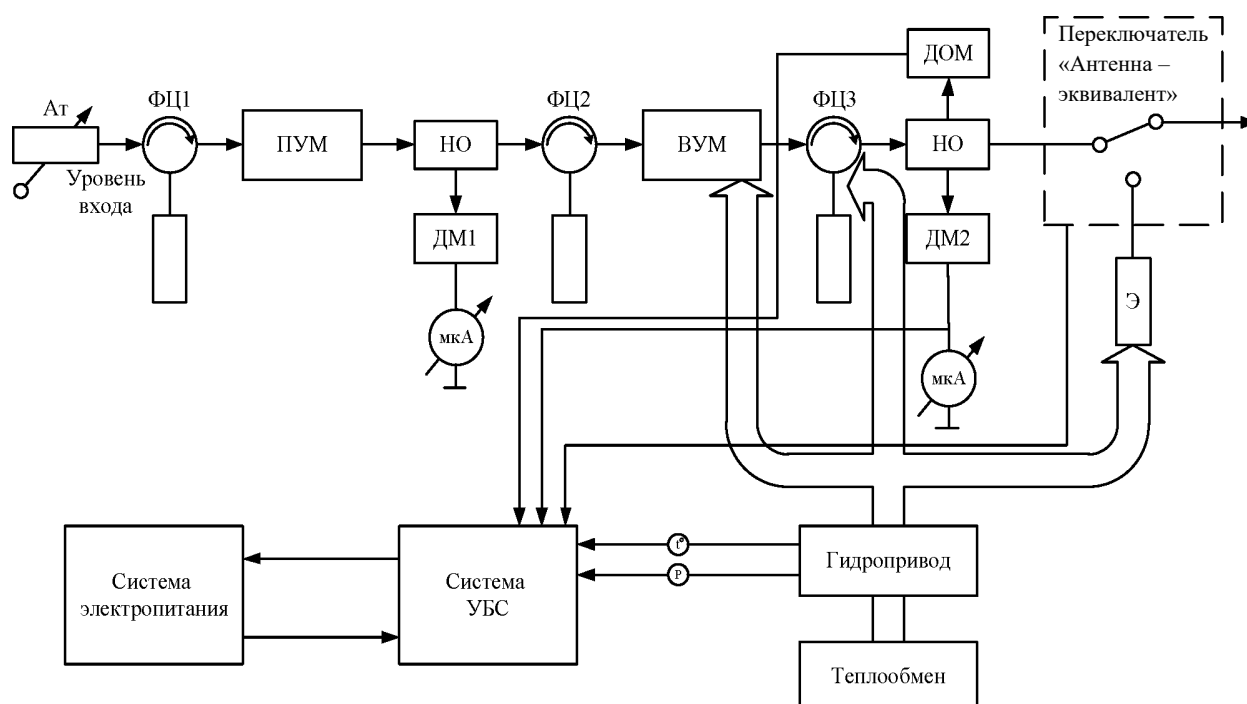


Рис. 14. Структурная схема усилителя мощности земной станции

Вместе с тем усилитель на ЛБВ требует очень точного согласования по входу и выходу. Согласование осуществляется с помощью ферритовых циркуляторов (ФЦ) или вентилях (см. рис. 14). Кроме согласующих устройств на входе УМ устанавливается аттенюатор (АТ), с помощью которого регулируется мощность передатчика. Для поддержания высокой надежности работы передатчика и оперативного переключения на резерв обычно предусматривается непрерывный контроль основных качественных показателей каскадов. Контролируемые параметры заводятся на систему управления, блокировки и сигнализации (УБС). Система УБС обеспечивает требуемый порядок включения и отключения УМ и его составных частей, защиту электровакуумных приборов от перегрузок и своевременное их отключение при неисправностях, а также защиту обслуживающего персонала от поражения электрическим током. Охлаждение предварительных каскадов усилителя мощности чаще всего

осуществляется путем обдува их вентиляторами. Для охлаждения мощных выходных каскадов и эквивалента антенны используется система жидкостного охлаждения.

3. Радиоприемное устройство. СВЧ-диапазон приемных частот станций спутниковой связи (единицы и даже десятки ГГц), относительно узкий спектр и низкий уровень полезных сигналов в радиолиниях, а также необходимость приема сигналов на меняющихся (сменных) частотах приводят к тому, что требования по частотной избирательности и усилению не удастся реализовать непосредственно в диапазоне рабочих частот станции. Поэтому радиоприемные устройства ЗС обычно выполняются для приема сигналов в более низком (сотни МГц) диапазоне частот. Линейный перенос спектра сигналов в более низкий диапазон осуществляется во входном устройстве, общем для всех приемников станции. Там же производится предварительное усиление и фильтрация СВЧ-радиосигналов.

Для получения высокой избирательности и большого усиления радиоприемники должны быть построены по супергетеродинной схеме с двумя и более преобразователями частоты. Структурная схема радиоприемного устройства приведена на рис. 15.

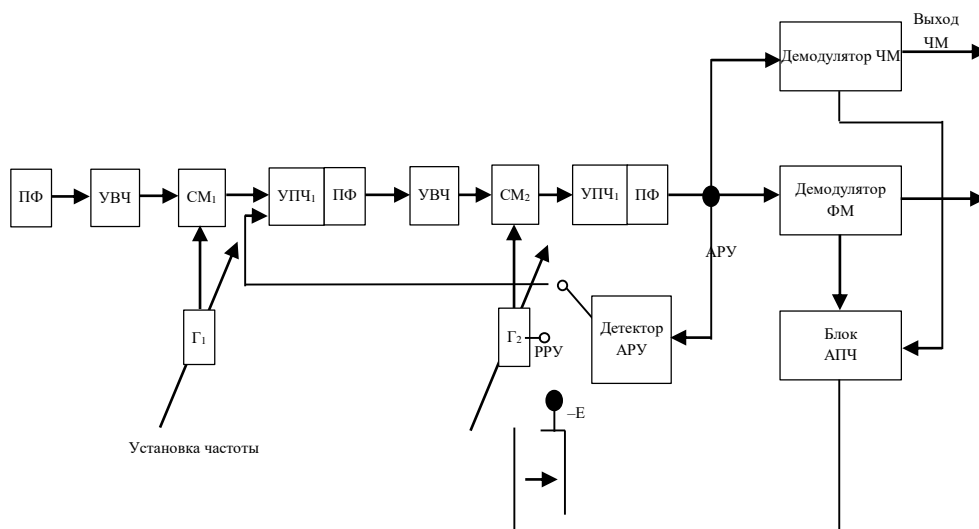


Рис. 15. Структурная схема радиоприемного устройства земной станции

Чтобы улучшить избирательность, на входе приемника обычно устанавливают непереключаемый полосовой фильтр (ПФ), обеспечивающий эффективное подавление помех за пределами рабочего диапазона (не менее 80 дБ). Номинал первой промежуточной частоты выбирается, как правило, большим, чем ширина диапазона приемника.

Для обеспечения возможностей приема сигналов с различной шириной спектра предусматривается регулировка полосы пропускания трактов промежуточной частоты. Такая регулировка обычно осуществляется путем подачи питающих напряжений на соответствующие усилители или их снятия. Чтобы получить высокую линейность усиления при колебаниях входных уровней принимаемых сигналов, в тракты промежуточной частоты вводят

автоматическую регулировку усиления (АРУ). При проверке и испытаниях приемника предусматривается возможность ручной регулировки усиления (РРУ). Для автоматического поиска корреспондента при вхождении в связь, а также компенсации нестабильности частоты радиолиний (в основном ретранслятора связи) в составе приемника предусматривается специальный блок АПЧ. Полоса захвата системы поиска и АПЧ определяется максимально возможным суммарным уходом частоты ЗС и ретранслятора связи на ИСЗ с учетом эффекта Доплера, который при движении спутника по высокоэллиптической орбите может составлять порядка $\pm 250 \dots 300$ кГц. Поиск сигнала корреспондента в полосе ± 300 кГц и АПЧ обеспечивается путем изменения частоты второго гетеродина приемника.

В качестве элементной базы в современных приемных устройствах ЗС используются интегральные микросхемы и транзисторы. Широкое применение находят также УВЧ на туннельных диодах. Смесители обычно выполняются на диодах по кольцевой или балансной схеме, обеспечивающей наилучшее подавление высших компонентов преобразования. Чтобы реализовать высокую стабильность настройки приемника, применяется диапазонно-кварцевая стабилизация частот гетеродинов по методу цифрового синтеза.

4. Антенное устройство. В настоящее время в спутниковой связи наиболее широкое применение нашли ретрансляторы связи, размещаемые на стационарной круговой орбите (с высотой 36 тыс. км) и эллиптической орбите (с апогеем около 40 тыс. км). При этом наклонные дальности связи между ЗС и ретранслятором могут составлять 40...50 тыс. км. Значительная протяженность радиолиний космической и спутниковой связи обуславливает очень большое ослабление сигнала при его распространении в свободном пространстве. В то же время уровень мощности передатчиков ЗС и особенно ретранслятора связи на ИСЗ резко ограничен. В этих условиях достаточное соотношение сигнал/шум на входе их приемников может быть обеспечено только применением антенн с весьма высоким усилением и низким коэффициентом шума. Важной особенностью антенн ЗС является необходимость непрерывного наведения луча на движущийся по орбите ИСЗ при ширине диаграммы направленности, составляющей доли и единицы градусов. Поэтому к опорно-поворотному устройству (ОПУ) и его механизмам, а также к системе управления антенной предъявляются жесткие требования. При этом массогабаритные характеристики и конструкция антенной системы, используемой в мобильных станциях, должны обеспечивать необходимую скорость развертывания, свертывания и перемещения станций. Таким образом, основными требованиями, предъявляемыми к антеннам ЗС спутниковой связи, являются:

- большое усиление в направлении на спутник-ретранслятор;
- малое усиление в направлении помех;
- высокий коэффициент полезного действия;
- низкая шумовая температура;
- малые габариты и простота конструкции;

- обеспечение возможностей наведения луча в любую точку небесной полусферы и автоматического его сопровождения;
- возможность работы без укрытий в любых климатических условиях с сохранением характеристик антенной системы.

Из всего многообразия различных типов антенн станций спутниковой связи в настоящее время наибольшее распространение получили остронаправленные параболические антенны и фазированные антенные решетки.

Чрезмерное увеличение размеров антенны существенно усложняет ее конструкцию и снижает мобильность. Расчеты показывают, что вес конструкции, ее сложность и время развертывания (свертывания) растут приблизительно пропорционально кубу от диаметра раскрытия антенны. Поэтому практические размеры антенн современных мобильных ЗС ограничиваются величиной диаметра 2,5...3 м.

Другим путем, которым можно улучшить электрические характеристики антенны, является увеличение коэффициента использования ее поверхности. Этого можно достичь повышением точности изготовления зеркала отражателя, а также увеличением равномерности облучающего поля у поверхности отражателя.

1.4. Ретранслятор связи. Спутниковый модем

Ретрансляторы связи (РС) предназначены для ретрансляции сигналов земных станций спутниковой связи. Устанавливаются на космических аппаратах, выводимых на геостационарную и высокоэллиптические орбиты.

В системе спутниковой связи используются ретрансляторы с прямой ретрансляцией (ПР) и обработкой сигналов на борту (ОСБ).

В первом случае ретранслятор обеспечивает прием сигналов от ЗС, их селекцию, преобразование по частоте, усиление и передачу. Сигналы на входе и выходе ретранслятора отличаются частотным сдвигом. Достоинством ретрансляторов этого типа является простота и возможность использования для работы земных станций любого типа, рабочий диапазон частот которых совпадает с диапазоном частот ретранслятора. Недостатки данных ретрансляторов обусловлены необходимостью одновременного преобразования по частоте и усилению большого числа сигналов (по числу работающих в стволе станций). При прямой ретрансляции мощность выходного усилителя мощности распределяется между всеми сигналами, поступившими на его вход, в том числе мешающими (такими, как собственный шум приемника, преднамеренные и непреднамеренные помехи), поэтому часть мощности теряется. Кроме того, при усилении одновременно нескольких сигналов возникают так называемые комбинационные помехи, на которые также расходуется часть мощности. К тому же эти помехи могут попадать на частоты полезных сигналов, ухудшая качество их приема. Наконец, при прямой ретрансляции происходит накопление шумов: приемник земной станции вместе с полезным сигналом принимает и шум, принятый и/или образованный приемником ретранслятора, который,

складываясь с собственным шумом приемника земной станции, ухудшает качество работы радиолинии. Для нормальной работы линии спутниковой связи с использованием прямой ретрансляции приходится уменьшать количество одновременно работающих в одном стволе станций. Стволы с обработкой сигналов, как правило, имеют режим прямой ретрансляции в качестве аварийного или резервного.

При использовании прямой ретрансляции для работы с несколькими корреспондентами каждая земная станция должна иметь количество приемников по числу корреспондентов и каждый из приемников должен быть настроен на свою частоту. Это приводит к усложнению земных станций и создает определенные трудности при необходимости увеличения количества направлений и каналов связи, образуемых ими. При этом в значительной степени устраняются недостатки, присущие прямой ретрансляции.

Ретрансляторы с ОСБ отличаются тем, что принятые от ЗС сигналы демодулируются и, как правило, объединяются в групповой сигнал ствола. Ретрансляторы этого типа значительно сложнее ретрансляторов с ПР и могут работать только с определенным парком земных станций. Их применение позволяет существенно увеличить пропускную способность за счет более продуктивного использования выходного усилителя мощности ствола.

Как правило, в одном ретрансляторе устанавливаются по несколько комплектов приемопередающего оборудования. Каждый такой комплект аппаратуры образует ствол ретранслятора, причем в первом случае ствол обеспечивает прямую ретрансляцию сигналов и называется стволом с прямой ретрансляцией, а во втором случае ствол обеспечивает полную обработку (демодуляцию) сигналов и называется стволом с обработкой сигналов. Обычно рассматривают отдельно приемные и передающие тракты стволов, называя их соответственно приемными и передающими стволами.

Каждый ствол имеет свое оперативно-техническое предназначение, связанное с необходимостью ретрансляции сигналов определенной группы земных станций. Например, для работы центральной станции с несколькими оконечными может быть выделено два ствола с прямой ретрансляцией: один – для работы центральной станции, второй – для группы оконечных станций.

Каждый ствол ретранслятора работает в своей полосе частот определенного диапазона. В настоящее время в системе используются диапазоны 4/6, 7/8 и 0,2/0,4 ГГц (первая цифра относится к участку «земная станция – ретранслятор связи», вторая – к участку «ретранслятор связи – земная станция»). Полоса частот, отводимая одному стволу, находится в пределах от сотен кГц до сотен МГц в зависимости от предназначения ствола.

Сигналы, принятые в одном стволе, могут быть переданы в другом. Это позволяет организовать встречную работу станций различного назначения при использовании ими разных стволов. Такая возможность реализуется при наличии межствольных (перекрестных) связей. Межствольные связи проще всего реализуются в стволах с обработкой сигналов на борту, поскольку в этом случае коммутируются низкочастотные сигналы.

Земные станции, работающие через общий ствол, образуют определенную группировку, как правило, географически достаточно компактную. Поэтому каждый ствол обычно работает на свои антенны – приемную и передающую (иногда используются приемопередающие антенны) с высокой направленностью, что позволяет им «освещать» (обслуживать) определенные участки на земной поверхности, называемые зонами обслуживания.

Каждому стволу соответствует определенная зона обслуживания. При необходимости изменения зон обслуживания в некоторых случаях антенны могут переориентироваться по командам с Земли. Использование остронаправленных антенн, формирующих заданные зоны обслуживания, позволяет уменьшить взаимные помехи между средствами связи и вероятность радиоподавления со стороны противника.

Если антенна «освещает» всю видимую с космического аппарата поверхность Земли, то формируется зона обслуживания, называемая глобальной. В данном случае говорят, что антенна обеспечивает глобальное обслуживание. Глобальное обслуживание очень удобно для построения системы оповещения.

Если антенна «освещает» только часть поверхности Земли, то обслуживание является зональным. Зональное обслуживание позволяет защитить радиолинию от преднамеренных помех и улучшить ее работу за счет концентрации излучаемой мощности полезного сигнала в направлении корреспондента. Зональное обслуживание удобно для работы одной центральной земной станции или группы близко расположенных станций (находящихся в одной зоне).

Для работы земных станций «Кристалл» используются ретрансляторы «Дельта» (КА «Грань» на геостационарной орбите) и «Сегмент» (КА «Молния-3» на высокоэллиптической орбите), а для работы земных станций комплексов «Ливень» и «Легенда» – ретранслятор «Цитадель» (КА «Глобус-1» на геостационарной орбите).

Ретранслятор «Дельта» состоит из шести стволов. Все стволы работают в диапазоне 4/6 ГГц. Каждому стволу соответствует своя полоса в пределах указанного диапазона. На прием используются стволы 2, 3, 4, 6, 8, 10, на передачу – 2, 4, 5, 6, 8, 10. Номер ствола соответствует номеру 50-мегагерцевой полосы частот, начиная с 5725 (по приему) и 3400 (по передаче) МГц. Все стволы, за исключением второго, обеспечивают прямую ретрансляцию сигналов земных станций с фиксированным частотным сдвигом 2325 МГц. Во втором стволе возможна как прямая ретрансляция сигналов, так и их обработка (демодуляция) с последующим временным объединением групповых сигналов земных станций.

Приемные стволы, за исключением второго, состоят из преобразователей частоты (ПРЧ) и усилителей промежуточной частоты (УПЧ). Особенностью второго ствола является наличие в его составе, кроме перечисленных элементов, блока многостанционного доступа (МД) «Рубин-Б».

Преобразователи частоты, в свою очередь, состоят из ствольных фильтров, смесителей и гетеродинов. Совокупность данных устройств обеспечивает выделение сигналов земных станций, работающих в соответствующем стволе.

Усилители промежуточной частоты имеют в своем составе фильтры сосредоточенной селекции и осуществляют основную фильтрацию сигналов земных станций, а также их предварительное усиление на промежуточной частоте.

Блок многостанционного доступа обеспечивает выделение сигналов земных станций из шумов и их демодуляцию, а также временное объединение в единый групповой сигнал с последующей модуляцией данным групповым сигналом несущего колебания на промежуточной частоте.

Усилители мощности обеспечивают усиление сигналов до необходимого уровня. Они выполнены на лампах бегущей волны. Их особенностью является возможность работы в многосигнальном режиме. Выходная мощность усилителя перераспределяется между всеми сигналами, поступившими на его вход, пропорционально их мощности. Поэтому при изменении мощности излучения даже одной земной станции изменение претерпевают все сигналы на выходе усилителя, что требует жесткого соблюдения установленного для станции режима работы. Именно в усилителе мощности появляются комбинационные составляющие, обусловленные одновременным усилением нескольких сигналов, которые приводят к непродуктивному расходу мощности усилителя и появлению непреднамеренных помех. Для снижения негативного влияния этих факторов частоты земным станциям назначаются по определенным правилам, работа же на произвольных частотах ухудшает работу всех линий, организованных в общем стволе.

Все стволы, за исключением второго, работают по одинаковому принципу: улавливаемые приемной антенной ствола сигналы земных станций поступают на входной преобразователь частоты, который понижает частоту всех сигналов на одинаковую величину. Далее все сигналы усиливаются в УПЧ, там же отфильтровываются от шумов и поступают на преобразователь частоты передачи. После преобразования частоты в преобразователе до рабочего значения сигналы еще раз отфильтровываются, дополнительно усиливаются и подаются на вход усилителя мощности, который обеспечивает усиление сигналов до величины, достаточной для нормальной работы участка «ретранслятор связи – земная станция». Усилитель мощности подключается к передающей антенне, обеспечивающей направленное излучение электромагнитных волн в сторону Земли.

Приемные стволы 3, 4 и передающие стволы 4, 5 предназначены для организации радиальных направлений от центральной к оконечным станциям. В роли центральной станции может выступать приемопередающий центр.

Приемный ствол 4 подключен к антенне глобального обслуживания А1 с диаграммой направленности 22×22 градуса. Тракт его промежуточной частоты представлен двумя усилителями промежуточной частоты УПЧ-41 и УПЧ-42 (первая цифра – номер ствола, вторая – номер полосы частот в данном стволе). Каждый УПЧ настроен на выделение своей полосы частот, при этом УПЧ-41 имеет полосу пропускания 40 МГц, а УПЧ-42 – 10 МГц. Выход УПЧ-41 подключен к 4-му передающему стволу, который работает на узконаправленную

антенну зонального обслуживания А4 диаграммой направленности 5×5 градусов. Использование антенны глобального обслуживания и антенны зонального обслуживания в 4-м приемном стволе обеспечивает передачу через широкополосный УПЧ-41 большого числа сигналов оконечных станций, расположенных на значительном удалении друг от друга, на приемопередающий центр, расположенный в определенной зоне. Ответный же сигнал от приемопередающего центра в сторону оконечных станций передается через 3-й приемный ствол, подключенный к узконаправленной антенне А3 с диаграммой направленности 4×4 градуса и обслуживающий зону размещения центра. В составе 3-го приемного ствола имеется два УПЧ с одинаковыми полосами пропускания по 10 МГц: УПЧ-31 и УПЧ-32. Для передачи сигнала приемопередающего центра используется УПЧ-32, подключаемый к 5-му передающему стволу, работающему на антенну глобального обслуживания с диаграммой направленности 22×22 градуса, обеспечивающей охват всей зоны размещения оконечных станций. Заметим, что из-за использования в 4-м передающем стволу узконаправленной зональной антенны на оконечных станциях, работающих в 4-м стволу и находящихся на значительном удалении от приемопередающего центра, «свой» сигнал по приему не наблюдается, что затрудняет проверку станции по «большому шлейфу».

В случае необходимости передачи сигналов от центральной станции, размещенной вне зоны обслуживания узконаправленной антенны А1, на сеть оконечных станций, может использоваться УПЧ-42 в составе 4-го приемного ствола, подключаемый в этом случае по командам с Земли к 5-му передающему стволу (используется переключатель П1). В этом случае обеспечивается однонаправленная передача информации от центральной к оконечным станциям.

УПЧ-31 из состава 3-го приемного ствола может использоваться для передачи спецсигналов от приемопередающего центра на станции, работающие во 2-м стволу. Для этого по командам с Земли УПЧ-31 подключается ко 2-му передающему стволу (используется переключатель П2).

Ствол 2 предназначен для организации узловых сетей. Он может работать в режиме прямой ретрансляции и обработки сигналов на борту. В последнем случае обеспечивается прием сигналов от 6 узловых станций со скоростью 48 кбит/с и 22 оконечных станций со скоростью 4,8 или 5,2 кбит/с, вид модуляции – ЧТ. На передачу формируется групповой сигнал ствола со скоростью 480 кбит/с, вид модуляции – ОФТ.

Приемный тракт ствола имеет в своем составе два УПЧ (УПЧ-21 с полосой пропускания 20 МГц и УПЧ-22 с полосой пропускания 40 МГц) и блок многостанционного доступа (МД) «Рубин-С». Для работы выбирается один из перечисленных трактов, для чего по командам с Земли переключатели П3 и П4 устанавливаются в одно из трех показанных на рисунке положений, причем осуществляется одновременное изменение положения переключателей П2, П3, П4. УПЧ-21 и УПЧ-22 могут использоваться в режиме прямой ретрансляции 2-го ствола как для работы узловых, так и оконечных станций.

Основным же для 2-го ствола является режим с обработкой сигналов на борту, реализуемый при использовании блока МД. Данный блок обеспечивает выделение сигналов узловых и оконечных станций, их демодуляцию, временное объединение в общий групповой сигнал и модуляцию несущей на промежуточной частоте. Для этого в составе блока имеется 6 трактов обработки (линеек) сигналов ЧТ со скоростью 48 кбит/с и 22 линейки со скоростью 4,8 или 5,2 кбит/с. Работа земных станций ведется на фиксированных волнах передачи, определяемых таблицей РН-БАС из комплекта документации станции. Эта же таблица содержит информацию о соответствии волн передачи и номеров цифровых потоков земных станций в общем групповом сигнале ствола. Сигнал ствола излучается на фиксированной частоте (волна приема 1700), поэтому на всех земных станциях необходимо установить одинаковую волну 1700.

Временное объединение в блоке МД осуществляется таким образом, что для выделения из группового сигнала цифровых потоков от оконечных станций необходимо вместе с аппаратурой временного разделения комплекса «Дискрет» использовать аппаратуру «Рубин-Н». При выделении цифровых потоков от узловых станций используется только аппаратура «Дискрет».

Ствол 2 по приему подключен к антенне А5, а по передаче – к антенне А6. Обе имеют диаграмму направленности 9×18 градусов и обслуживают Северное полушарие. Эти же антенны используются и для работы стволов 6, 8 и 10.

Стволы 6, 8 и 10 предназначены для организации как узловых сетей, так и радиальных направлений. Они обеспечивают прямую ретрансляцию сигналов.

Стволы имеют в своем составе по одному УПЧ с полосой пропускания по 40 МГц. Антенны общие со 2-м стволом.

Ретранслятор «Сегмент» предназначен для работы станций комплекса «Кристалл». Он имеет в своем составе стволы 6, 8 и 10. Структура стволов аналогична рассмотренной, а отличительной особенностью является использование на передачу и прием антенн глобального обслуживания с диаграммой направленности 18×18 градусов и более мощных усилителей мощности.

Ретранслятор «Цитадель» предназначен для работы земных станций комплексов «Ливень» и «Легенда». В отдельных случаях может быть использован для работы земных станций комплекса «Кристалл» (при работе стволов диапазона 4/6 Гц в режиме прямой ретрансляции). Ретранслятор состоит из семи стволов: 1, 2, 3, 4, 4а, 5 и 6. Ствол 5 работает в диапазоне 7/8 Гц, ствол 6 – в диапазоне 0,2/0,4 Гц, остальные – в диапазоне 4/6 Гц. Стволы 2, 3 и 4а обеспечивают прямую ретрансляцию сигналов, остальные – обработку сигналов на борту (в качестве аварийного для них предусмотрен режим прямой ретрансляции, включаемый при необходимости по командам с Земли).

В состав приемных стволов входят малошумящие входные устройства (МВУ), приемные устройства, а также аппаратура свертки частоты. Передающие стволы состоят из преобразователей частоты (ПРЧ) и усилителей мощности. Как приемопередающее оборудование используется аппаратура обработки спецсигналов (АОСС) и аппаратура обработки информационных сигналов (АОИС).

МВУ приемных стволов содержат ствольные фильтры, малошумящие усилители и преобразователи частоты и обеспечивают выделение сигналов земных станций, работающих в диапазоне ствола, из шумов, их усиление с малыми искажениями и понижение по частоте. Для преобразования сигналов по частоте используется напряжение гетеродина, подаваемое на преобразователь частоты. Необходимо отметить, что в ретрансляторе для всех стволов используется общий гетеродин, формирующий различные частоты.

Приемные устройства стволов состоят из усилителей промежуточной частоты, преобразователей частоты и фильтров. Они обеспечивают основную фильтрацию сигналов и их усиление, необходимое для нормальной работы последующих трактов обработки.

Аппаратура свертки частоты состоит из преобразователя частоты, перестраиваемого гетеродина, усилителя промежуточной частоты и фильтров. Перестраиваемый гетеродин формирует сигнал с изменяющейся по командам программного устройства частотой и выдает его на гетеродинный вход преобразователя частоты. На сигнальный вход преобразователя поступают сигналы земных станций, частоты которых изменяются синхронно по такому же принципу (земные станции перестраивают свои частоты в соответствии с командами, передаваемыми программным устройством в составе группового сигнала ретранслятора). С помощью фильтров обеспечивается частотная селекция сигналов. Усилители промежуточной частоты усиливают сигналы до уровня, необходимого для нормальной работы демодуляторов АОИС.

Преобразователи частоты передающих стволов осуществляют перенос сигналов на рабочие частоты стволов.

Необходимое усиление мощности сигналов осуществляется в усилителях мощности. Усилители мощности всех стволов, кроме 6-го, выполнены на лампах бегущей волны и имеют те же особенности, что и усилители ретранслятора «Дельта».

Аппаратура обработки спецсигналов осуществляет преобразование фазоманипулированного широкополосного сигнала (ФМ-ШПС), который используется для передачи спецсигналов, или одного из поступивших на ее вход спецсигналов из других стволов в узкополосный сигнал. При этом выбранный спецсигнал передается аппаратуре обработки информационных сигналов для объединения его в общий групповой сигнал стволов, а также для формирования ФМ-ШПС.

Аппаратура обработки информационных сигналов обеспечивает демодуляцию радиосигналов земных станций, декодирование и временное разделение их групповых сигналов, выделение из них отдельных каналов, которые предназначаются для передачи в другие стволы, временное объединение соответствующих групповых сигналов, выделение из них отдельных каналов, которые предназначаются для передачи в другие стволы, временное объединение соответствующих групповых сигналов земных станций и информационных сигналов из других стволов, специальных команд для синхронизации работы земных станций и спецсигналов, поступающих от АОСС,

кодирование радиосигнала ствола, преобразование его в ФМ-ШПС. Кроме того, аппаратура обеспечивает синхронизацию работы земных станций путем определения и перенаправления на станции временного рассогласования их передач.

Ствол 1 предназначен для организации узловых сетей и радиальных направлений связи. Он обеспечивает прием и обработку сигналов земных станций с ЧТ и формирование группового сигнала с информационной скоростью 600 кбит/с, который кодируется и преобразуется в сигнал с ФТ, а затем – в ФМ-ШПС. В стволе одновременно могут работать 6 узловых станций со скоростью 60 кбит/с, 20 оконечных станций со скоростью 6 кбит/с и 2 оконечные станции со скоростью 12 кбит/с. Имеются перекрестные связи со стволами 4, 5 и 6.

Принцип обработки сигналов земных станций заключается в следующем: сигналы от земных станций с приемной антенной А1 с диаграммой направленности 6×12 градусов, обслуживающей большую часть Северного полушария, поступают на МВУ, являющиеся общими для стволов 1 и 2. К МВУ подключены приемные устройства стволов 1 и 2. Приемные устройства 1-го ствола и соответствующие устройства АОИС обеспечивают обработку и выделение групповых сигналов от узловых и оконечных станций. Для этой цели в составе АОИС имеются соответствующие тракты обработки – линейки. В АОИС формируется групповой сигнал первого ствола, объединяющий принятые групповые сигналы земных станций из стволов 1, 4, 5 и 6, а также командой для синхронизации земных станций и спецсигналы. Групповой сигнал кодируется сверхточным кодом. В АОИС формируется радиосигнал ствола с ФТ. Далее осуществляется преобразование сигнала в ФМ-ШПС. Информационный ФМ-ШПС объединяется с ФМ-ШПС спецсигнала и подается на вход преобразователя частоты, где сигнал переносится на рабочую частоту. В усилителе мощности сигнал усиливается до необходимого уровня и поступает на вход подающей А2, которая так же, как и приемная антенна, имеет диаграмму направленности 6×12 градусов и обслуживает большую часть Северного полушария.

Стволы 2 и 3 с прямой ретрансляцией сигналов предназначены в основном для организации радиальных направлений связи (т. е. для работы оконечных станций с центральной станцией, в роли которой может выступать приемопередающий центр) и могут использоваться для организации узловых сетей.

Принцип работы этих стволов аналогичен принципу работы стволов с прямой ретрансляцией ретрансляторов «Дельта» и «Сегмент». Отличие заключается в использовании в составе МВУ малошумящих усилителей, что улучшает характеристики стволов. Для ствола 2 используются антенны А1 и А2, общие с 1-м стволом. В 3-м стволе используется приемная антенна А4 и передающая антенна А5 с диаграммой направленности 15×15 градусов. Обе антенны обеспечивают глобальное обслуживание.

В состав ствола 3 входит приемное устройство спецсигнала, которое, как отмечено выше, производит преобразование ФМ-ШПС, с помощью которого передается спецсигнал, в узкополосный сигнал и выделяет из него, собственно, спецсигнал. На вход АОСС также поступают спецсигналы, выделяемые из

стволов 4 и 5. АОСС по определенному принципу выбирает один из трех трактов приема спецсигнала. Выбранный спецсигнал передается в АОИС, где он вводится в состав групповых сигналов, формируемых для стволов 1, 4, 5. Кроме того, в АОИС осуществляется преобразование узкополосного спецсигнала в ФМ-ШПС, который объединяется с ФМ-ШПС стволов 1, 4 и 5.

Ствол 4 предназначен для организации спутниковой связи в оперативно-тактической сети. Является стволом с обработкой сигналов земных станций, обеспечивает прием сигналов земных станций с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ), вид модуляции – ОФТ. В стволе формируется групповой сигнал с информационной скоростью 300 кбит/с, который кодируется сверточным кодом, преобразуется в сигнал с ФТ, а затем – в ФМ-ШПС. Основным вариантом использования ствола является работа станций в режиме радиоАТС. В стволе одновременно могут работать 20 станций со скоростью 6 кбит/с и большое число станций со скоростью 1,5 кбит/с, включающихся на передачу только на время переговоров. Имеются перекрестные связи со стволами 1, 5 и 6.

Для обработки сигналов в стволе 4 используется аппаратура свертки частоты и аппаратура обработки информационных сигналов. Аппаратура ствола рассчитана на одновременную обработку 20 информационных сигналов со скоростью 6 кбит/с и 50 со скоростью 1,5 кбит/с. Аппаратура ствола обеспечивает также прием и обработку спецсигналов ретранслируемых в АОСС и ствол 6. Для этой цели в составе АОИС предусмотрено соответствующее число линеек. Основным режимом работы станций в стволе является режим АТС, при этом линейки со скоростью 6 кбит/с закрепляются за станциями на постоянной основе (таким образом реализуется радиоАТС на закрепленных линейках), а линейки 1,5 кбит/с занимаются земными станциями только на время ведения переговоров (таким образом реализуется радиоАТС на незакрепленных линейках).

Принцип работы ствола заключается в следующем. Сигналы земных станций с ППРЧ, улавливаемые антенной АЗ, после усиления и преобразования по частоте в МВУ поступают в АСЧ. В АСЧ в последовательности, описанной выше, происходит свертка частоты, т. е. сигналы земных станций с изменяющейся по определенному закону частотой преобразуются в сигналы с фиксированной частотой. Далее эти сигналы фильтруются, демодулируются и объединяются в групповой сигнал ствола. В групповой сигнал ствола также объединяются информационные сигналы и спецсигналы из других стволов, а также команды для синхронизации работы земных станций. Затем сигнал кодируется сверточным кодом, преобразуется в радиосигнал с ФТ, а после – в ФМ-ШПС. Информационный ФМ-ШПС объединяется с ФМ-ШПС, с помощью которого передается спецсигнал. Объединенный сигнал после переноса на рабочую частоту в ПРЧ усиливается в УМ и излучается антенной АЗ. Приемопередающая антенна АЗ является узконаправленной, ширина диаграммы направленности составляет 5×5 градусов. При необходимости антенна может быть переориентирована по командам с Земли в требуемую зону.

Ствол 4а предназначен для работы носимых станций специального назначения. Ствол обеспечивает прямую ретрансляцию сигналов земных станций, его полоса пропускания составляет 500 кГц.

Часть аппаратуры стволов 4 и 4а общая (антенны МВУ, ПРЧ и УМ). Для реализации режима прямой ретрансляции ствола 4а используется отдельное приемное устройство, подключаемое к МВУ. Выделяемые и усиливаемые с его помощью сигналы подаются на вход ПРЧ-передачи.

Ствол 5 имеет такое же предназначение, как и ствол 1, и аналогичен ему по пропускной способности. Его отличительной особенностью является использование диапазона 7/8 Гц. Земные станции в стволе работают в режиме с ППРЧ-сигналами с ОФТ. Групповой сигнал ствола имеет информационную скорость 600 кбит/с. Он кодируется сверточным кодом, преобразуется вначале в сигнал с ФТ, а затем – в ФМ-ШПС. Имеются перекрестные связи со стволами 1 и 4.

Принцип обработки сигналов в стволе аналогичен рассмотренному выше для ствола 4. Особенностью является наличие в АОИС для ствола 5 меньшего числа линеек обработки (имеется 6 линеек для обработки сигналов со скоростью 60 кбит/с, 20 линеек по 6 кбит/с и 2 линейки по 12 кбит/с).

Ствол 6 предназначен для работы подвижных станций специального назначения. Ствол обеспечивает одновременный прием и обработку сигналов с ОФТ от 12 станций со скоростью 1,2 кбит/с. Выделяемые информационные потоки через АОИС ретранслируются в стволы 1 и 4. В групповой сигнал ствола объединяются по одной последовательности 1,2 кбит/с из этих, и сигнал со скоростью 75 бод из ствола 4. Скорость группового сигнала равна 3 кбит/с. На передачу формируется ФМ-ШПС.

Особенностью ствола является отсутствие МВУ. Приемное устройство подключается непосредственно к антенне А7 с диаграммой направленности 18×18 градусов, обеспечивающей прием сигналов со всей видимой поверхности Земли. Выделенные и усиленные в приемном устройстве ствола сигналы земных станций далее обрабатываются в 12 линейках АОИС. Демодулированные сигналы затем вводятся в групповые сигналы стволов 1 и 4. В свою очередь, формируемый в АОИС групповой сигнал ствола объединяет информационные сигналы, выделенные из групповых сигналов земных станций, работающих в стволах 1 и 4. Групповой сигнал преобразуется в ФМ-ШПС, переносится в ПРЧ на рабочую частоту, усиливается и излучается антенной А8. Антенна имеет диаграмму направленности 18×18 градусов.

2. СТАНЦИИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ВООРУЖЕННЫХ СИЛАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

2.1. Станция спутниковой связи Р-4400

Назначение, основные характеристики и состав

Станции спутниковой связи Р-4400 предназначены для организации дальней многоканальной радиосвязи и оповещения с использованием ретрансляторов на искусственных спутниках Земли. Для работы станций используются ретрансляторы, устанавливаемые на космических аппаратах, выводимых на геостационарную и эллиптические орбиты.

Станции обеспечивают дуплексную телеграфную, телефонную, факсимильную, телекодovou связь и обмен данными по цифровым (дискретным) каналам.

Станции характеризуются высоким качеством информационного обмена, оцениваемого вероятностью ошибки 10^{-5} при отсутствии помех и 10^{-3} – при наличии помех.

Каналы, образуемые станциями, имеют унифицированные параметры входов/выходов (стыки), что позволяет подключать к ним оконечную аппаратуру различных типов. В станциях предусмотрен помехозащищенный режим работы, обеспечивающий возможность ведения связи при наличии помех.

Станция спутниковой связи Р-4400

Станция спутниковой связи Р-4400 является одномашинной земной станцией спутниковой связи комплекса «Кристалл», работающей через ретрансляторы, устанавливаемые на космических аппаратах типа «Грань» и «Молния-3», выводимых на геостационарную и высокоэллиптическую орбиты соответственно.

Обеспечивается встречная работа со станциями комплекса «Кристалл». Используемый диапазон частот – 4/6 Гц.

Станция обеспечивает прием спецсигналов на отдельной несущей и в общем групповом сигнале.

Состав аппаратуры станции позволяет организовать до двух направлений спутниковой связи с максимальной скоростью группового сигнала на передачу 4,8 или 5,2 кбит/с. При этом образуются среднескоростные цифровые каналы со скоростью передачи 1,2; 2,4; 4,8 кбит/с, а также низкоскоростные телеграфные каналы со скоростью передачи до 100 бод, распределяемые между двумя направлениями связи по потребностям. Количество формируемых каналов различного типа определяется возможностями используемой в станции аппаратуры временного объединения/разделения «Дискрет». Так, при скорости передачи 4,8 кбит/с могут быть организованы три канала по 1,2 кбит/с и два канала по 100 бит/с, распределяемых между двумя направлениями связи.

Возможны и другие варианты каналообразования. При скорости группового сигнала 5,2 кбит/с возможна работа в одном направлении связи по каналу со скоростью 4,8 кбит/с. Более подробно возможности станции по каналообразованию рассматриваются далее.

Помимо перечисленных информационных каналов связи в каждом направлении связи организуются низкоскоростные телеграфные каналы формализованной служебной связи.

При необходимости станция может использоваться в помехозащищенном режиме с использованием специальной аппаратуры. При этом возможна организация одного одноканального направления связи со скоростью передачи 100 или 1200 бод, служебный канал при этом сохраняется.

Основные технические и эксплуатационные характеристики станции Р-4400 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные технические и эксплуатационные характеристики станции Р-4400

Наименование характеристик	Значение
Диапазон частот, гГц:	
- передачи	6
- приема	4
Излучаемая мощность, Вт	190
Температура шума приемного устройства, К	520
Коэффициент усиления антенны, дБ:	
- передающей	35
- приемной	31,6
Диаметр антенны, м	1,5
Скорость передачи, кбит/с:	
- при ЧТ с разнесом 200 кГц	0,1; 1,2; 2,4; 4,8; 5,2
- при ОФТ	1,2; 2,4; 4,8; 5,2
Скорость приема кбит/с:	
- при ЧТ с разнесом 200 кГц	0,1; 1,2; 2,4; 4,8; 5,2; 48; 96
- при ОФТ	0,1; 1,2; 2,4; 4,8; 5,2; 48; 96; 144; 240; 480
Потребляемая мощность, кВА	8
Источники электропитания:	
- автономные	АБ-8-Т/230
- внешние	сеть 220 В, 380 В
Экипаж, чел.	4
Время развертывания с вхождением в связь по служебному каналу, мин	40

Станция Р-4400 смонтирована на одном автомобиле УРАЛ-375. Кузов разделен на два отсека. В переднем отсеке при транспортировке размещается антенное устройство АК-12 и два автономных источника электропитания

АБ-8-Т/230. Антенное устройство для работы на станке поднимается и укрепляется на крыше аппаратной. На антенном устройстве размещен контейнер с входным устройством А502Б. Источники электропитания при попеременной работе обеспечивают круглосуточное электропитание станций. При длительной работе станций электроагрегаты выносятся из отсека. Снаружи аппаратной размещены отопитель ОВ-65 и фильтровентиляционная установка ФВУА. Остальное оборудование станции находится в отсеке оператора, его состав представлен в табл. 3.

Таблица 3

Состав оборудования станции Р-440О

Наименование аппаратуры	Завод. шифр	Количество
1	2	3
Передающее устройство:		
- предварительный усилитель мощности	УМ-1	2
- блок сложения мощностей	Н16	1
- выходной усилитель мощности	Н13	2
Возбудитель	А205М	2
Блок питания возбудителя	1НКН-0403	2
Блок регулировки температуры А302Б	БРТ	1
Блок первого гетеродина	А304	1
Блок частотного разделения сигналов	А306	1
Приемное устройство	Ц300М	4
Блок питания приемного устройства	Ц300МП	3
Блок сдвига несущей частоты	А503Б	1
Аппаратура помехозащищенной радиосвязи	К1М	2
Аппаратура временного объединения и разделения сигналов «Дискрет»:		
- аппаратура временного объединения	А1	1
- аппаратура временного разделения	Б3	2
- аппаратура временного разделения	Б2	2
- аппаратура временного разделения	Б1	2
- аппаратура временного объединения и разделения	ДАБ5	1
- блок питания	–	3
Аппаратура временного разделения	П-220/ 27Г	1
Аппаратура сопряжения «Браслет-М»:		
- аппаратура преобразования дискретных сообщений	БМА	1
- аппаратура служебной связи	БМБ	1
Блок управления антенной	Н12С	1
Аппаратура программного наведения	А403	1
Пульт управления	Н15	1

1	2	3
Блок линейной коммутации	Н18М	1
Аппаратура громкоговорящей связи	АТГСП	1
Телефонный аппарат	ТА-57	1
УКВ-радиостанция (в кабине)	Р-105М	1
Стабилизатор	СТ-10/0,5С	1
Ваттметр поглощаемой мощности	М3-54	1
Панорамная приставка	Н19	1
Осциллограф	С1-67	1
Комплект кабелей (в катушках по 100 м)	ПТРК-10 × 2	2

2.2. Станция спутниковой связи «Аурига – 1,2 В»

Перевозимая спутниковая станция «Аурига» обеспечивает организацию автоматизированной спутниковой связи по технологии *TSP/IP* с предоставлением цифрового высокоскоростного канала для обмена данными, телефонной и видео-конференц-связи, трансляции мультимедийной цифровой информации, организации цифрового обмена при повседневной деятельности войск (в отсутствие огневого и радиоэлектронного противодействия) через космические аппараты связи и вещания гражданского назначения, расположенные на геостационарной орбите. Тактико-технические характеристики станции представлены в табл. 4.

Станция может эксплуатироваться в сложных климатических условиях:

- при относительной влажности воздуха 98 %;
- при температуре окружающей среды от –40 до +50;
- при пониженном атмосферном давлении до 70 кПа (525 мм рт. ст.);
- при скорости ветра до 20 м/с.

Таблица 4

Тактико-технические характеристики станции «Аурига – 1,2 В»

Характеристика	Данные
Диапазон рабочих частот, МГц: - на прием - на передачу	10 950...11 200, 11 450...11 700 12 750...13 250, 14 000...14 500
Максимальная мощность передатчика, Вт	не менее 4
Антенна со складывающимся офсетным рефлектором, м	1,2
Коэффициент усиления на передачу, дБ	42,2
Коэффициент усиления на прием, дБ	40,2

1	2
Кросс-поляризационная развязка, дБ	30
Ручное наведение антенны: - по углу места - по азимуту	от (8 ± 1) до $(90 \pm 1)^\circ$ от 0 до $\pm 360^\circ$
Автоматическое наведение антенны по максимальному сигналу: - по углу места - по азимуту	в пределах $\pm 15^\circ$ в пределах $\pm 15^\circ$
Модемное оборудование	<i>TDM, SCPC/TDMA, SCPC</i>
Скорость передачи информации, Мбит/с	до 6
Скорость приема информации, Мбит/с	до 54
Электропитание станции: - от аккумуляторной батареи - от промышленной сети	24 В/20 А (до 6 часов) 220 В/50 Гц
Потребляемая мощность макс, Вт	200
Габаритные размеры (транспортные) (Д × Ш × В), мм	980 × 860 × 600
Время развертывания, мин	5
Масса станции, кг	52
Подключение абонентских (периферийных) устройств к станции	по стыку <i>Ethernet</i> – 100 Мбит/с

2.3. Мобильные и стационарные станции спутниковой связи «Белинтерсат»

Назначение, состав, основные технические характеристики мобильной и стационарной спутниковой связи «Белинтерсат»

ССС «Белинтерсат» (мобильная и стационарная) предназначены для обеспечения автоматизированной спутниковой связи по технологии *TCP/IP* с предоставлением цифрового высокоскоростного канала для обмена данными, телефонной и видео-конференц-связи, трансляции мультимедийной цифровой информации, организации цифрового обмена через космические аппараты связи и вещания гражданского назначения, расположенные на геостационарной орбите. Единица измерения СССР «Белинтерсат» (мобильного и стационарного терминалов) – комплект.

Мобильный спутниковый терминал «*KU BAND SAT SYSTEM 2 PORTABLE STATION*» имеет в составе:

- мобильную спутниковую антенну автоматической настройки – 1 шт.;
- спутниковый модем *iDirectEvolutionX1* (с блоком питания) – 1 шт.;
- радиочастотные кабели с коннекторами – 2 шт.;

- кофры для размещения станции в транспортном положении – 2 шт.;
- эксплуатационную документацию – 1 комплект.

Стационарный спутниковый терминал «*KU BAND VSAT SYSTEM 2 COMMUNICATION SYSTEM 1*» имеет в составе:

- спутниковый модем *iDirectEvolutionX1* (с блоком питания) – 1 шт.;
- усилитель-конвертер *Ku*-диапазона, 2 Вт *Actox ABA2KXL* – 1 шт.;
- спутниковый конвертер *Actox AL10025* – 1 шт.;
- офсетная спутниковая антенна 1,2 м *Ku*-диапазона – 1 комплект;
- опоры для крепления антенны на здании или на земле – 1 комплект;
- радиочастотные кабели с коннекторами – 2 шт.;
- кабель заземления – 1 шт.;
- кабель заземления – 1 шт.;
- эксплуатационная документация – 1 комплект.

ССС «Белинтерсат» обеспечивают:

1) работу в непрерывном круглосуточном режиме в спутниковой сети связи с топологией типа «звезда»;

2) передачу сигналов со скоростями от 32 до 2048 кбит/с;

3) работу в *Ku*-диапазоне частот на прием 10 950...11 700 МГц, на передачу 12 750...13 500 МГц;

4) линейную поляризацию;

5) работу при мощности на передачу:

- мобильная ССС «Белинтерсат» – 16 Вт;

- стационарная ССС «Белинтерсат» – 2 Вт;

6) работу при допустимой ветровой нагрузке:

- мобильная ССС «Белинтерсат» – до 10 м/с;

- стационарная ССС «Белинтерсат» – до 22 м/с;

7) развертывание антенного поста и наведение его на заданный космический аппарат.

Мобильная ССС «Белинтерсат» обеспечивает автоматизированное развертывание антенного поста из транспортного положения в рабочее с возможностью автоматического наведения на заданный космический аппарат в диапазоне перемещения антенны:

- по азимуту – 360°;

- по углу места – от 10 до 90°.

Стационарная ССС «Белинтерсат» обеспечивает ручное наведение антенны на заданный космический аппарат в диапазоне перемещения антенны:

- по азимуту – 180° (без изменения положения антенны);

- по углу места – от 0 до 90°.

Масса ССС «Белинтерсат»:

- мобильной ССС «Белинтерсат» – не более 60 кг;

- стационарной ССС «Белинтерсат» – не более 78 кг.

2.4. Станции спутниковой связи Р-443О, Р-443У, Р-443ОБ, Р-443ОС, Р-443УС, Р-443П, Р-443П1, Р-443ОП

2.4.1. Назначение, состав, тактико-технические данные станций спутниковой связи Р-440О, Р-440У

Станция спутниковой связи Р-443О

Станция спутниковой связи Р-443О предназначена для обеспечения автоматизированной спутниковой связи через расположенные на геостационарной орбите космические аппараты (КА) связи вещания гражданского назначения, в том числе перспективные КА сети широкополосной спутниковой связи в *Ku*- и *C*-диапазонах частот, с предоставлением цифрового высокоскоростного канала, а также КА военного назначения с организацией помехозащищенной спутниковой связи для различных звеньев управления в *C*-диапазоне, в которой реализованы функции коммутации каналов и коммутации пакетов, что обеспечивает широкие эксплуатационные возможности по коммутации любого типа трафика, маршрутизацию в сетях *IP/Ethernet* и совместимость с сетью электросвязи общего пользования и сетями специального назначения.

Единица измерения станции спутниковой связи Р-443О – комплект.

Состав станции спутниковой связи Р-443О на колесном шасси МАЗ-631705-262Р с кузовом-фургоном контейнерного типа:

- высокочастотное оборудование – 1 комплект;
- устройство управления – 1 комплект;
- навигационное оборудование – 1 комплект;
- телекоммуникационное оборудование – 1 комплект;
- модуль антенный С100-12КА – 1 комплект;
- модуль антенный Л100Б-С – 1 комплект;
- радиостанция типа «Клен 1 МР (МР-Д)» – 1 комплект;
- радиостанция типа «Клен 1 ПР (ПР-Д)» – 3 комплекта;
- анализатор первичного сетевого стыка АФКЗ – 1 шт.;
- электроагрегат дизельный *ESE 1408 DLG ES DIE SILENT* – 2 комплекта;
- эксплуатационная документация – 1 комплект;
- запасные части, инструменты, принадлежности и материалы – 1 комплект;
- система периметровой охраны СПО-10 – 1 комплект.

Основной режим работы Р-443О – непрерывный, круглосуточный, на стоянке.

Станция спутниковой связи Р-443О обеспечивает работу:

1) через ретрансляторы *Ku*-диапазона в режиме прямой ретрансляции в диапазоне рабочих частот:

- на прием – от 10950 до 11700 МГц; от 11200 до 11450 МГц;
- на передачу – от 12750 до 13125 МГц; от 13750 до 14500 МГц;

2) через ретрансляторы С-диапазона для работы в режиме прямой ретрансляции в диапазоне частот:

- на прием – от 3400 до 3900 МГц;
- на передачу от 5725 до 6225 МГц;

3) в С-диапазоне в режимах работы с помехозащитой:

- с многостанционным доступом, основанным на кодовом разделении каналов, на передачу и на прием – четыре информационных направления со скоростью от 1,2 до 9,6 кбит/с по интерфейсу С1-И и со скоростью от 2,4 до 4,8 кбит/с по вокодерному каналу в режиме АТС;

- с расширением спектра сигнала, на передачу и на прием – четыре информационных направления со скоростью от 1,2 до 9,6 кбит/с по интерфейсу С1-И и со скоростью от 2,4 до 4,8 кбит/с по вокодерному каналу в режиме АТС;

- с узкополосным сигналом – четыре информационных направления со скоростью от 1,2 до 9,6 кбит/с по интерфейсу С1-И, со скоростью от 2,4 до 4,8 кбит/с по вокодерному каналу в режиме АТС и со скоростью от 64 до 256 кбит/с по интерфейсу *Ethernet*;

- «точка – многоточка» – одно информационное направление 2048 кбит/с по интерфейсам *G.703/G.704* (поток *E1*), *Ethernet*;

4) в пяти направлениях со скоростью 2048 кбит/с;

5) на передачу со скоростью не менее 2 Мбит/с;

6) на прием со скоростью до 20 Мбит/с;

7) по стыку С1-И в пяти направлениях со скоростью 1,2 кбит/с;

8) по приему от узлов электросвязи общего пользования каналов, имеющих интерфейсы *E1*, *Ethernet*, *FXS*, *xSDSL*, С1-И, *xSFP*, КТЧ;

9) по функционированию рабочего места оператора управления техническими средствами по протоколу *SNMP* с соответствующим программным обеспечением;

10) по организации:

- до двух цифровых систем передачи по оптическому кабелю с использованием *SFP*-модулей управляемого *L3* коммутатора *NetXpert*;

- до двух цифровых систем передачи с использованием модулей *FlexDSL FG-PAM-SR2L-4E1B/Eth-RP, V11*;

11) по формированию:

- трех оптических интерфейсов уровня *STM-1* по оптическому одномодовому кабелю с длиной волны 1550 нм и одного интерфейса с длиной волны 1310 нм;

- четырех каналов *Ethernet* и передачу их в структуре *STM-1* со скоростью 91,392 Мбит/с и восьми направлений *LAN* для передачи *Ethernet*-трафика в четырех направлениях *WAN*;

- четырех 4-проводных каналов тональной частоты и четырех окончаний *FXS*;

- восьми направлений *LAN* для передачи *Ethernet*-трафика в двух направлениях *WAN* через плату коммутатора локальной сети из состава синхронного модуля доступа и 16 потоков *E1*.

Станция спутниковой связи Р-443У

Станция спутниковой связи Р-443У предназначена для обеспечения автоматизированной спутниковой связи через расположенные на геостационарной спутниковой орбите космические аппараты связи и вещания гражданского назначения, в том числе перспективные КА сети широкополосной спутниковой связи в *Ku*- и *C*-диапазонах частот, с предоставлением цифрового высокоскоростного канала, а также КА военного назначения с организацией помехозащищенной спутниковой связи для различных звеньев управления в *C*-диапазоне, в которой реализованы функции коммутации каналов и коммутации пакетов, что обеспечивает широкие эксплуатационные возможности по коммутации любого типа трафика, маршрутизацию в сетях *IP/Ethernet* и обеспечивает совместимость с сетью электросвязи общего пользования и сетями специального назначения.

Основной режим работы Р-443У – непрерывный, круглосуточный, на стоянке.

Состав станции спутниковой связи Р-443У на колесном шасси ТЗКТ-65273-12 с кузовом-фургоном контейнерного типа:

- 1) высокочастотное оборудование – 1 комплект;
- 2) устройство управления – 1 комплект;
- 3) навигационное оборудование – 1 комплект;
- 4) телекоммуникационное оборудование – 1 комплект;
- 5) модуль антенный С100-24КА – 2 комплекта;
- 6) радиостанция типа «Клен 1 МР (МР-Д)» – 2 комплекта;
- 7) радиостанция типа «Клен 1 ПР (ПР-Д)» – 3 комплекта;
- 8) анализатор первичного сетевого стыка *AFK-3* – 1 шт.;
- 9) электроагрегат дизельный *ESE 20 PW-B* – 2 комплекта;
- 10) эксплуатационная документация – 1 комплект;
- 11) запасные части, инструменты, принадлежности и материалы – 1 комплект;
- 12) система периметровой охраны СПО-10 – 1 комплект.

Станция спутниковой связи Р-443У обеспечивает работу:

1) через ретрансляторы *Ku*-диапазона в режиме прямой ретрансляции в диапазонах частот:

- на прием – от 10 950 до 11 700 МГц; от 11 200 до 11 450 МГц;
- на передачу – от 12 750 до 13 125 МГц; от 13 750 до 14 500 МГц;

2) через ретранслятор *C*-диапазона в режиме прямой ретрансляции в диапазоне рабочих частот:

- на прием – от 3400 до 3900 МГц;
- на передачу – от 5725 до 6225 МГц;

3) в девяти направлениях со скоростью 2048 кбит/с;

4) на передачу со скоростью не менее 20 Мбит/с;

5) по стыку С1-И в девяти направлениях со скоростями 1,2; 2,4; 4,8; 9,6 кбит/с;

6) по централизованному управлению сетью по служебным каналам, в том числе режимами работы Р-443О, Р-443ОП, Р-443ОБ, Р-443ОС, Р-443П1;

7) по приему от узлов электросвязи общего пользования каналов, имеющих интерфейсы *E1*, *Ethernet*, *FXS*, *xSDSL*, *C1-И*, *xSFP*, КТЧ;

8) по функционированию рабочего места оператора управления техническими средствами по протоколу *SNMP* с соответствующим программным обеспечением;

9) по организации до двух цифровых систем передачи по оптическому кабелю с использованием *SFP*-модулей управляемого *L3* коммутатора *NetXpert*;

10) по организации до двух цифровых систем передачи с использованием модулей *FlexDSL*, *FG-PAM-SR2L-4E1B/Eth-RP*, *V11*;

11) по формированию трех оптических интерфейсов уровня *STM-1* по оптическому одномодовому кабелю с длиной волны 1550 нм и одного интерфейса с длиной волны 1310 нм;

12) по формированию четырех каналов *Ethernet* и передаче их в структуре *STM-1* со скоростью 91,392 кбит/с;

13) по формированию служебного канала связи с тональным набором номера;

14) по формированию восьми направлений *LAN* для передачи *Ethernet*-трафика в четырех направлениях *WAN*;

15) по формированию четырех окончаний *FXS*;

16) по формированию четырех 4-проводных каналов тональной частоты;

17) по формированию 16 потоков *E1*;

18) в режиме центральной земной станции.

2.4.2. Назначение, состав, тактико-технические данные станций спутниковой связи Р-443ОП, Р-443ОБ

Станция спутниковой связи Р-443ОП

Станция спутниковой связи Р-443ОП предназначена для организации спутниковой связи в *Ku*- и *C*-диапазонах частот через стволы ретрансляторов КА.

Состав станции спутниковой связи Р-443ОП переносной в кейсах «Корсар К-794», «Корсар К-762»:

1) высокочастотное оборудование – 1 комплект в составе:

- оборудование сменное *C*-диапазона с конвертером;

- оборудование сменное *Ku*-диапазона № 1;

- оборудование сменное *Ku*-диапазона № 2;

2) устройство управления – 1 комплект;

3) навигационное оборудование – 1 комплект;

4) телекоммуникационное оборудование – 1 комплект;

5) антенный пост со складывающимся рефлектором диаметром 1,2 м офсетного типа – 1 комплект;

6) эксплуатационная документация – 1 комплект;

7) запасные части, инструменты, принадлежности и материалы – 1 комплект.

Станция спутниковой связи Р-443ОП обеспечивает работу:

1) в *Ku*-диапазоне в режиме прямой ретрансляции в диапазонах рабочих частот:

- на прием – от 10 950 до 11 700 МГц;
- на передачу – от 12 750 до 13 125 МГц; от 13 750 до 14 500 МГц;

2) в *C*-диапазоне в режиме прямой ретрансляции в диапазонах рабочих частот:

- на прием – от 3400 до 3900 МГц;
- на передачу – от 5725 до 6225 МГц;

3) в *Ku*-диапазоне – прием, передачу сигналов со скоростями от 32 до 4096 кбит/с с шагом перестройки 1 кбит/с;

4) в *C*-диапазоне – прием, передачу сигналов со скоростями от 32 до 1024 кбит/с с шагом перестройки 1 кбит/с;

5) в режиме ручного наведения антенны на КА, расположенный на геостационарной орбите, в секторах рабочих узлов:

- по углу места – от 0 до 90°;
- по азимуту – от 0 до ± 180°;

6) в режиме автоматического наведения антенны на КА, расположенные на геостационарной орбите, в секторах рабочих узлов:

- по углу места – не менее 15°;
- по азимуту – не менее 30°;

7) в одном направлении со скоростью 2048 кбит/с;

8) на передачу со скоростью не менее 2 Мбит/с;

9) на прием со скоростью не менее 20 Мбит/с;

10) по стыку С1-И в одном направлении со скоростью 1,2 кбит/с.

Станция спутниковой связи Р-443ОБ

Станция спутниковой связи Р-443ОБ предназначена для обеспечения автоматизированной спутниковой связи через расположенные на геостационарной орбите КА связи и вещания гражданского назначения, в том числе перспективные КА сети широкополосной спутниковой связи в *Ku*- и *C*-диапазонах частот, с предоставлением цифрового высокоскоростного канала, а также КА военного назначения с организацией помехозащищенной спутниковой связи для различных звеньев управления в *C*-диапазоне.

Состав станции спутниковой связи Р-443ОБ, устанавливаемой на средствах подвижности:

- 1) высокочастотное оборудование – 1 комплект;
- 2) устройство управления – 1 комплект;
- 3) навигационное оборудование – 1 комплект;
- 4) телекоммуникационное оборудование – 1 комплект;
- 5) модуль антенный С100-12КА – 1 комплект в составе:
 - контроллер RC4000;
 - антенна 1311;
 - система облучающая С103-12-КА-01;

- б) эксплуатационная документация – 1 комплект;
 - 7) запасные части, инструменты, принадлежности и материалы – 1 комплект.
- Станция спутниковой связи Р-443ОБ обеспечивает работу:

1) в *Ku*-диапазоне в режиме с прямой ретрансляцией в диапазонах рабочих частот:

- на прием – от 11 200 до 11 450 МГц; от 10 950 до 11 700 МГц;
- на передачу – от 12 750 до 13 125 МГц; от 13 750 до 14 500 МГц;

2) в *C*-диапазоне для работы в режиме прямой ретрансляции в диапазоне рабочих частот:

- на прием – от 3400 до 3900 МГц;
- на передачу – от 5725 до 6225 МГц;
- 3) в одном направлении со скоростью 2048 кбит/с;
- 4) на передачу со скоростью не менее 2 Мбит/с;
- 5) на прием со скоростью 2 Мбит/с;
- б) по стыку С1-И в одном направлении со скоростью 1,2 кбит/с.

2.4.3. Назначение, состав, тактико-технические данные станций спутниковой связи Р-443ОС, Р-443УС

Станция спутниковой связи Р-443ОС

Стационарная станция спутниковой связи Р-443ОС предназначена для обеспечения автоматизированной спутниковой связи через расположенные на геостационарной орбите КА связи и вещания гражданского назначения, в том числе перспективные КА сети широкополосной спутниковой связи в *Ku*- и *C*-диапазонах частот, с предоставлением цифрового высокоскоростного канала, а также КА военного назначения с организацией помехозащищенной спутниковой связи для различных звеньев управления в *C*-диапазоне, в которой реализованы как функции коммутации каналов, так и функции коммутации пакетов, что обеспечивает широкие эксплуатационные возможности коммутации любого типа трафика и маршрутизации в сетях *IP/Ethernet*. Полностью совместимы с сетью электросвязи общего пользования и сетями специального назначения.

Состав станции спутниковой связи Р-443ОБ стационарной:

- 1) высокочастотное оборудование – 1 комплект;
- 2) устройство управления – 1 комплект;
- 3) навигационное оборудование – 1 комплект;
- 4) телекоммуникационное оборудование – 1 комплект;
- 5) модуль антенный С100-12КР – 1 комплект в составе:
 - система облучающая С103-12-КР;
 - конвертер К-ПРД4-13Б;
 - конвертер К-ПРМ-11Б;
- б) эксплуатационная документация – 1 комплект;
- 7) запасные части, инструменты, принадлежности и материалы – 1 комплект;

Станция спутниковой связи Р-443ОС обеспечивает работу:

1) в *Ku*-диапазоне в режиме с прямой ретрансляцией в диапазонах рабочих частот:

- на прием – от 11 200 до 11 450 МГц; от 10 950 до 11 700 МГц;
- на передачу – от 12 750 до 13 125 МГц; от 13 750 до 14 500 МГц;

2) в *C*-диапазоне для работы в режиме прямой ретрансляции в диапазоне рабочих частот:

- на прием – от 3400 до 3900 МГц;
- на передачу – от 5725 до 6225 МГц;

3) со скоростью передачи данных:

- в режиме широкополосного сигнала на передачу и на прием – одно информационное направление со скоростью от 1,2 до 9,6 кбит/с по интерфейсу С1-И;

- в *C*-диапазоне в режиме узкополосного сигнала – одно информационное направление со скоростью от 1,2 до 9,6 кбит/с по интерфейсу С1-И; в режиме «точка-многоточка» – одно информационное направление 2048 кбит/с по интерфейсам *G.703/G.704* (поток *E1*), *Ethernet*;

- 4) вокодерного телефонного канала с необходимой для него достоверностью;
- 5) в одном направлении со скоростью 2048 кбит/с;
- 6) на передачу со скоростью не менее 2 Мбит/с;
- 7) на прием со скоростью не менее 20 Мбит/с;
- 8) по стыку С1-И в одном направлении со скоростью 1,2 кбит/с.

Станция спутниковой связи Р-443УС

Станция спутниковой связи Р-443УС предназначена для обеспечения автоматизированной спутниковой связи через расположенные на геостационарной орбите КА связи и вещания гражданского назначения, в том числе перспективные КА сети широкополосной спутниковой связи в *Ku*- и *C*-диапазонах частот, с предоставлением цифрового высокоскоростного канала, а также КА военного назначения с организацией помехозащищенной спутниковой связи для различных звеньев управления в *C*-диапазоне, в которой реализованы функции коммутации каналов и коммутации пакетов, что обеспечивает широкие эксплуатационные возможности по коммутации любого типа трафика, маршрутизацию в сетях *IP/Ethernet* и совместимость с сетью электросвязи общего пользования и сетями специального назначения.

Состав станции спутниковой связи Р-443УС стационарной:

- 1) высокочастотное оборудование – 1 комплект;
- 2) устройство управления – 1 комплект;
- 3) навигационное оборудование – 1 комплект;
- 4) телекоммуникационное оборудование – 1 комплект;
- 5) антенный пост *Ku*-диапазона 3,7 м с радиочастотной аппаратурой и системой наведения – 1 комплект;
- 6) антенная система *Ku*-диапазона 3,7 м – 1 комплект;

7) маршрутизатор спутниковый *UHP-240* – 10 шт.;

8) эксплуатационная документация – 1 комплект;

9) запасные части, инструменты, принадлежности и материалы – 1 комплект.

Станция спутниковой связи Р-443У обеспечивает работу:

1) через ретрансляторы *Ku*-диапазона в режиме прямой ретрансляции в диапазонах рабочих частот:

- на прием – от 10 950 до 11 700 МГц; от 11 200 до 11 450 МГц;

- на передачу – от 12 750 до 13 125 МГц; от 13 750 до 14 500 МГц;

2) через ретранслятор *C*-диапазона в режиме прямой ретрансляции в диапазоне рабочих частот:

- на прием – от 3400 до 3900 МГц;

- на передачу – от 5725 до 6225 МГц;

3) по топологии «точка – многоточка» и «точка – точка» при работе в режиме прямой ретрансляции в *C*-диапазоне; по топологии «точка – точка», «точка – многоточка», «звезда», «иерархическая» и «полносвязная» в *Ku*-диапазоне;

4) посредством вертикальной и горизонтальной линейной ортогональной поляризации в *Ku*-диапазоне, правой круговой поляризации на прием и левой круговой поляризации на передачу в *C*-диапазоне;

5) в двенадцати направлениях со скоростью 2048 кбит/с;

6) на передачу со скоростью не менее 40 Мбит/с;

7) по стыку С1-И в девяти направлениях со скоростями 1,2; 2,4; 4,8; 9,6 кбит/с;

8) в режиме прямой ретрансляции в *Ku*-диапазоне:

- не менее 40 Мбит/с на прием и передачу;

- 2048 кбит/с по интерфейсу *G.703/G.704*;

9) как центральная земная станция с помехозащитой в *C*-диапазоне в режимах:
- многостанционного доступа при кодовом разделении каналов на передачу и на прием – восемь информационных направлений со скоростью от 1,2 до 9,6 кбит/с по интерфейсу С1-И и со скоростью от 2,4 до 4,8 кбит/с по вокодерному каналу в режиме автоматической телефонной станции (далее – АТС);

- широкополосного сигнала на передачу и на прием – восемь информационных направлений со скоростью от 1,2 до 9,6 кбит/с по интерфейсу С1-И и со скоростью от 2,4 до 4,8 кбит/с по вокодерному каналу в режиме АТС;

- узкополосного сигнала – восемь информационных направлений со скоростью от 1,2 до 9,6 кбит/с по интерфейсу С1-И, со скоростью от 2,4 до 4,8 кбит/с по вокодерному каналу в режиме АТС и со скоростью от 64 до 256 кбит/с по интерфейсу *Ethernet*;

- «точка – точка» или абонентской станции «точка – многоточка» – одно информационное направление 2048 кбит/с по интерфейсам *G.703/G.704* (поток *E1*), *Ethernet*.

Назначение, состав, тактико-технические данные станций спутниковой связи Р-443П, Р-443П1

Станция спутниковой связи Р-443П

Станция спутниковой связи Р-443П предназначена для организации спутниковой связи в *С*-диапазоне через стволы ретрансляторов КА, находящихся на геостационарной орбите, с обеспечением телефонной связи и передачи данных при работе в режиме прямой ретрансляции в сетях узловой, радиально-узловой, радиальной и магистральной связи, а также в сетях низкоэнергетических систем связи.

Состав станции спутниковой связи Р-443П, переносимой в упаковке-ранце:

- 1) высокочастотное оборудование – 1 комплект;
- 2) устройство управления – 1 комплект;
- 3) навигационное оборудование – 1 комплект;
- 4) телекоммуникационное оборудование – 1 комплект;
- 5) модуль антенный В100Н – 1 комплект в составе:
 - антенна 2J433G-200RG174CE;
 - опорно-поворотное устройство ЛД102Н;
- 6) эксплуатационная документация – 1 комплект;
- 7) запасные части, инструменты, принадлежности и материалы – 1 комплект.

Станция спутниковой связи Р-443П обеспечивает связь в помехозащищенном режиме, фазомодулированными шумоподобными сигналами с многостанционным доступом, основанным на кодовом разделении каналов, в одном направлении по стыку С1-И со скоростью 1,2 кбит/с на любой фиксированной частоте с шагом 10 кГц в *С*-диапазоне:

- на прием – от 3400 до 3900 МГц;
- на передачу – от 5725 до 6225 МГц.

Станция спутниковой связи Р-443П1

Станция спутниковой связи Р-443П1 предназначена для организации спутниковой связи в *Ки*-диапазоне через стволы ретрансляторов КА, находящихся на геостационарной орбите.

Состав станции спутниковой связи Р-443П1, переносимой в упаковке-ранце:

- 1) высокочастотное оборудование – 1 комплект;
- 2) устройство управления – 1 комплект;
- 3) навигационное оборудование – 1 комплект;
- 4) телекоммуникационное оборудование – 1 комплект;
- 5) модуль антенный ЛД100Н-КУ1 – 1 комплект в составе:
 - антенна 2J433G-200RG174CE;
 - контейнер ЛД200Н-КУ;
- 6) эксплуатационная документация – 1 комплект;
- 7) запасные части, инструменты, принадлежности и материалы – 1 комплект.

Станция спутниковой связи Р-443П1 обеспечивает работу в одном направлении по стыку С1-И со скоростью 256 кбит/с в *Ku*-диапазоне в режиме прямой ретрансляции в диапазоне рабочих частот:

- на прием – от 13 750 до 14 500 МГц;
- на передачу – от 10 950 до 11 700 МГц.

3. ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ ТРАНКИНГОВОЙ СВЯЗИ

3.1. Принципы построения транкинговых систем связи

В состав БС, кроме радиочастотного оборудования (ретрансляторов, устройств объединения радиосигналов, антенн) входят также коммутатор, устройство управления (УУ) и интерфейсы к внешним сетям. Обобщенная структурная схема однозоновой ТСП представлена на рис. 16.

Ретранслятор – набор приемопередающего оборудования, обслуживающего одну пару несущих частот. До недавнего времени в подавляющем большинстве ТСП одна пара несущих означала один канал трафика (КТ). В настоящее время, с появлением систем стандарта *TETRA* и системы *EDACS ProtoCALL*, предусматривающих временное уплотнение, один РТ может обеспечить два или четыре КТ.

Антенны БС, как правило, имеют круговую диаграмму направленности. При расположении БС на краю зоны применяются направленные антенны. БС может быть оснащен как единой приемопередающей антенной, так и отдельными антеннами для приема и передачи. В некоторых случаях на одной мачте может размещаться несколько приемных антенн для борьбы с замираниями, вызванными многолучевым распространением.

Устройство объединения радиосигналов позволяет использовать одно и то же антенное оборудование для одновременной работы приемников и передатчиков на нескольких частотных каналах. РТ работают только в дуплексном режиме, разнос частот приема и передачи составляет от 3 до 45 МГц.

Коммутатор в однозоновой ТСП обслуживает весь ее трафик, включая соединение абонента с ТфОП и все вызовы, связанные с передачей данных.

Устройство управления обеспечивает взаимодействие всех узлов БС. Оно также обрабатывает вызовы, осуществляет аутентификацию вызывающих абонентов, ведение очередей вызовов, внесение записей в БД повременной оплаты. В некоторых системах УУ регулирует максимально допустимую продолжительность соединения с ТСП. Как правило, используются два варианта регулировки: уменьшение продолжительности соединения в заранее заданные часы наибольшей нагрузки или адаптивное изменение в зависимости от текущей нагрузки.

Интерфейс к ТфОП реализуется в ТСП различными способами. В недорогих системах (например, *SmarTrunk*) подключение производится по двухпроводной коммутируемой линии. Более современные ТСП имеют в составе интерфейса ТфОП аппаратуру прямого набора номера, обеспечивающую доступ к абонентам транкинговой сети с использованием стандартной нумерации АТС. Ряд систем использует цифровое ИКМ-соединение с аппаратурой АТС.



Рис. 16. Структурная схема однозонавой транкинговой системы

Одной из основных проблем при регистрации и использовании транкинговых систем является проблема их сопряжения с ТфОП. При исходящих вызовах транкинговых абонентов в телефонную сеть сложность заключается в том, что некоторые транкинговые системы не могут набирать номер в декадном режиме по абонентским линиям в электромеханических АТС. Таким образом, необходимо использовать дополнительное устройство преобразования тонального набора в декадный. Входящая связь от абонентов ТфОП к радиоабонентам оказывается также проблематичной по ряду причин. Большинство транкинговых сетей сопрягаются с телефонной сетью по двухпроводным абонентским линиям. В этом случае после набора номера ТфОП требуется донабор номера радиоабонента. Однако после полного набора номера

абонентской линии и замыкания шлейфа управляющим устройством транкинговой системы телефонное соединение считается установленным и дальнейший набор номера в импульсном режиме затруднен, а в некоторых случаях невозможен. Применяемый в системе *SmarTrunk II* детектор «щелчков» не гарантирует правильности импульсного донабора, т. к. качество входящих из абонентской линии «импульсов-щелчков» зависит от ее электрических характеристик, длины и т. д.

Телефонный интерфейс *ELTA 200* предназначен для сопряжения транкинговых систем связи разных типов с ТфОП. Интерфейс позволяет сопрягать транкинговые системы связи и ТфОП по цифровым каналам (2048 Мбит/с), трехпроводным соединительным линиям с декадным набором номера или по четырехпроводным каналам тональной частоты с системами сигнализации различных типов с ведомственными телефонными сетями.

Соединение с ТфОП является традиционным для ТСР, но в последнее время возрастающее число приложений, предполагающих передачу данных, делает наличие интерфейса к сетям передачи данных (СПД) обязательным.

Терминал технического обслуживания и эксплуатации располагается, как правило, на БС. Терминал предназначен для контроля за состоянием системы, проведения диагностики неисправностей, тарификации, внесения изменений в БД абонентов. Большинство ТСР имеют возможность удаленного подключения терминала через ТфОП или СПД.

Необязательными, но характерными элементами ТСР являются диспетчерские пульты (ДП). ТСР используются в первую очередь потребителями, работа которых требует наличия диспетчера – службой охраны, скорой медицинской помощью, пожарной охраной, транспортными компаниями, муниципальными службами. ДП могут включаться в систему по абонентским радиоканалам или подключаться по выделенным линиям непосредственно к коммутатору БС. В рамках одной ТСР может быть организовано несколько независимых сетей связи. Пользователи каждой из таких сетей не будут замечать работу соседних и не смогут вмешиваться в работу других сетей. Поэтому в одной ТСР могут работать несколько ДП, различным образом подключенных к ней.

Абонентское оборудование ТСР включает в себя широкий набор устройств. Как правило, наиболее многочисленными являются полудуплексные РС, т. к. они в наибольшей степени подходят для работы в замкнутых группах. В основном это функционально ограниченные устройства, не имеющие цифровой клавиатуры. Их пользователи имеют возможность связываться лишь с абонентами внутри своей рабочей группы, а также посылать экстренные вызовы диспетчеру. Существуют и полудуплексные РС с широким набором функций и цифровой клавиатурой, но они, будучи существенно дороже, предназначены для более узкого круга абонентов.

В ТСР постепенно находит применение новый класс абонентских устройств – дуплексные РС, напоминающие сотовые телефоны, но обладающие значительно большей функциональностью по сравнению с последними.

Как полудуплексные, так и дуплексные транкинговые РС выпускаются не только в портативном, но и в автомобильном исполнении. Как правило, выходная мощность передатчиков автомобильных РС выше.

Относительно новым классом устройств для ТСР являются терминалы ПД. В аналоговых ТСР терминалы ПД – это специализированные радиомодемы, поддерживающие соответствующий протокол радиоинтерфейса. Для цифровых систем более характерно встраивание интерфейса ПД в АР различных классов. В состав автомобильного терминала ПД часто включают спутниковый навигационный приемник системы *Global Position System (GPS)*, предназначенный для определения текущих координат и последующей передачи их диспетчеру на пульт.

В ТСР также используются стационарные РС, преимущественно для подключения ДП. Выходная мощность передатчиков стационарных РС приблизительно такая же, как у автомобильных.

Архитектура многозоновых ТСР может строиться по двум принципам. Если определяющим фактором является стоимость оборудования, используется распределенная межзональная коммутация. Каждая БС в такой системе имеет свое собственное подключение к ТфОП. При необходимости передачи вызова из одной зоны в другую он производится через интерфейс ТфОП, включая процедуру набора телефонного номера. Кроме того, БС могут быть непосредственно соединены с помощью физических выделенных линий связи.

Использование распределенной межзональной коммутации целесообразно лишь для систем с небольшим количеством зон и с невысокими требованиями к оперативности межзональных вызовов (особенно в случае соединения через коммутируемые каналы ТфОП). В системах с высоким качеством обслуживания используется архитектура с ЦК. Структура многозоновой ТСР с ЦК изображена на рис. 17.

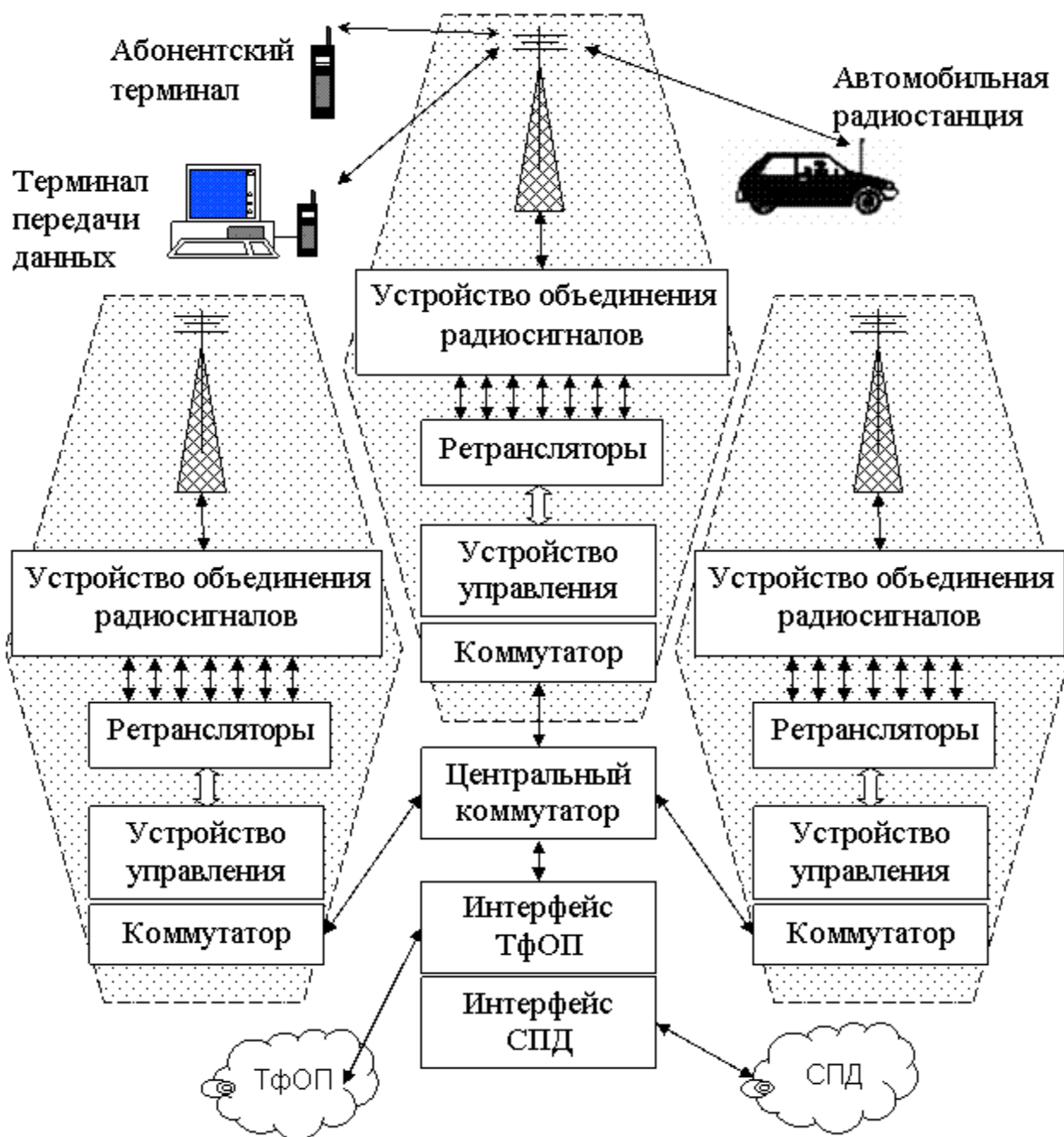


Рис. 17. Структурная схема транкинговой сети с централизованной межзональной коммутацией

Основной элемент схемы – межзональный коммутатор. Он обрабатывает все виды межзональных вызовов, т. е. весь межзональный трафик проходит через один коммутатор, соединенный с БС по выделенным линиям. Это обеспечивает быструю обработку вызовов, возможность подключения централизованных ДП.

Информация о местонахождении абонентов системы с ЦК хранится в единственном месте, поэтому ее легче защитить. Кроме того, межзональный коммутатор также осуществляет функции централизованного интерфейса для ТфОП и СКП, что позволяет при необходимости полностью контролировать как

речевой трафик ТС, так и трафик всех приложений ПД, связанный с внешними СПД (например, Интернет). Таким образом, система с ЦК обладает более высокой управляемостью.

3.2. Базовые станции и ретрансляторы систем транкинговой связи

К наиболее популярным, заслужившим международное признание стандартам цифровой транкинговой радиосвязи, на основе которых во многих странах развернуты системы связи, относятся:

- *EDACS*, разработанный фирмой *Ericsson*;
- *TETRA*, разработанный Европейским институтом стандартов связи;
- *APCO 25*, разработанный Ассоциацией официальных представителей служб связи органов общественной безопасности;
- *Tetrapol*, разработанный фирмой *Matra Communication* (Франция);
- *iDEN*, разработанный фирмой *Motorola* (США).

Все эти стандарты отвечают современным требованиям к системам транкинговой радиосвязи. Они позволяют создавать различные конфигурации сетей связи, от простейших локальных однозоновых систем до сложных многозоновых систем регионального или национального уровня.

Одной из основных задач разработки системы по стандарту *EDACS* было достижение высокой надежности и отказоустойчивости сетей связи. Эта цель была достигнута, что подтверждается надежной и устойчивой работой систем связи в различных регионах мира. Высокая отказоустойчивость обеспечивается реализацией в аппаратуре системы *EDACS* распределенной архитектуры и заложенным принципом распределенной обработки данных. Базовая станция сети связи сохраняет работоспособность даже в случае отказа всех ретрансляторов, кроме одного. Последний работоспособный ретранслятор в этом случае в исходном состоянии работает как ретранслятор канала управления: при поступлении вызовов обрабатывает их, назначая свой собственный частотный канал, после чего переходит в режим ретранслятора рабочего канала. При выходе из строя контроллера базовой станции система переходит в аварийный режим, при котором теряются некоторые функции сети, однако сохраняется частичная работоспособность (ретрансляторы работают автономно).

Из-за сложного холмистого рельефа местности и обилия железобетонных конструкций рации в симплексном режиме – в прямом канале – не работают между собой. Для охвата необходима установка трех базовых точек с ретрансляторами и мачтовыми конструкциями, которые увеличивают дальность работы раций.

Однако перед ретрансляторами стоит задача не только увеличения зон покрытия, но и реализации всех задач распределения абонентов на группы и коммутации всех сотрудников разных служб по обозначенным правилам и алгоритмам.

Отсюда и возникает необходимость в транкинговой системе: большое количество абонентов, разделение их на группы, установка приоритетов и выделение свободных каналов связи для тех абонентов, которым она необходима в нужный момент времени, требуют особого подхода. Современные ретрансляторы способны объединяться в единую систему по *IP*-протоколам, превращаясь в своеобразную АТС, которая занимается распределением свободных каналов связи для всех служб и групп.

Поскольку используется несколько точек установки ретрансляторов, носимые абонентские рации, подобно мобильным телефонам, самостоятельно могут определять наилучший уровень сигнала от одного из них и переключаться на работу с тем или иным ближайшим репитером.

Для увеличения дальности связи в профессиональной мобильной радиосвязи (ПМР) используются ретрансляторы, устанавливаемые на высоких точках местности. При большом количестве абонентов или высокой интенсивности связи может потребоваться установка нескольких ретрансляторов в одной точке. При закреплении каждого ретранслятора за определенной группой абонентов может создаться ситуация, когда один ретранслятор перегружен, в то время как другой не используется. Увеличения эффективности использования каналов связи и пропускной способности группы ретрансляторов можно добиться на основе использования принципа свободного доступа абонентов к общему частотному ресурсу, получившему название «транкинг» или «транк» (англ. *Trunking* – объединение в пучок).

Более строгое определение можно дать следующим образом: под термином «транкинг» понимается метод доступа абонентов к общему пучку каналов, при котором свободный канал выделяется абоненту на время сеанса связи. В соответствии с этим транкинговыми системами называются радиально-зоновые системы сухопутной подвижной УКВ-радиосвязи, осуществляющие автоматическое распределение каналов связи ретрансляторов (базовых станций) между абонентами.

Как любые сети подвижной радиосвязи, сети транкинга включают наземную инфраструктуру (стационарное оборудование) и абонентские станции. Основным элементом наземной инфраструктуры сети транкинговой радиосвязи является базовая станция (БС), включающая несколько ретрансляторов с соответствующим антенным оборудованием, и контроллер, который управляет работой БС, коммутирует каналы ретрансляторов, обеспечивает выход на телефонную сеть общего пользования (ТфОП) или другую сеть фиксированной связи.

Сеть транкинговой радиосвязи может содержать одну (однозоновая сеть) или несколько базовых станций (многозоновая сеть). Многозоновая сеть обычно содержит соединенный со всеми БС по выделенным линиям межзональный коммутатор, который обрабатывает все виды межзональных вызовов.

Современные транкинговые системы, как правило, обеспечивают различные типы вызова (групповой, индивидуальный, широкополосный), допускают приоритетные вызовы, имеют доступ к ТфОП, обеспечивают

возможность передачи данных и режим прямой связи между абонентскими станциями (без использования канала БС).

Существуют аналоговые и цифровые системы транкинговой радиосвязи. В настоящее время происходит активное внедрение цифрового транкинга на базе *TETRA* наряду с успешным функционированием и развитием широко распространенных аналоговых систем на базе *MPT1327*.

3.3. Абонентские станции систем транкинговой связи

Цифровая портативная радиостанция *PD785G*

Цифровая радиостанция *PD785G* (рис. 18) может работать в аналоговом или цифровом режиме и поддерживает различные типы голосовых вызовов, включая персональные вызовы, групповые вызовы, вызовы всех радиостанций и экстренные вызовы, передачу таких данных, как персональные и групповые текстовые сообщения, обеспечивает возможность просмотра данных местоположения *GPS* и отправки текстовых сообщений *GPS*.



Рис. 18. Цифровая портативная радиостанция *PD785G*

Основные характеристики радиостанции *PD785G* представлены в табл. 5.

Таблица 5

Общие характеристики радиостанции *PD785G*

Наименование параметра	Значение
1	2
Диапазон частот, МГц	ОВЧ: 136...174 УВЧ: 400...470
Число каналов связи	1024
Число зон связи	64 (до 16 каналов в каждой зоне)
Разнесение каналов, кГц	25/20/12,5

Продолжение табл. 5

1	2
Рабочее напряжение, В	7,4 (номинальное)
Аккумулятор, мА·ч	2000 (литий-ионный)
Устойчивость частоты	$\pm 0,0015$
Полное входное сопротивление антенны, Ом	50
Габаритные размеры (В × Ш × Г) (со стандартным аккумулятором, без антенны), мм	125 × 55 × 37
Масса (со стандартным аккумулятором и установленной антенной), г	355
Материал корпуса	поликарбонат
ЖК-дисплей	160 × 128 пикселей, 65 535 цветов, 1,8 дюйма, 4 строки
Передатчик	
Радиочастотный выход	ОВЧ: высокая мощность – 5 Вт, низкая мощность – 1 Вт УВЧ: высокая мощность – 4 Вт, низкая мощность – 1 Вт
Частотная модуляция	11K0F3E при 12,5 14K0F3E при 20 16K0F3E при 25
Цифровая модуляция 4FSK	12,5 кГц, только передача данных: 7K60FXD 12,5 кГц, передача данных и речевого сигнала: 7K60FXW
Пределы модуляции	$\pm 2,5$ кГц при 12,5 кГц $\pm 4,0$ кГц при 20 кГц $\pm 5,0$ кГц при 25 кГц
ЧМ-шумы	40 дБ при 12,5 кГц 43 дБ при 20 кГц 45 дБ при 25 кГц
Подавление соседнего канала	60 дБ при 12,5 кГц 70 дБ при 20/25 кГц
Искажение звукового сигнала, %	3
Тип цифрового вокодера	AMBE++ или SELP
Приемник	
Чувствительность, мкВ	в аналоговом режиме: 0,22 в цифровом режиме: 0,3 при коэффициенте двоичных ошибок 5 %
Селективность	60 дБ при 12,5 кГц; 70 дБ при 20/25 кГц

1	2
Нелинейные искажения	70 дБ при 12,5/20/25 кГц
Отношение сигнал/шум	40 дБ при 12,5 кГц 43 дБ при 20 кГц 45 дБ при 25 кГц
Номинальная выходная мощность звукового сигнала, Вт	0,5
Номинальный уровень искажения звукового сигнала, %	3
Чувствительного звукового канала, дБ	+1...– 3
Кондуктивное паразитное излучение, дБмВт, менее	–57
Условия среды эксплуатации	
Эксплуатационная температура, °С	– 30...+60
Допустимая температура хранения, °С	– 40...+85
Защищенность от пыли и влаги	категория <i>IP57</i>

Цифровой ретранслятор *RD985*

Цифровой ретранслятор *RD985* (рис. 19) предназначен для двусторонней радиосвязи в симплексном (одночастотном, двухчастотном) режиме и используется для организации сетей радиосвязи.

В составе ретранслятора имеются приемопередающие модули (далее – платформа) *VHF* – рабочий диапазон частот от 146 до 174 МГц – и *UHF* – рабочий диапазон частот от 403 до 470 МГц.



Рис. 19. Цифровой ретранслятор *RD985*

В ретрансляторе используется программное обеспечение для работы в системах сигнализации *HDC1200*, *DTMF*, *CTCSS*, *CDCSS*, *2-tone*, *5-tone*. Ретранслятор работает в аналоговом и цифровом режимах. В цифровом режиме ретранслятор работает в протоколе *DMR*. Класс излучения – *16K0F3E*, *14K0F3E*, *11K0F3E* для аналогового режима и *7K60FXW*, *7K60FXD* для цифрового режима. Частотный разнос между соседними каналами – 25, 20 и 12,5 кГц для аналогового режима и 12,5 кГц для цифрового режима. Мощность несущей передатчика ретранслятора – 5 и 50 Вт. Имеется возможность оперативного выбора требуемого уровня мощности несущей.

Параметры ретранслятора в аналоговом режиме при нормальных климатических условиях должны соответствовать нормам, указанным в табл. 6.

Таблица 6

Параметры ретранслятора в аналоговом режиме при нормальных климатических условиях

Наименование параметра	Значение
1	2
Рабочий диапазон частот, МГц: - для ретранслятора с платформой <i>VHF</i> - для ретранслятора с платформой <i>UHF</i>	146...174 403...470
Номинальное значение мощности, несущей передатчика, Вт	50
Отклонение частоты передатчика от номинального значения, кГц, не более	$\pm 2,0/\pm 2,0/\pm 1,0$
Отклонение мощности на выходе передатчика от номинального значения, дБ, не более	$\pm 1,5$
Отклонение максимальной эффективной излучаемой мощности (ЭИМ) от номинального значения, дБ, не более	$\pm 6,25$
Максимально допустимая девиация частоты передатчика, кГц, не более	5,0/4,0/2,5
Максимальная пороговая чувствительность приемника (кондуктивная) при отношении сигнал/шум 20 дБ, дБмкВ, не более	6
Мощность в соседнем и альтернативном каналах: - в соседнем канале, не более - в альтернативном канале, не более	-60 дБ, 2 мкВт; -70 дБ, 2 мкВт
Нежелательные кондуктивные побочные излучения передатчика: - в полосе частот от 9 кГц до 1 ГГц в режиме передачи, мкВт, не более - в полосе частот от 1 до 4 ГГц в режиме передачи, мкВт, не более - в полосе частот от 9 кГц до 1 ГГц в режиме ожидания, нВт, не более - в полосе частот от 1 до 4 ГГц в режиме ожидания, нВт, не более	0,25 1 2 20

1	2
Нежелательные радиационные побочные излучения передатчика: - в полосе частот от 30 МГц до 1 ГГц в режиме передачи, мкВт, не более - в полосе частот от 1 до 4 ГГц в режиме передачи, мкВт, не более - в полосе частот от 30 МГц до 1 ГГц в режиме ожидания, нВт, не более - в полосе частот от 1 до 4 ГГц в режиме ожидания, нВт, не более	0,25 1 2 20
Интермодуляционные ослабления, дБ, не менее	70
Максимальная пороговая чувствительность приемника (кондуктивная) при отношении сигнал/шум 12 дБ, мкВ, не более	0,3
Предельные значения соканальной помехи для канального разнеса: - 25 и 20 кГц - 12,5 кГц	от -8,0 до 0 дБ от -12,0 до 0 дБ
Избирательность приемника по соседнему каналу, дБ, не менее	70/70/60
Избирательность приемника по побочным каналам приема, дБ, не менее	70
Интермодуляционная избирательность приемника, дБ, не менее	70
Уровень блокирования приемника, дБ, не менее	84
Коэффициент нелинейных искажений передатчика %, не более	3
Отклонение амплитудно-частотной модуляционной характеристики (АЧМХ) передатчика от характеристики с предкоррекцией 6 дБ/октава, дБ, не более	+1,5...-3
Коэффициент нелинейных искажений приемника, %, не более	3
Отклонение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) приемника от характеристики с послекоррекцией -6 дБ/октава, дБ, не более	+1,5...-3
<i>Примечание.</i> Параметры, указанные через «/» даны для канального разнеса 25/20/12,5 кГц	

Мобильный дуплексер *MDF1-6VH4.5/6*

Малогобаритный мобильный дуплексер *MDF1-6VH4.5/6* (рис. 20) предназначен для организации двухчастотного симплексного режима радиосвязи с использованием одной общей антенны как для приема, так и для передачи. Дуплексер имеет три порта: для подключения антенны, радиоприемного тракта (радиоприемника) и радиопередающего тракта (передатчика).



Рис. 20. Мобильный дуплексер MDF1-6VH4.5/6

Таблица 7

Основные характеристики мобильного дуплексера
MDF1-6VH4.5/6 УКВ-диапазона

Наименование параметра	Значение
Диапазон рабочих частот, МГц	152...174
Потери (с подстройкой), дБ, не более	1,3
Частотный разнос TX/RX, МГц	4,5...6
Импеданс, Ом	50
Разъемы	N-мама
Изоляция, дБ, не хуже	80
Изоляция типовая, дБ	90
КСВ, не хуже	1,5
Максимальная проходная мощность, Вт, не более	50
Диапазон рабочих температур с гарантированной стабилизацией, °С	от -30 до +50
Вес, кг	0,885
Габаритные размеры, мм	225 × 156 × 32

Антенна R-F 331 NG 142 – 160 МГц

Антенна предназначена для совместной работы с цифровым ретранслятором *HyteraRD985*. Ее основные характеристики представлены в табл. 8.

Таблица 8

Характеристики антенны R-F 331 NG 142 – 160 МГц

Наименование параметра	Значение
1	2
Электрические характеристики	
Частотный диапазон, МГц	142...160
Сопротивление, Ом	50

1	2
КСВ на резонансной частоте	1,5
Поляризация	вертикальная
Усиление, дБ	3
Мощность, Вт	100
Механические характеристики антенны	
Тип коннектора	<i>N-female</i>
Монтажное отверстие, мм	33...60
Температурный диапазон, °С	-35...+80
Материал	стеклопластик, латунь
Длина, мм	2450
Вес, кг	2,4

Цифровая портативная радиостанция *PD785G*

Цифровая радиостанция *PD785G* (рис. 21) может работать в аналоговом или цифровом режиме и поддерживает различные типы голосовых вызовов, включая персональные вызовы, групповые вызовы, вызовы всех радиостанций и экстренные вызовы, передачу таких данных, как персональные и групповые текстовые сообщения, обеспечивает возможность просмотра данных местоположения *GPS* и отправки текстовых сообщений *GPS*.



Рис. 21. Цифровая портативная радиостанция *PD785G*

Основные характеристики радиостанции *PD785G* представлены в табл. 9.

Общие характеристики радиостанции PD785G

Наименование параметра	Значение
1	2
Диапазон частот, МГц	ОВЧ: 136...174 УВЧ: 400...470
Число каналов связи	1024
Число зон связи	64 (до 16 каналов в каждой зоне)
Разнесение каналов, кГц	25/20/12,5
Рабочее напряжение, В	7,4 (номинальное)
Аккумулятор, мА·ч	2000 (литий-ионный)
Ресурс аккумулятора (литиево-ионный аккумулятор увеличенной емкости 2 000 мА·ч)	в аналоговом режиме: более 10,5 в цифровом режиме: более 14
Устойчивость частоты	±1,5
Полное входное сопротивление антенны, Ом	50
Габаритные размеры (В × Ш × Г) (со стандартным аккумулятором, без антенны), мм	125 × 55 × 37
Масса (со стандартным аккумулятором и с установленной антенной), г	355
Материал корпуса	поликарбонат
ЖК-дисплей	160 × 128 пикселей, 65 535 цветов 1,8 дюйма, 4 строки
Передатчик	
Радиочастотный выход	ОВЧ, высокая мощность – 5 Вт, низкая мощность – 1 Вт УВЧ, высокая мощность – 4 Вт, низкая мощность – 1 Вт
Частотная модуляция	11K0F3E при 12,5 кГц 14K0F3E при 20 кГц 16K0F3E при 25 кГц
Цифровая модуляция 4FSK	12,5 кГц, только передача данных: 7K60FXD 12,5 кГц, передача данных и речевого сигнала: 7K60FXW
Пределы модуляции	±2,5 кГц при 12,5 кГц ±4,0 кГц при 20 кГц ±5,0 кГц при 25 кГц

1	2
ЧМ-шумы	40 дБ при 12,5 кГц 43 дБ при 20 кГц 45 дБ при 25 кГц
Подавление соседнего канала	60 дБ при 12,5 кГц 70 дБ при 20/25 кГц
Искажение звукового сигнала, %	3
Тип цифрового вокодера	AMBE++ или SELP
Приемник	
Чувствительность, мкВ	в аналоговом режиме: 0,22 в цифровом режиме: 0 (при коэффициенте двоичных ошибок 5 %)
Селективность	60 дБ при 12,5 кГц 70 дБ при 20/25 кГц
Нелинейные искажения	70 дБ при 12,5/20/25 кГц
Отношение сигнал/шум	40 дБ при 12,5 кГц 43 дБ при 20 кГц 45 дБ при 25 кГц
Номинальная выходная мощность звукового сигнала, Вт	0,5
Номинальный уровень искажения звукового сигнала, %	3
Чувствительного звукового канала, дБ	от +1 до -3
Кондуктивное паразитное излучение, дБмВт, менее	-57
Условия среды эксплуатации	
Эксплуатационная температура, °С	от -30 до +60
Допустимая температура хранения, °С	-40 до +85
Защищенность от пыли и влаги	категория IP57

Оборудование аналого-цифровых систем профессиональной радиосвязи

Оборудование аналого-цифровых систем профессиональной радиосвязи (далее – оборудование) предназначено для обеспечения радиосвязи в интересах производственной и повседневной деятельности Вооруженных Сил.

Оборудование работает в аналоговом и цифровом режимах, в цифровом режиме – по стандарту *DMR*.

Состав оборудования:

- радиостанции типов РП (РМ), ПР (МР);
- радиостанции типов РР3000, РР985;

- рабочие места на базе ПЭВМ со специализированным программным обеспечением типа «*Smart Dispatch*» или «*TRBONet Enterprise*».

Состав радиостанций типов РП (РМ), ПР(МР):

- приемопередатчик;
- антенна;
- аккумуляторная батарея;
- устройство зарядное;
- комплект эксплуатационной документации.

Основные технические характеристики радиостанций типов РП (РМ), ПР (МР) представлены в табл. 10

Таблица 10

Основные технические характеристики радиостанций типа РП (РМ), ПР (МР)

Наименование параметра	Значение
1	2
Рабочий диапазон частот, МГц: - с платформой <i>VHF</i> - с платформой <i>UHF</i>	146...174 403...470
Номинальное значение мощности передатчика, Вт: - портативных радиостанций - возимых (стационарных) радиостанций	до 5 до 45
Отклонение мощности на выходе передатчика от номинального значения 9 дБ, не более	±1,5
Класс излучения: - для аналогового режима - для цифрового режима	16K0F3E, 11K0F3E 7K60FXW, 7K60FXW
Частный разнос между соседними каналами, кГц: - для аналогового режима - для цифрового режима	25; 20; 12,5 12,5
Мощность в соседнем и альтернативном каналах: - в соседнем канале, не более - в альтернативном канале, не более	60 дБ и 2 мкВт 70 дБ и 2 мкВт
Выходная мощность передатчика, Вт	50/25
Тип модуляции	K0F3E/4FSK
Чувствительность приемника в цифровом режиме, мкВ	0,3
Коэффициент нелинейных искажений, %, не более	3
Интермодуляционные ослабления, дБ, не менее	40

1	2
Максимальная пороговая чувствительность приемника при отношении сигнал/шум 20 дБ, дБмкВ, не более	6
Максимальная пороговая чувствительность приемника при отношении сигнал/шум 12 дБ, дБмкВ, не более	0,3
Избирательность приемника по соседнему каналу, дБ, не менее	70/60
Интермодуляционная избирательность приемника, дБ, не менее	65
Уровень блокирования приемника, дБ, не менее	84
Обеспечение работы с несимметричным антенно-фидерным устройствами с номинальным волновым сопротивлением, Ом	50
Тип модуляции	<i>K0F3E/4FSK</i>
Тип питания	от аккумуляторных батарей и сетей электропитания подвижного (стационарного) объекта

4. ОСНОВЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

4.1. Методика энергетических расчетов радиолинии в КВ-, УКВ-диапазонах

При воздействии любой помехи на подавляемый приемник, в том числе оптимальной, может быть обеспечено различное отношение помеха – сигнал на входе приемника $K = P_{\text{п}} / P_{\text{с}}$, где $P_{\text{п}}$ и $P_{\text{с}}$ – мощности помехи и сигнала на входе подавляемого приемника, попадающие в полосу пропускания приемника.

Одним из условий эффективного подавления радиосвязи является обеспечение требуемого отношения помеха – сигнал на входе подавляемого приемника. Для характеристики этого отношения используют понятие «коэффициент подавления».

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

$$K_{\text{п}} = (P_{\text{п}} / P_{\text{с}})_{\text{min}}. \quad (2)$$

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

- от структуры помехи $Z_{\text{п}}(t)$ – 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;

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

- заданного значения показателя эффективности: $K_{\text{п}}$ 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 $p = 0,1$, для большего значения этой вероятности необходимо большее отношение помеха – сигнал на входе подавляемого приемника:

$$K_{\text{п}}(W = 0,7) < K_{\text{п}}(W = 0,4), \quad K_{\text{п}}(p = 0,01) < K_{\text{п}}(p = 0,1). \quad (3)$$

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, $K_{\text{п.шум}} > K_{\text{п.опт}}$);

- коэффициент подавления канала связи с частотной манипуляцией при вероятности искажения бит информации 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:

$$K = P_{\text{п}} / P_{\text{с}} \geq K_{\text{п}} = (P_{\text{п}} / P_{\text{с}})_{\text{min}} . \quad (4)$$

Если корреспонденты ЛРС (корреспондент 1 и корреспондент 2) расположены друг от друга на расстоянии $D_{\text{с}}$ (дистанции связи), а станция помех (СП) на расстоянии $D_{\text{п}}$ от подавляемого приемника ЛРС (дистанция подавления), то мощности сигнала и помехи на входе подавляемого приемника (при условии их полного попадания в полосу пропускания приемника) определяются выражениями

$$\begin{aligned} P_{\text{с}} &= \frac{P_{\text{п.с}} G_{\text{п.с}} G_{\text{пр.с}} \lambda^2 \gamma}{(4\pi)^2 D_{\text{с}}^2 \varphi(D_{\text{с}})}, \\ P_{\text{п}} &= \frac{P_{\text{п.п}} G_{\text{п.п}} G_{\text{пр.п}} \lambda^2 \gamma}{(4\pi)^2 D_{\text{п}}^2 \varphi(D_{\text{п}})}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $P_{\text{п.с}}$, $P_{\text{п.п}}$ – мощности передатчиков сигнала и помехи;

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

$G_{\text{пр.с}}$, $G_{\text{пр.п}}$ – коэффициенты направленности антенны приемника ЛРС в сторону прихода сигнала от передатчика ЛРС и прихода помехи от передатчика СП;

λ – длина волны;

$\varphi(D_{\text{с}})$, $\varphi(D_{\text{п}})$ – 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).

Подставляя формулу (5) в формулу (4), получим условие эффективного подавления ЛРС

$$K_{\Pi} \leq K = \frac{P_{\text{п.п}} G_{\text{п.п}} G_{\text{пр.п}} D_c^2 \varphi(D_c) \gamma}{P_{\text{п.с}} G_{\text{п.с}} G_{\text{пр.с}} D_{\Pi}^2 \varphi(D_{\Pi})}, \quad (6)$$

которое называют уравнением радиоподавления.

Вариант взаимного расположения станции помех и корреспондентов линии связи представлен на рис. 22.

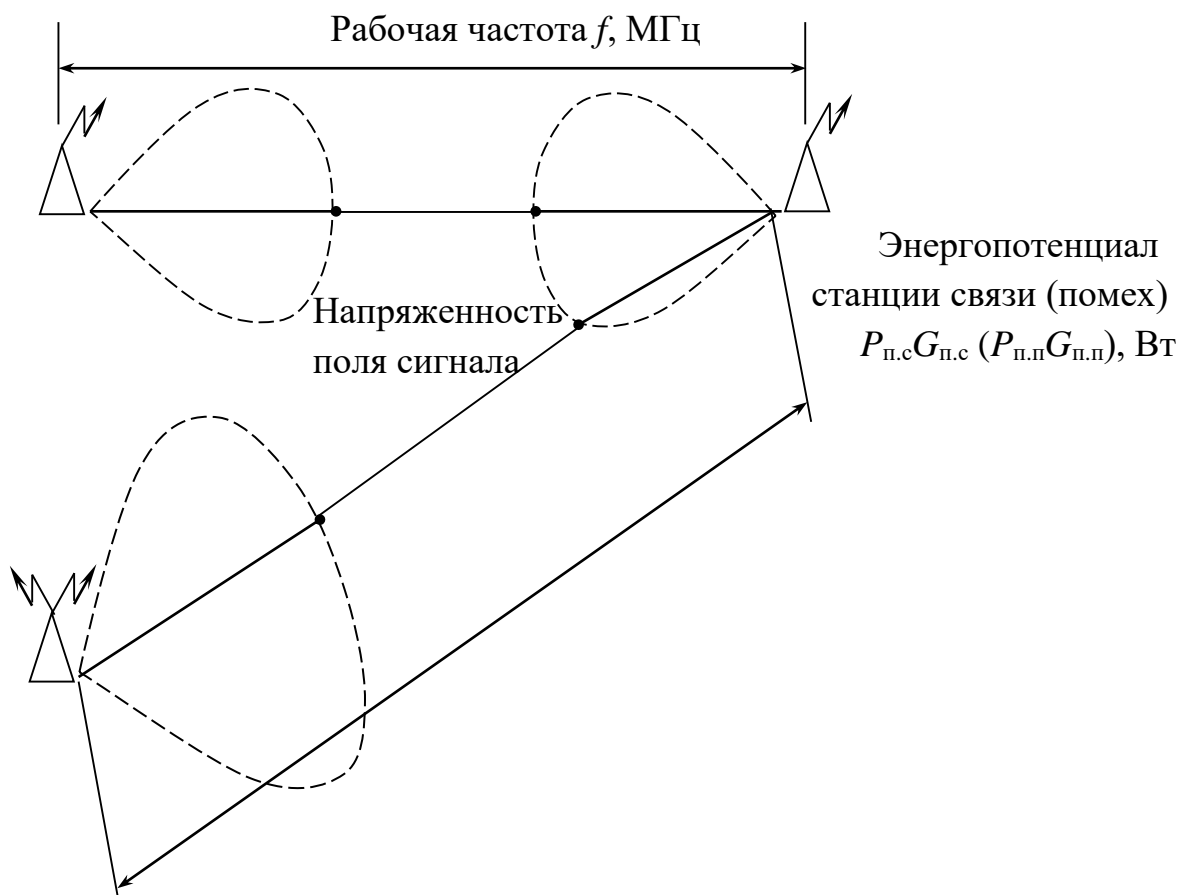


Рис. 22. Вариант взаимного расположения станции помех и корреспондентов линии связи

На рис. 23 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 ($G_{\text{пр.п}} < G_{\text{пр.с}}$);
- при создании помех в СП неизвестно точное направление на приемник ЛРС ($G_{\text{п.п}} < G_{\text{п.с}}$); обычно применяются передающие антенны с достаточно широкими диаграммами (до 120°), охватывающими зону предположительного размещения приемного устройства подавляемой ЛРС.

На рис. 23 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. Оно формируется в условиях недостаточной информации о параметрах сигнала и методах помехозащиты в подавляемом РПУ приемника.

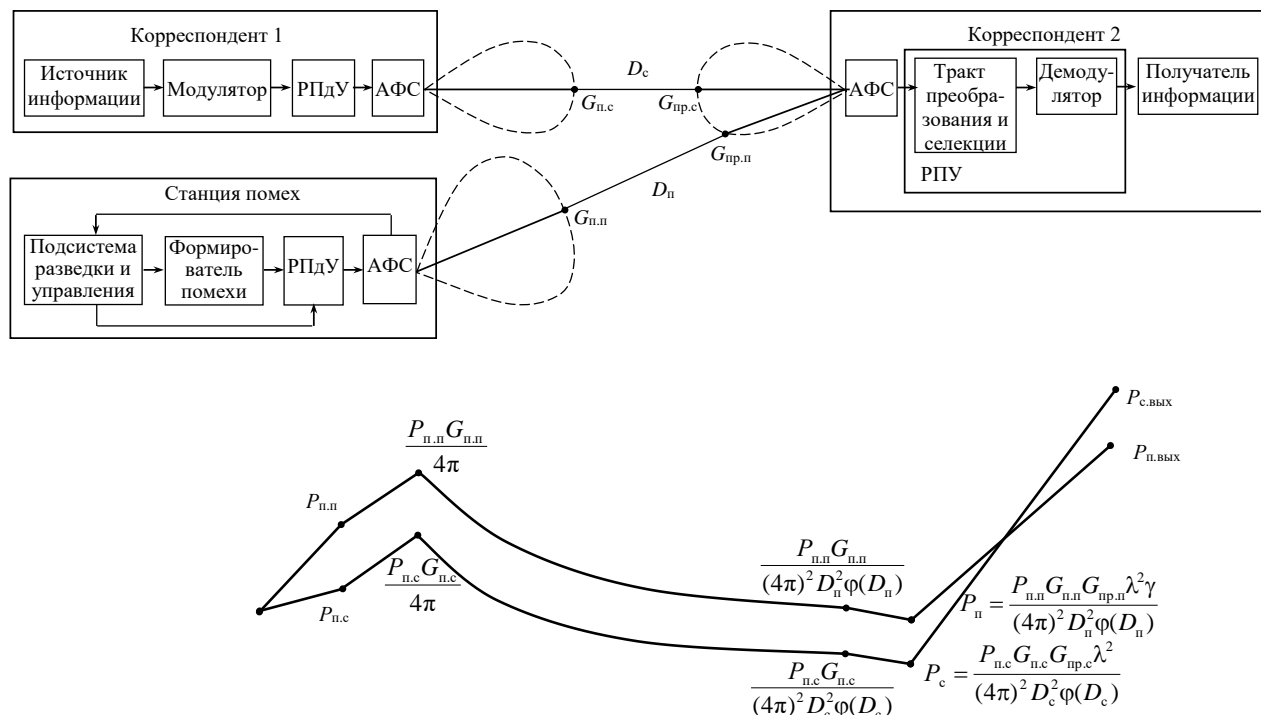


Рис. 23. Диаграммы распределения мощностей сигнала и помехи в подавляемой ЛРС

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).

Прямая задача. Расчет отношения мощностей помехи и сигнала на входе приемника $K = P_{п} / P_{с}$ при известных характеристиках линий радиосвязи и подавления.

Определение по найденному значению K показателя эффективности радиоподавления ПЭ (K) и сравнение его с требуемым значением показателя эффективности ПЭ_{треб} для определения возможности подавления заданного приемника в заданном месте. При этом если ПЭ (K) \geq ПЭ_{треб}, то приемник подавляется, если ПЭ (K) $<$ ПЭ_{треб} – не подавляется.

Обратная задача. Расчет по заданному значению показателя эффективности ПЭ_{зад} требуемого отношения мощностей помехи и сигнала на входе приемника, т. е. коэффициента подавления $K_{п}$ (или требуемого отношения напряженностей поля помехи и сигнала $K_{пE}$). Расчет радиуса зоны подавления $R_{п}$

по найденному значению K_{Π} для определения возможности подавления всех однотипных ЛРС (приемников) в рассчитанной зоне. При этом если радиус зоны подавления больше или равен дистанции подавления ($R_{\Pi} \geq D_{\Pi}$), то приемники подавляются, если $R_{\Pi} < D_{\Pi}$ – 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 ПЭ (K), а на выходе его демодулятора ПЭ ($K_{\text{вых}}$). Для данных приемников при проведении энергетических расчетов необходимо найти промежуточное значение $K_{\text{вых}}$ (K) при решении прямой задачи и $K_{\text{вых}}$ ($\text{ПЭ}_{\text{зад}}$) при решении обратной. Пояснение задач, решаемых методиками энергетических расчетов возможности радиоподавления радиосвязи, представлено на рис. 24.

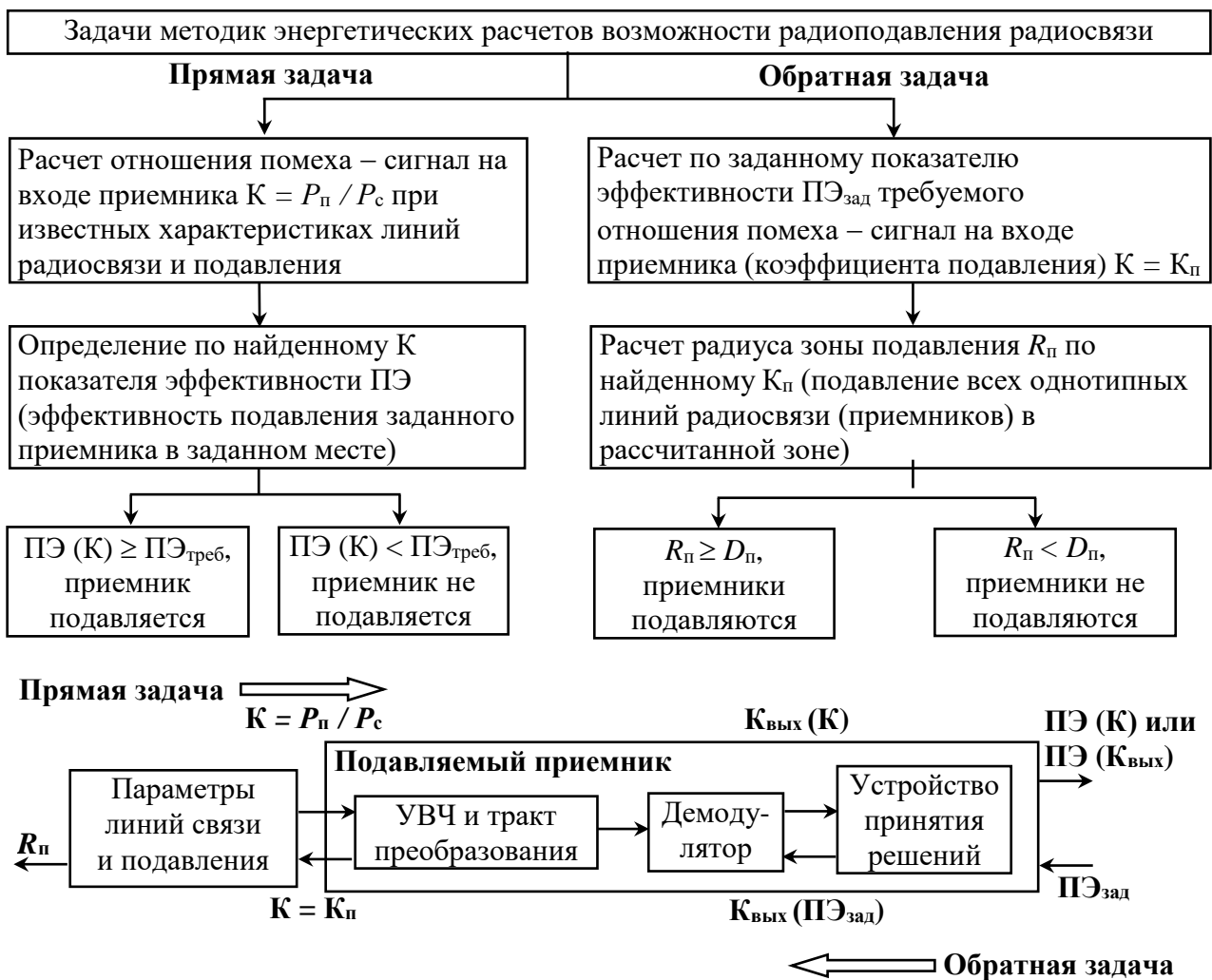


Рис. 24. Задачи, решаемые методиками энергетических расчетов возможности радиоподавления радиосвязи

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.

Ориентировочные значения $K_{\text{п}}$ и $K_{\text{пЕ}} = \sqrt{K_{\text{п}}}$, а также требуемая точность совмещения частот помехи и сигнала для различных видов передач указаны в табл. 11.

Таблица 11

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 ($K_{\text{пЕ}}$)	
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 (2) и (3) 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 при помощи формулы (7), если учесть, что на границе зоны подавления $R_{\text{п}} = D_{\text{п}}$, а коэффициент K становится равным коэффициенту подавления $K_{\text{п}}$:

$$R_{\text{п}}^2 \varphi(R_{\text{п}}) = \frac{P_{\text{п.п}} G_{\text{п.п}} G_{\text{пр.п}} D_{\text{с}}^2 \varphi(D_{\text{с}}) \gamma}{P_{\text{п.с}} G_{\text{п.с}} G_{\text{пр.с}} K_{\text{п}}} \quad (7)$$

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;

- 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;

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

- 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. 25.



Рис. 25. Классификация методик энергетических расчетов возможности радиоподавления радиосвязи

Энергетические расчеты возможности радиоподавления наземной УКВ-радиосвязи

Для определения наличия прямой видимости между передатчиком помех и подавляемым приемником рассчитывается отношение помеха – сигнал на входе подавляемого приемника К с помощью формулы (3), а затем определяется показатель эффективности радиоподавления ПЭ (К) 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

$$D_{\text{пр.вид}} = 4120(\sqrt{l_{\text{п}}} + \sqrt{l_{\text{пр}}}), \quad (8)$$

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

Формула (8) 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 составляет

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

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. 26. Здесь дальность прямой видимости определяется выражением

$$D_{\text{пр.вид}}^* = \min\{0,9 D_{\text{пр.вид}}; D_{\text{пр.вид.к}}\}. \quad (10)$$

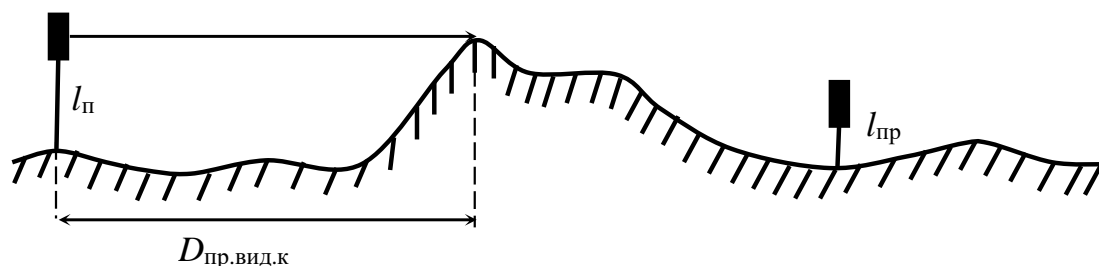


Рис. 26. Ограничение дальности прямой видимости $D_{\text{пр.вид}}^*$ отдельными возвышенностями

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 воспользоваться формулами (3), (4), (5).

2. Рассчитываются коэффициенты ослабления радиоволн на дистанциях подавления и связи с помощью формулы (3) с учетом интерференции прямых и отраженных (от подстилающей поверхности) лучей и эквивалентных эффективных высот антенн:

$$\frac{1}{\sqrt{\varphi(D_c)}} = 2 \left| \sin \frac{2\pi l_c^* l_{\text{пр}}^*}{\lambda D_c} \right|, \quad \frac{1}{\sqrt{\varphi(D_{\text{п}})}} = 2 \left| \sin \frac{2\pi l_{\text{п}}^* l_{\text{пр}}^*}{\lambda D_{\text{п}}} \right|, \quad (11)$$

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

$$l_c^* l_{\text{п}}^* l_{\text{пр}}^* = \sqrt{l_c^2 l_{\text{п}}^2 l_{\text{пр}}^2 + l_0^2}; \quad (12)$$

$l_c^*, l_{\text{п}}^*, l_{\text{пр}}^*$ – высоты поднятия антенн передатчика связи, передатчика помех, подавляемого приемника;

l_0 – минимальная эффективная высота антенны

$$l_0^2 = \left(\frac{\lambda}{2\pi q} \right)^2, \quad q^2 = \begin{cases} \frac{\sqrt{(\varepsilon - 1)^2 + (60\lambda\sigma)^2}}{\varepsilon^2 + (60\lambda\sigma)^2} & \text{при вертикальной поляризации,} \\ \frac{\sqrt{(\varepsilon - 1)^2 + (60\lambda\sigma)^2}}{\varepsilon^2 + (60\lambda\sigma)^2} & \text{при горизонтальной поляризации,} \end{cases} \quad (13)$$

где ε, σ – диэлектрическая проницаемость и проводимость подстилающей поверхности (значения ε, σ для различных типов поверхности приведены в табл. 12).

Таблица 12

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

Схема применяемых обозначений на трассах распространения сигнала и помехи представлена на рис. 27.

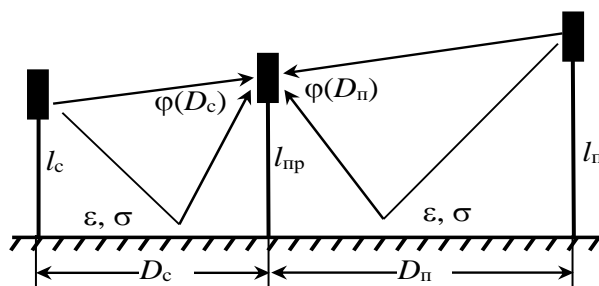


Рис. 27. Схема применяемых обозначений на трассах распространения сигнала и помехи

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

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

Зависимость коэффициента ослабления от дальности представлена на рис. 28.

При расчетах коэффициентов ослабления в дальней зоне, когда $\sin \alpha \approx \alpha$ (при $\alpha < \pi / 9$), формулу (11) можно существенно упростить, приведя к виду формулы Введенского:

$$\frac{1}{\sqrt{\varphi(D_c D_{п})}} \approx \frac{4\pi l_c^* l_{п}^* l_{пр}^*}{\lambda D_c D_{п}} \text{ при } \frac{2\pi l_c^* l_{п}^* l_{пр}^*}{\lambda D_c D_{п}} < \frac{\pi}{9} \text{ или } D_c D_{п} > \frac{18 l_c^* l_{п}^* l_{пр}^*}{\lambda}. \quad (14)$$

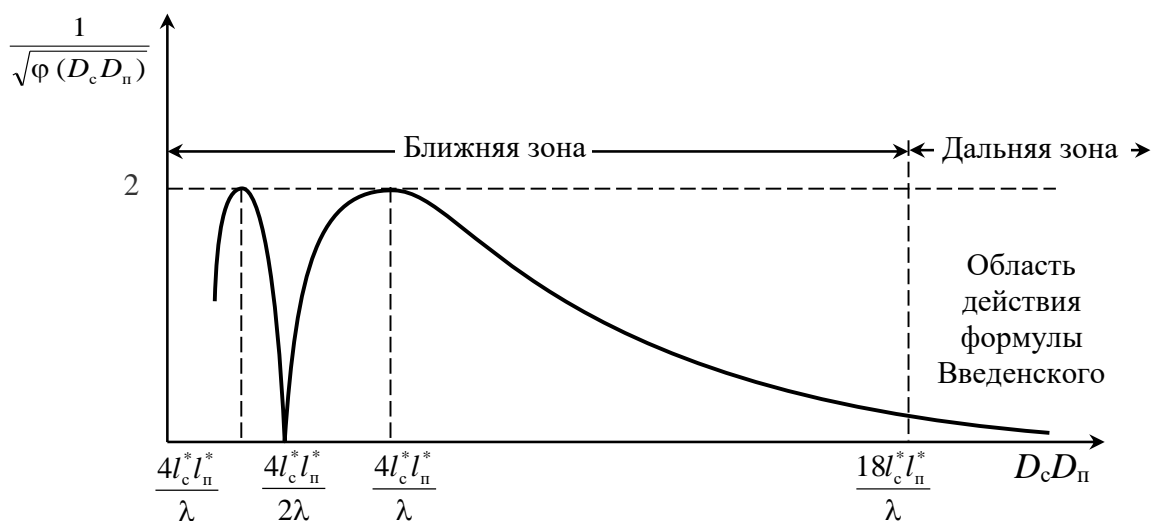


Рис. 28. Зависимость коэффициента ослабления от дальности

В соответствии с формулой (11) коэффициенты ослабления сигнала и помехи на трассах распространения в дальней зоне будут равны

$$\varphi(D_c) \approx \frac{\lambda^2 D_c^2}{16\pi^2 (l_c^*)^2 (l_{пр}^*)^2}, \quad \varphi(D_n) \approx \frac{\lambda^2 D_n^2}{16\pi^2 (l_n^*)^2 (l_{пр}^*)^2}. \quad (15)$$

Из формулы (15) следует, что в дальней зоне для высокоподнятых антенн

$$\varphi(D_c) \approx \frac{\lambda^2 D_c^2}{16\pi^2 l_c^2 l_{пр}^2}, \quad \varphi(D_n) \approx \frac{\lambda^2 D_n^2}{16\pi^2 l_n^2 l_{пр}^2}, \quad (16)$$

для низкоподнятых антенн

$$\varphi(D_c) \approx \frac{\lambda^2 D_c^2}{16\pi^2 l_0^4}, \quad \varphi(D_n) \approx \frac{\lambda^2 D_n^2}{16\pi^2 l_0^4}. \quad (17)$$

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 (15)–(17) необходимо определить зону, в которой происходит распространение радиоволн сигнала и помехи.

3. Определяется отношение помеха – сигнал на входе подавляемого приемника К по формуле (3) с учетом полученных коэффициентов ослабления сигнала $\varphi(D_c)$ и помехи $\varphi(D_n)$, характеристик средств связи и подавления, дистанций связи и подавления.

При расчетах для дальней зоны при подстановке данных из формулы (12) в формулу (3) получим

$$K = \frac{P_{п.п} G_{п.п} G_{пр.п} D_c^2 \varphi(D_c) \gamma}{P_{п.с} G_{п.с} G_{пр.с} D_n^2 \varphi(D_n)} = \frac{P_{п.п} G_{п.п} G_{пр.п} D_c^4 (l_n^*)^2 \gamma}{P_{п.с} G_{п.с} G_{пр.с} D_n^4 (l_c^*)^2}. \quad (18)$$

При расчетах по формулам (3) и (15) возможности радиоподавления телефонной радиосвязи с однополосной модуляцией (ОМ) необходимо иметь в виду, что средняя выходная мощность передатчика связи при излучении сигнала с ОМ $P_{п.с.ОМ}$ связана со средней номинальной мощностью передатчика $P_{п.с}$ (измеряемой при излучении немодулированной несущей) зависимостью

$$P_{п.с.ОМ} = 2 \frac{P_{п.с}}{\Pi^2}, \quad (19)$$

где Π – пик-фактор излучаемого сигнала, который при передаче речи равен 4.

При этом в формулах (2), (3), (4) и (15) вместо значения $P_{п.с}$ необходимо использовать $P_{п.с.ОМ}$.

4. Рассчитывается показатель эффективности ПЭ (К) в зависимости от вида и параметров модуляции сигнала и структуры помехи, определяется степень эффективности радиоподавления радиосвязи.

5. Производится сравнение полученного показателя эффективности ПЭ (К) с требуемым значением $ПЭ_{\text{треб}}$ и принимается решение:

- если $ПЭ (К) \geq ПЭ_{\text{треб}}$, то приемник подавляется;
- если $ПЭ (К) < ПЭ_{\text{треб}}$, 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 AN/VRC-14 ($P_{\text{пр.с}} = 50$ Вт; $G_{\text{п.с}} = G_{\text{пр.с}} = G_{\text{пр.п}} = 1,4$; $l_{\text{с}} = l_{\text{пр}} = 4$ м, поляризация вертикальная), при следующих условиях: $f = 70$ МГц, $D_{\text{с}} = 5$ км; вид передачи – ТЛГ ФМн, передача данных; параметры СП: $P_{\text{п.п}} = 1000$ Вт, $G_{\text{п.п}} = 5$, $l_{\text{п}} = 16$ 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 подавляемым приемником с учетом влияния рельефа по формулам (5), (6):

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

Так как 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 (см. табл. 2) 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 $\lambda_{\text{(м)}} = 300 / f_{\text{(МГц)}} = 4,3$ м и вертикальной поляризации рассчитывается по формулам (10):

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

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

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

3. Для расчета отношения помеха – сигнал на входе подавляемого приемника К с учетом того, что для дистанций связи и подавления выполняются условия дальней зоны ($D_{\text{с}} = 5000 \text{ м} > 18 \cdot 4,4 \cdot 4,4 / 4,3 = 81 \text{ м}$ и $D_{\text{п}} = 20\,000 \text{ м} > 18 \cdot 4,4 \cdot 16 / 4,3 = 295 \text{ м}$), используется формула (15):

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

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

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

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

Методика решения обратной задачи

При решении обратной задачи рассчитывается радиус зоны подавления УКВ-радиосвязи R_{Π}^* и сравнивается с дистанцией подавления D_{Π} 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. Могут быть использованы значения коэффициентов подавления для различных видов связи.

2. Рассчитывается радиус зоны подавления (максимальная дистанция подавления) в общем случае по формуле (4). В случае расчетов для дальней зоны из формулы (15) при строгом равенстве $K = K_{\Pi}$, $D_{\Pi} = R_{\Pi}$ получаем

$$R_{\Pi} = D_{\Pi} \sqrt[4]{\frac{P_{\text{п.п}} G_{\text{п.п}} G_{\text{пр.п}} (l_{\Pi}^*)^2 \gamma}{P_{\text{п.с}} G_{\text{п.с}} G_{\text{пр.с}} (l_{\text{с}}^*)^2 K_{\Pi}}}. \quad (20)$$

В случае радиоподавления телефонной радиосвязи с ОМ необходимо в формулу (14) вместо $P_{\text{п.с}}$ подставить среднюю выходную мощность станций связи $P_{\text{п.с.ОМ}}$, получаемую по формуле (18).

Как правило, антенны передатчиков наземной УКВ-радиосвязи и помех имеют одинаковую (вертикальную) поляризацию ($\gamma = 1$), а приемные антенны не направлены или слабонаправлены ($G_{\text{пр.с}} = G_{\text{пр.п}}$). В этом случае формула (20) примет вид

$$R_{\Pi} = D_{\Pi} \sqrt[4]{\frac{P_{\text{п.п}} G_{\text{п.п}} (l_{\Pi}^*)^2}{P_{\text{п.с}} G_{\text{п.с}} (l_{\text{с}}^*)^2 K_{\Pi}}}. \quad (21)$$

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 (6) или (19), и дальности прямой видимости $D_{\text{пр.вид}}^*$. Реальный радиус зоны подавления находится как наименьшее из этих значений:

$$R_{\text{п}}^* = \min \left\{ R_{\text{п}} ; D_{\text{пр.вид}}^* \right\}. \quad (21)$$

5. Производится сравнение полученного реального радиуса зоны подавления и дистанции подавления и принимается решение:

- 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 ($P_{\text{п.с}} = 200$ Вт; $G_{\text{п.с}} = G_{\text{пр.с}} = G_{\text{пр.п}} = 2$; $l_0 = l_{\text{пр}} = 18$ м, поляризация вертикальная), при следующих условиях: $f = 30$ МГц; $D_{\text{с}} = 15$ км; вид передачи – ТЛФ АМ, $\Pi_{\text{с}} = 2,5$; $M_{\text{с}} = 1$; английская речь; параметры СП – $P_{\text{п.п}} = 1000$ Вт, $G_{\text{п.п}} = 6$, $l_{\text{п}} = 25$ 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 определяется $K_{\text{вых}} = 0,8$. Находим 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 формуле (10) с учетом параметров почвы ($\varepsilon = 10$, $\sigma = 0,01$):

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

Так как $l_{\text{п}} = 25 \text{ м} > 3l_0 = 16,8 \text{ м}$; $l_{\text{с}} = l_{\text{пр}} = 18 \text{ м} > 3l_0 = 16,8 \text{ м}$, 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 из формулы (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 (17) 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 (19) 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 УК-радиосвязи по номограммам

Для определения возможностей радиоразведки и радиоподавления УКВ-линий радиосвязи могут использоваться номограммы для сухой и влажной почвы при вертикальной поляризации радиоволн. На поле 1 номограмм изображаются зависимости напряженности электромагнитного поля сигнала (помехи) на входе приемника от дистанции связи (подавления) и частоты, рассчитанные по формулам

$$E_{\text{с}} = \sqrt{30 P_{\text{п.с}} G_{\text{п.с}} / [D_{\text{с}}^2 \varphi(D_{\text{с}})]}, \quad (23)$$

$$E_{\text{п}} = \sqrt{30 P_{\text{п.п}} G_{\text{п.п}} / [D_{\text{п}}^2 \varphi(D_{\text{п}})]} \quad (24)$$

с учетом формул (7) для *нормативного* энергопотенциала (произведение мощности передатчика на коэффициент усиления антенны) станции связи (помех), равного $P_{\text{п.с}} G_{\text{п.с}} = 1000 \text{ Вт}$ ($P_{\text{п.п}} G_{\text{п.п}} = 1000 \text{ Вт}$).

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* $P_{п.с}G_{п.с}$ ($P_{п.п}G_{п.п}$) станции связи (помех).

Методика определения возможностей радиоразведки и радиоподавления по номограммам

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

Решение

1. Выбирается номограмма, соответствующая типу подстилающей поверхности (сухая почва).

2. Нормативные напряженности поля сигнала $E_{с.норм}$ и помехи $E_{п.норм}$ определяются по графику (поле 1 номограммы), ближайшему к рабочей частоте излучения, для дистанции связи $D_c = 10$ км (сплошная линия) и подавления $D_{п} = 15$ 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 $P_{п.с}G_{п.с} = 1000$ Вт ($P_{п.п}G_{п.п} = 1000$ Вт).

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

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

6. Для оценки возможности радиоподавления линии радиосвязи сравнивается соотношение полученных реальных напряженностей поля помехи и сигнала $K_E = E_{п} / E_c$ с необходимым коэффициентом подавления по напряженности поля $K_{пE}$ для заданного вида передачи. Если $K_E \geq K_{пE}$, то линия УКВ-радиосвязи может быть подавлена ($K_E = 9 / 3 = 3 \geq K_{пE} = 1,1$, линия УКВ-радиосвязи может быть подавлена).

Вместо пп. 3–6 данной методики можно по значениям $E_{с.норм}$ и $E_{п.норм}$ определить искомое значение K_E , преобразовав формулу (5) к виду

$$K = \frac{P_{п.п} G_{п.п} G_{пр.п} E_{п.норм}^2}{P_{п.с} G_{п.с} G_{пр.с} E_{с.норм}^2}, \quad K_E = \sqrt{\frac{P_{п.п} G_{п.п} G_{пр.п}}{P_{п.с} G_{п.с} G_{пр.с}}} \cdot \frac{E_{п.норм}}{E_{с.норм}}.$$

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

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

Рассчитанное значение $p_{ср}$ 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_c (для известной дистанции разведки) с чувствительностью приемника $E_{ч}$. Если $E_c \geq E_{ч}$, то линия УКВ-радиосвязи может быть разведена.

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 примере.

Пример 4. Оценить возможности радиоразведки и радиоподавления станцией помех с мощностью $P_{п.п} = 1000$ Вт типовой УКВ-линии радиосвязи противника в звене «бригада – батальон» в районе с влажной почвой при следующих 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 соответствующий тип подстилающей поверхности и характеристики станции помех (см. табл. 12).

2. Определяется ячейка на пересечении строки, соответствующей назначенному для подавления направлению радиосвязи, и столбца, соответствующего ближайшему значению частоты (табл. 13). 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 $E_c / E_{\text{ч}}$ для главной (первое число) и подчиненной (второе число) радиостанций. Если отношение больше 1, то соответствующий корреспондент радионаправления может быть разведан. Звездочка означает, что отношение меньше 1 и соответствующий корреспондент не может быть разведан. В приведенном примере оба числа больше 1, 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 $K_E \geq K_{\text{пЕ}}$, то соответствующий корреспондент радионаправления может быть подавлен. В приведенном примере вместо левого значения в знаменателе стоит звездочка, следовательно, значение K_E для главной радиостанции меньше 1 и она не может быть подавлена; правое значение $K_E = 1,25 > K_{\text{пЕ}} = 1,1$ – подчиненная радиостанция может быть подавлена.

Таблица 13

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

Направление УКВ-радиосвязи	Мощность излучения р/ст связи, Вт	Дистанция, км			Условия разведки/подавления на частотах			
		связи	разведки (подавления)					
			глав- ной р/ст	подчи- ненной р/ст	30 МГц	40 МГц	60 МГц	75 МГц
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дивизия – бригада	50	15	20	10	*...4,4 4...20	*...2,8 3,9...19,6	*...1,7 9...45	*...1,7 2,2...11,1
Дивизия – батальон разведки и РЭБ	50	10	20	15	*...2 1,8...3,6	*...1,3 1,8...3,6	*...* 2...5,2	*...* 1,3...3,3
Бригада ПА – артдивизион	50	15	25	10	*...4,4 2,6...20	*...2,8 2,1...19,6	*...1,7 2,5...23	*...1,7 2...16,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Батальон разведки и РЭБ – группа СП	20	8	15	10	2...4,4 3,3...8,3	1,3...2,8 2,3...5,6	*...1,7 2,6...4,6	*...1,7 2,5...5
Бригада – батальон	15	5	10	7	4,4...8 *...1,2	2,8...9,4 *...1,25	1,4...3,7 *...1,3	1,4...3,3 *...1,4
КУТА дивизии – КУТА бригады	50	15	20	10	*...4,4 4...20	*...2,8 3,9...19,6	*...1,7 5...23	*...1,7 3,3...16,7
КУТА бригады – ПАН	15	5	10	7	4,4...8 *...1,2	2,8...9,4 *...1,25	1,4...3,7 *...1,3	1,4...3,3 *...1,4

По аналогии с примером 3 для оценки эффективности радиоподавления подчиненной радиостанции заданной помехой 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):

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

Согласно формуле рассчитанное значение p_{cp} соответствует высокой степени эффективности радиоподавления подчиненной радиостанции.

Применимость таблиц ограничивается конкретными типами станций помех и радиостанций, мощности которых приведены в таблице, 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 $\varphi(D_c)$ и $\varphi(D_n)$.

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 $f_{кр}$ (критический угол падения $\varphi_{кр}$) 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 $r_{пов}$ и минимальной дальностью связи пространственной волны, отраженной от ионосферы – $r_{пр}$. Пояснение принципа образования зоны радиомолчания в КВ-диапазоне представлено на рис. 29.

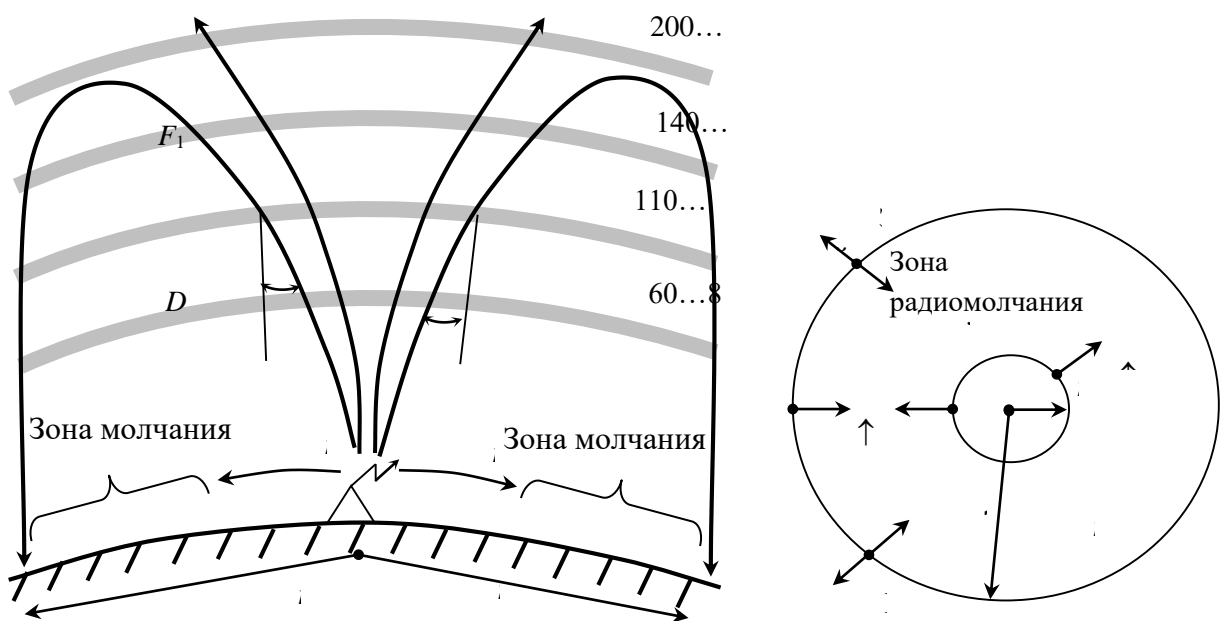


Рис. 29. Пояснение принципа образования зоны радиомолчания в КВ-диапазоне

Расчет возможности радиоподавления наземной КВ-радиосвязи по формулам

Расчет производится в соответствии с формулой (5). 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

$$\frac{1}{\sqrt{\varphi(D_c D_{\Pi})}} = 2 \frac{2 + 0,3x}{2 + x + 0,6x^2}, \quad (23)$$

$$x = \frac{\pi D_c D_{\Pi}}{\lambda} \cdot q^2 = \frac{\lambda D_c D_{\Pi}}{4\pi l_0^2}, \quad (24)$$

где q , l_0 – параметр и минимальная эффективная высота антенны, описываемые выражением (6).

Характеристики разных типов поверхностей приведены в табл. 12.

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

$$\frac{1}{\sqrt{\varphi(D_c D_{\Pi})}} \approx \frac{1}{x} = \frac{4\pi l_0^2}{\lambda(D_c D_{\Pi})}, \quad \varphi(D_c) \approx \frac{\lambda^2 D_c^2}{16\pi^2 l_0^4}, \quad \varphi(D_{\Pi}) \approx \frac{\lambda^2 D_{\Pi}^2}{16\pi^2 l_0^4}, \quad (25)$$

что совпадает с формулой (12) для коэффициентов ослабления УКВ-радиосвязи (низкоподнятые антенны, дальняя зона).

Для применения формулы (14) дистанция связи (подавления) в КВ-диапазоне (для рабочей частоты из середины диапазона) должна быть:

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

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 (13). Тогда отношение помеха – сигнал на входе приемника и радиус зоны подавления при распространении сигнала и помехи поверхностной волной в соответствии с (3) определяются выражениями:

$$K = \frac{P_{\text{п.п}} G_{\text{п.п}} G_{\text{пр.п}} D_c^4 \gamma}{P_{\text{п.с}} G_{\text{п.с}} G_{\text{пр.с}} D_{\Pi}^4}, \quad R_{\Pi} = D_c^4 \sqrt{\frac{P_{\text{п.п}} G_{\text{п.п}} G_{\text{пр.п}} \gamma}{P_{\text{п.с}} G_{\text{п.с}} G_{\text{пр.с}} K_{\Pi}}}. \quad (24)$$

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 ($P_{\text{п.с}} = 40$ Вт; $G_{\text{п.с}} = G_{\text{пр.с}} = G_{\text{пр.п}} = 1,4$; поляризация вертикальная) при следующих условиях: $D_c = 8$ км; вид передачи ТЛФ ОМ; русская речь; $\Pi = 4$; параметры СП – $P_{\text{п.п}} = 1000$ Вт, $G_{\text{п.п}} = 7$; излучается ЧМШ-помеха с вертикальной поляризацией.

Решение

По аналогии с примером 2 по формулам (14) определяется требуемое для полной степени эффективности радиоподавления значение разборчивости речи $W = 0,6$. По зависимости $K_{\text{вых}}(W)$ для шумовой помехи определяется $K_{\text{вых}} = 3,5$. 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

$$P_{\text{п.с.ОМ}} = 2 \cdot 40 / 4^2 = 5 \text{ Вт.}$$

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 отражении от ионосферы и земной поверхности.

Коэффициент ослабления для пространственной волны сигнала (помехи) определяется выражением

$$\frac{1}{\sqrt{\varphi(D_c D_p)}} = \frac{1+R}{4} R^{n-1} \exp(-n\Gamma_c \Gamma_p), \quad (27)$$

где
$$\Gamma_c, \Gamma_p = \frac{A_{\text{сум}}(D_c, D_p, f_{\text{кр}E})}{(f_{[\text{МГц}]} + 0,8)^2} + B_{\text{откл}}(D_c, D_p, H_g) f_{[\text{МГц}]}^2, \quad (28)$$

R – коэффициент отражения от земной поверхности, $R = 0,8$;

n – число «скачков», $n = [D_{[\text{км}]} / 4000] + 1$;

$[*]$ – целая часть числа;

Γ_c, Γ_p – полный интегральный коэффициент поглощения в ионосфере;

$A_{\text{сум}}$ – суммарный коэффициент поглощения в слоях D, E, F_1 ;

$B_{\text{откл}}$ – коэффициент отклоняющего поглощения в слое F_2 .

Коэффициенты $A_{\text{сум}}$ и $B_{\text{откл}}$ определяются по графикам (рис. 30) в зависимости от дистанций связи и подавления (D_c, D_p), критической частоты $f_{\text{кр}E}$ слоя E , высоты H_g слоя F_2 . Последние две характеристики определяются по графикам в зависимости от времени года и суток (рис. 31).

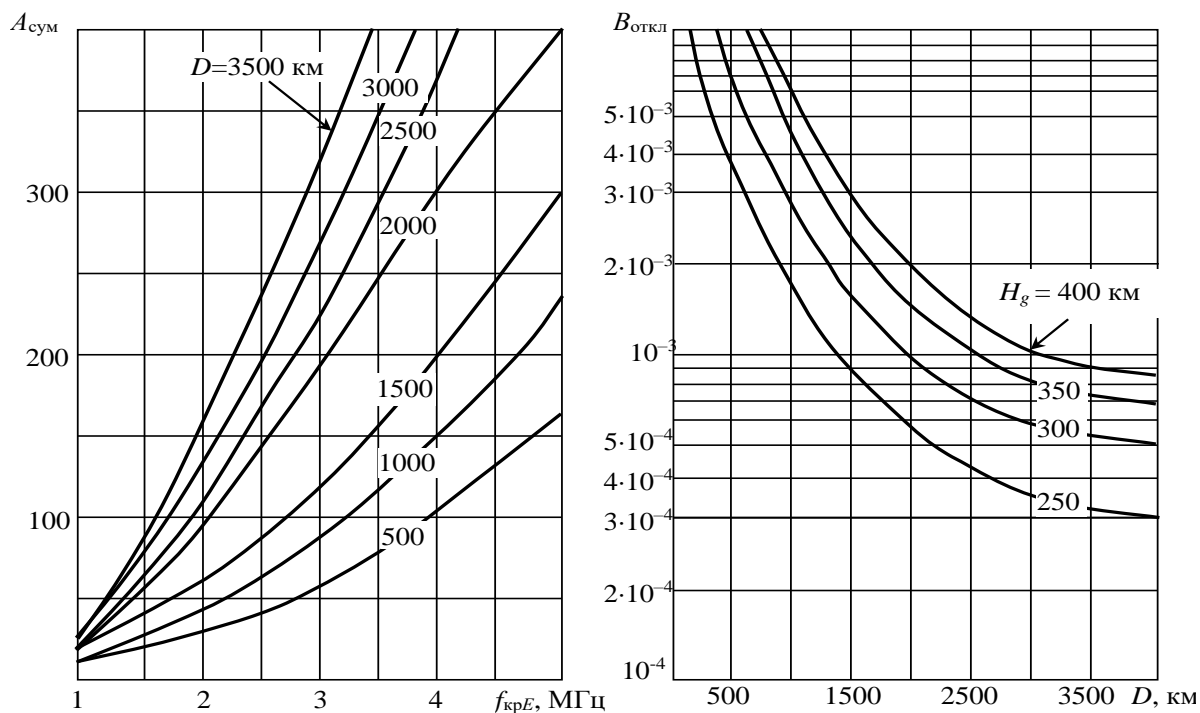


Рис. 30. Зависимости коэффициентов $A_{\text{сум}}$ и $B_{\text{откл}}$ от дистанции связи и подавления (D), критической частоты $f_{\text{кр}E}$ слоя E и высоты H_g слоя F_2

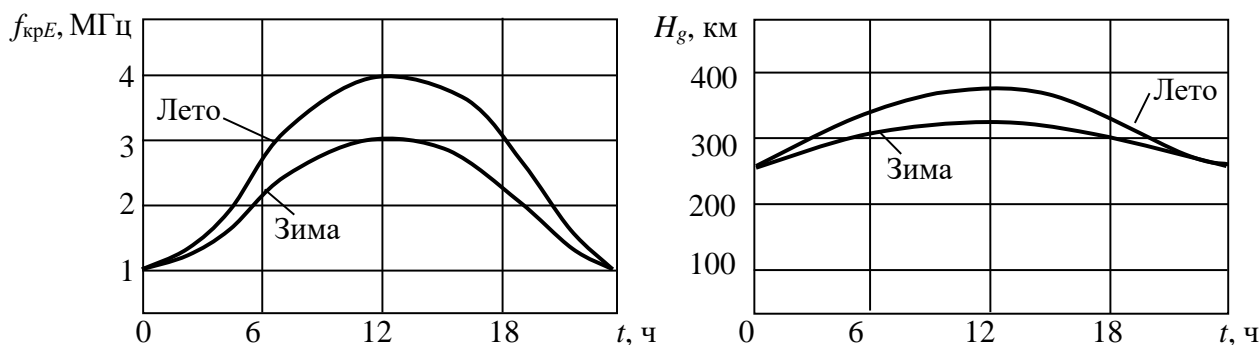


Рис. 31. Зависимости критической частоты $f_{\text{кр}E}$ слоя E и высоты H_g слоя F_2 от времени года и суток

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 ($P_{\text{п.с}} = 200$ Вт, $G_{\text{п.с}} = G_{\text{пр.с}} = G_{\text{пр.п}} = 1,3$), 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 – $P_{\text{п.п}} = 5000$ Вт, $G_{\text{п.п}} = 4$, $D_{\text{п}} = 1500$ км; излучается помеха ХИП ЧТ асинхронная с поляризацией, совпадающей с поляризацией сигнала.

Решение

Из зависимостей на рис. 31 для заданных времени года и суток определяется критическая частота слоя E $f_{крE} = 2$ МГц и высота слоя F_2 $H_g = 300$ км.

Из зависимостей на рис. 30 для дистанций связи и подавления определяются значения коэффициентов $A_{сум} = 30$ и $B_{откл} = 7 \cdot 10^{-3}$ (для сигнала), $A_{сум} = 60$ и $1,7 \cdot 10^{-3}$ (для помехи).

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

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

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

По формуле (27) рассчитываются коэффициенты ослабления сигнала и помехи:

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

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

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:

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

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

Оценка возможностей радиоразведки и радиоподавления наземной КВ-радиосвязи по номограммам

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

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

Решение

1. Выбираются номограммы, наиболее точно 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, 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) для рабочей частоты $f = 5$ МГц.

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

4. Определяется точка на оси $\delta = (E_{п.норм} / E_{с.норм})^2$, 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 $E_{норм}$.

5. Определяется отношение мощностей помехи и сигнала K на входе подавляемого приемника для реальных энергопотенциалов станции помех $P_{п.п}G_{п.п} = 250 \cdot 4 = 1000$ Вт и станции связи $P_{п.с}G_{п.с} = 150 \cdot 1,33 = 200$ Вт путем проведения прямых линий через точки на осях δ и $P_{п.п}G_{п.п}$ до оси $\delta P_{п.п}G_{п.п}$ и через точки на осях $\delta P_{п.п}G_{п.п}$ и $P_{п.с}G_{п.с}$ 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 $K_{п} = 2,5$. Так как $K < K_{п}$, то линия КВ-радиосвязи не подавляется.

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

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

По аналогии с примером 3 для оценки эффективности радиоподавления линии радиосвязи 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), определенной по осям на правой стороне номограмм, с чувствительностью приемника $E_{\text{ч}}$. При этом оси на правой стороне соответствуют: $E_{\text{с.норм}}$ – нормативная напряженность поля сигнала; $P_{\text{п.с}}G_{\text{п.с}}$ – энергопотенциал передатчика связи; $E_{\text{с}}$ – реальная напряженности поля сигнала в точке приема (в примере 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. Определяется критическая частота слоя $E f_{\text{кр}E}$ (см. рис. 23).
2. По номограммам, соответствующим критической частоте $f_{\text{кр}E}$, 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, как и для УКВ-радиосвязи. При пространственном распространении волн следует вначале определить критическую частоту слоя E ионосферы (см. рис. 23).

Расчетные возможности радиоразведки и радиоподавления КВ-линий радиосвязи станцией помех с мощностью $P_{\text{п.п}} = 1000$ Вт поверхностной волной приведены в табл. 14, а пространственной волной станции помех с мощностью $P_{\text{п.п}} = 5000$ Вт – в табл. 15.

Таблица 14

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

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

Таблица 15

Возможности радиоразведки и радиоподавления линий КВ-радиосвязи
пространственной волной станции помех с мощностью $P_{п.п} = 5000$ Вт (вариант)

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

4.2. Методика энергетического расчета спутниковых радиолиний

Одним из этапов проектирования систем спутниковой связи (ССС) является энергетический расчет радиолинии, на основе которого задаются требования к характеристикам земных станций и бортовых ретрансляторов. Энергетический расчет служит также для оценок электромагнитной совместимости (ЭМС) наземных и космических радиослужб, помехозащищенности спутниковых радиолиний и пропускной способности сетей спутниковой связи. Исходными данными для проектирования системы спутниковой связи являются: топология сети спутниковой связи (полнодоступная сеть, «звезда», «вложенные звезды» и т. д.) и географическое расположение оконечных станций, количество элементов сети (земных станций), требуемая скорость и достоверность передачи информации, время установления соединения, требуемая надежность связи. Проектирование сети выполняется в рамках определенных ограничений. Такими ограничениями могут быть: тип бортового ретранслятора космического аппарата связи, координаты подспутниковой точки (точки стояния), координаты точки прицеливания бортовой антенны, диапазон рабочих частот (L -, C -, Ku -диапазоны).

Целью проектирования является оптимальный выбор параметров элементов сети спутниковой связи в рамках заданных ограничений.

Основными параметрами земных станций (ЗС) являются: мощность передатчика, диаметр антенны, потери в фидере, частота на передачу/прием, географические координаты.

Основными параметрами бортового ретранслятора (БР) являются: долгота подспутниковой точки, долгота и широта точки наведения, мощность передатчика, температура шума, форма диаграммы направленности бортовой антенны, полоса частот ствола, уровень ближайшего бокового лепестка, режим работы ретранслятора (жесткий или мягкий). При отсутствии каких-либо ограничений на элементы системы (ЗС, БР) необходимо провести совместную оптимизацию как параметров земной станции, так и параметров бортового ретранслятора, которые обеспечивали бы требуемые характеристики сети спутниковой связи при минимальных затратах в процессе ее развертывания и эксплуатации. Проведение подобной оптимизации предполагает выполнение энергетического расчета для каждой конкретной радиолинии сети спутниковой связи и нахождение приемлемого варианта построения сети с выбранным типом БР и различными типами ЗС. При этом необходимо контролировать выполнение условий электромагнитной совместимости. С учетом сложности поставленной задачи требуется автоматизация выполнения расчетов.

Методика расчета основных характеристик спутниковых радиолиний основана на использовании рекомендаций Международного консультативного комитета по радиосвязи (МККР) и адаптирована для решения задач на ПЭВМ. В соответствии с данной методикой расчеты производятся в следующей последовательности.

1. Рассчитывается мощность сигнала на входе приемника бортового ретранслятора $P_{\text{вх.б}}$. При этом учитываются географические координаты передающей станции спутниковой связи, параметры орбиты спутника-ретранслятора, углы взаимной ориентации главных лепестков диаграмм направленности наземной и бортовой антенн, а также дополнительные потери, возникающие при распространении сигнала в атмосфере.

Вычисление мощности сигнала на входе бортового ретранслятора производится по соотношению

$$P_{\text{вх.б}} = P_{\text{пд.зс}} + G_{\text{пд.зс}}(\Delta\gamma) - b_{\text{пд.зс}} - 20\lg\left(\frac{4\pi d}{\lambda_p}\right) + G_{\text{пр.б}}(\Delta\Omega) - b_{\text{пр.б}} - A_{\text{а.о}} - A_{\text{д}}(T), \quad (29)$$

где $P_{\text{пд.зс}}$ – мощность передатчика ЗС (дБВт);

$G_{\text{пд.зс}}$ – коэффициент направленного действия передающей антенны земной станции (дБВт), в направлении на спутник-ретранслятор, зависящий от диаметра зеркала $D_{\text{а.зс}}$ антенны ЗС, коэффициента использования площади раскрытия антенны, относительной точности изготовления антенны k и рабочей длины волны;

$\Delta\gamma$ – угол между направлением максимального излучения антенны ЗС и направлением на спутник, характеризующий ошибку наведения антенны;

$b_{\text{пд.зс}}$ – потери в передающем фидере ЗС (дБ);

d – расстояние между земной станцией и спутником (м);

λ_p – рабочая длина волны (м);

$G_{\text{пр.б}}$ – коэффициент направленного действия приемной антенны бортового ретранслятора в заданном направлении (дБ) зависящий от величины осей эллипса сечения диаграммы направленности на уровне 3 дБ и формы диаграммы направленности (ДН) антенны;

$\Delta\Omega$ – угол между направлением ориентации приемной антенны спутника и направлением на земную станцию, зависящий от географической широты φ и долготы ψ земной станции спутниковой связи, параметров орбиты (высоты H и координат подспутниковой точки $\varphi_{\text{п}}$ и $\psi_{\text{п}}$), а также координат точки прицеливания бортовой антенны спутника-ретранслятора $\varphi_{\text{ц}}$ и $\psi_{\text{ц}}$;

$b_{\text{пр.б}}$ – потери в приемном фидере бортового ретранслятора (дБ);

$A_{\text{а.о}}$ – потери в атмосфере в кислороде и водном паре (дБ);

$A_{\text{д}}(T)$ – потери в дожде (дБ), превышаемые в течение T % времени. Дополнительные потери в основном определяются поглощением в атмосфере и поляризационными потерями. Они зависят от угла места θ и климатического района, в котором расположена земная станция, а также от рабочей частоты передачи и приема.

2. Рассчитывается отношение сигнал/шум на входе бортового приемника спутника-ретранслятора $g_{\text{вх.б}}$. Для этого необходимо воспользоваться формулой

$$g_{\text{вх.б}} = P_{\text{вх.б}} - 10\lg(kT_{\text{шб}}\Delta F_{\text{с.эф.ф}}) \quad (30)$$

или

$$g_{\text{вх.б}} = P_{\text{вх.б}} - 10\lg T_{\text{шб}} - 10\lg \Delta F_{\text{с.эф.ф}} - 228,6, \quad (31)$$

где $k = 1,38 \times 10^{-23}$ Дж/град – постоянная Больцмана;

$T_{\text{ш.б}}$ – шумовая температура (К), приведенная ко входу бортового приемника;

$\Delta F_{\text{с.эф.ф}}$ – полоса частот, согласованная с шириной спектра излученного сигнала.

3. Рассчитывается мощность сигнала на входе приемника земной станции спутниковой связи $P_{\text{вх.зс}}$. Расчет мощности сигнала выполняется согласно выражению

$$P_{\text{вх.зс}} = P_{\text{пд.б}} + G_{\text{пр.зс}}(\Delta\gamma) - b_{\text{пд.б}} - 20\lg\left(\frac{4\pi d}{\lambda_p}\right) + \\ + G_{\text{пд.б}}(\Delta\Omega) - b_{\text{пр.зс}} - A_{\text{а.о}} - A_{\text{д}}(T), \quad (32)$$

где $P_{\text{пд.б}}^*$ – эффективно используемая для передачи полезных сигналов мощность бортового передатчика (дБВт), вычисляемая в соответствии с выражением

$$P_{\text{пд.б}}^* = 10\lg[P_{\text{пд.б}} \eta_{\text{пд.б}}(1 - \alpha_{\text{нел}})]; \quad (33)$$

$P_{\text{пд.б}}$ – мощность передатчика бортового ретранслятора (Вт), определяемая режимом его работы (насыщение, снижение мощности на x дБ);

$G_{\text{пд.б}}(\Delta\Omega)$ – коэффициент направленного действия передающей антенны бортового ретранслятора в направлении на приемную ЗС (дБ), зависящий от величины осей эллипса сечения диаграммы направленности на уровне -3 дБ и формы ДН антенны;

$\Delta\Omega$ – угол между направлением ориентации приемной антенны спутника и направлением на земную станцию, зависящий от географических широты φ и долготы ψ земной станции спутниковой связи, параметров орбиты (высоты H и координат подспутниковой точки $\varphi_{\text{п}}$ и $\psi_{\text{п}}$), а также координат точки прицеливания бортовой антенны спутника-ретранслятора $\varphi_{\text{ц}}$ и $\psi_{\text{ц}}$;

$B_{\text{пд.б}}$ – потери в передающем фидере бортового ретранслятора (дБ);

$G_{\text{пр.зс}}(\Delta\gamma)$ – коэффициент направленного действия приемной антенны земной станции в направлении на спутник-ретранслятор (дБ), зависящий от диаметра зеркала $D_{\text{а.зс}}$ антенны ЗС, коэффициента использования площади раскрытия антенны V , относительной точности изготовления антенны k и рабочей длины волны;

$\Delta\gamma$ – угол между направлением максимума ДН антенны ЗС и направлением на спутник, характеризующий ошибку наведения антенны;

$b_{\text{пр.зс}}$ – потери в приемном фидере ЗС (дБ);

d – расстояние между земной станцией и спутником (м);

λ_p – рабочая длина волны (м);

$A_{\text{а.о}}$ – потери в атмосфере (в кислороде и водяном паре) (дБ);

$A_{\text{д}}(T)$ – потери в дожде (дБ), превышаемые в течение $T\%$ времени;

$\eta_{\text{пд.б}}$ – коэффициент полезного действия (КПД) передатчика бортового ретранслятора;

$\alpha_{\text{нел}}$ – доля продуктов нелинейных искажений, определяемая режимом работы ретранслятора и расстановкой частот в полосе ствола.

4. Оценивается мощность шума в полосе, согласованной с шириной спектра излученного сигнала $P_{\Sigma \text{ш.зс}}$, и рассчитывается отношение сигнал/шум $g_{\text{вх.зс}}$ на входе демодулятора приемника земной станции спутниковой связи с заданными географическими координатами, т. е. на трассе «борт – Земля». Для расчета отношения сигнал/шум на входе приемника ЗС необходимо воспользоваться формулой

$$g_{\text{вх.зс}} = P_{\text{вх.зс}} - P_{\Sigma \text{ш.зс}}. \quad (34)$$

Суммарная мощность шумов, приведенная ко входу приемника ЗС определяется формулой

$$P_{\Sigma \text{ш.зс}} = 10 \lg(P_{\text{ш.зс}} + P_{\text{ш.пер}} + P_{\text{ш.нел}}), \quad (35)$$

где $P_{\text{ш.зс}}$ – мощность шумов (Вт), приведенная ко входу приемника ЗС;

$P_{\text{ш.пер}}$ – мощность шумов (Вт), переизлученных бортовым ретранслятором и попадающих в полосу основной селекции приемника ЗС;

$P_{\text{ш.нел}}$ – мощность шумов, возникающих за счет продуктов нелинейных преобразований при многосигнальном воздействии на бортовой ретранслятор, приведенная ко входу приемника ЗС.

5. Находится суммарное отношение сигнал/шум на трассе «Земля – борт – Земля» $g_{\Sigma \text{зс}}$, приведенное ко входу демодулятора приемника земной станции спутниковой связи. Для этого используются результаты, полученные в пп. 2 и 4, и соотношение

$$g_{\Sigma \text{зс}} = \left[\frac{1}{g_{\text{вх.б}}} + \frac{1}{g_{\text{вх.зс}}} \right], \quad (36)$$

параметры которого вычисляются в соответствии с выражениями (31) и (34).

6. При использовании N независимых сигналов, проходящих через нелинейный ретранслятор:

1) мощность бортового передатчика перераспределяется между входными сигналами (при равных мощностях входных сигналов распределяется поровну);

2) часть мощности бортового передатчика расходуется на переизлучение шумов, а также продуктов нелинейных искажений;

3) продукты нелинейных искажений создают дополнительные помехи в каждом из N каналов. Если доля продуктов нелинейных искажений $\alpha_{\text{нел}}$, зависящая от режима работы ретранслятора и расстановки частот в полосе ствола, определена, то мощность бортового ретранслятора, используемая для передачи полезных сигналов (Вт), равна

$$P_{\text{пд.б}}^* = P_{\text{пд.б}} \eta_{\text{пд.б}} (1 - \alpha_{\text{нел}}). \quad (37)$$

Более удобной для расчетов является логарифмическая мера. С учетом этого мощность бортового ретранслятора, используемая для передачи полезных сигналов (дБВт), равна

$$P_{\text{пд.б}}^* = P_{\text{пд.б}} + \eta_{\text{пд.б}} + \lg 10(1 - \alpha_{\text{нел}}). \quad (38)$$

В соответствии с данной методикой разработана программа, написанная на языке *Delphi 3*. Программа позволяет исследовать влияние параметров отдельных устройств, входящих в состав ЗС и БР, на системные характеристики и характеристики сетей спутниковой связи, производить оценку ЭМС и помехозащищенности космических радиолиний. Тем самым, с помощью варьирования параметров системы, появляется возможность добиваться максимума значения целевой функции.

Данная методика энергетического расчета спутниковых радиолиний, адаптированная для решения задач на ПЭВМ, позволяет получить точность, вполне достаточную для решения прикладных инженерных задач. Это дает возможность обоснованно выбирать тип бортового ретранслятора и оптимизировать параметры земных станций, обеспечивающие информационный обмен в сетях спутниковой связи при заданных скоростях передачи информации и качестве связи. Методика может быть использована для оценки помехозащищенности спутниковых радиолиний и ЭМС наземных и космических радиослужб.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АОИС	аппаратура информационных сигналов
АОСС	аппаратура обработки спецсигналов
АПН	аппаратура программного наведения
АПЧ	автоматическая подстройка частоты
АРУ	автоматическая регулировка усиления
АТ	аттенюатор
АТС	автоматическая телефонная станция
АФС	антенно-фидерная система
АЧХ	амплитудно-частотная характеристика
БС	базовая станция
ВПУ	воздушный пункт управления
ВУМ	выходной усилитель мощности
ВЧ	высокочастотный
ДМ	датчик мощности
ДН	диаграмма направленности
ДОМ	датчик отраженной мощности
ДП	дистанционное питание
ДП	диспетчерский пульт
ДУ	дистанционное управление
ЗС	земная станция
ИКМ	импульсно-кодовая модуляция
КА	комплект абонентский
КА	космический аппарат
КПД	коэффициент полезного действия
ЛБВ	лампа бегущей волны
МД	модуль доступа
НО	направленный ответвитель
НЧ	низкочастотный
ОБПФ	обратное быстрое преобразование Фурье
ОПУ	опорно-поворотное устройство
ОСБ	обработка сигналов на борту
ОТР	оперативно-тактические ракеты
ОФТ	относительная фазовая телеграфия
ОЦС	оперативный центр сектора
ПАН	передовой авиационный наводчик
ПД	поляризационный дуплексер
ПМР	профессиональная мобильная радиосвязь

ППРЧ	псевдослучайная перестройка рабочей частоты
ППУ	приемопередающее устройство
ПРЧ	преобразователь частоты
ПУО	пункт управления и оповещения
ПУМ	предварительный усилитель мощности
ПФ	полосовой фильтр
ПЭ	показатель эффективности
ПЭВМ	персональная электронная вычислительная машина
РПДУ	радиопередающее устройство
РПУ	радиоприемное устройство
РРУ	ручная регулировка усиления
РС	ретранслятор связи
РЭБ	радиоэлектронная борьба
СВЧ	сверхвысокая частота
СНЛ	соединительные наземные линии
СП	станция помех
СПД	сеть передачи данных
СР	спутниковый ретранслятор
ССС	система спутниковой связи
СЧ	синтезатор частот
ТГ	телеграфный
ТфОП	телефонная сеть общего пользования
УБС	управление, блокировка и сигнализация
УВЧ	усилитель высокой частоты
УКВ	ультракороткие волны
УМ	усилитель мощности
УПЧ	усилитель промежуточной частоты
УУ	устройство управления
ФМ	фазоманипулированный сигнал
ФМ-Ш	фазоманипулированный широкополосный сигнал
ЦАП	цифроаналоговый преобразователь
ЦЗС	центральная земная станция
ЦУП	центр управления
ЦУС	центральный узел связи
ЧТ	частотная
ШС	широкополосный сигнал

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Эффективность системы военной связи / И. О. Мачихо [и др.]. – Минск : БГУИР, 2017. – 102 с. : ил.
2. Абламейко, С. В. Спутниковые системы связи / С. В. Абламейко, В. А. Саечников, А. А. Спиридонов – Минск : БГУ, 2012. – 146 с.
3. Липкович, Э. Б. Системы и устройства спутникового мультимедийного вещания и интерактивной связи / Э. Б. Липкович. – Минск : БГУИР, 2020. – 308 с. : ил.