

## РАЗДЕЛ 2

### РАДИО СЕТИ С КОММУТАЦИЕЙ КАНАЛОВ

#### 2.1. СЕТИ ДЕКАМЕТРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

Возвращаясь к описанным выше тенденциям в развитии радиосвязи, следует отметить, что глобальность исторически первыми (благодаря используемым диапазонам декаметровых волн) реализовали такие системы, как магистральная КВ-радиосвязь и системы связи с морскими подвижными объектами (МПО).

Расстояние, на котором возможно осуществление радиосвязи, зависит от выбранной частоты, мощности передатчика, типа и размещения антенной системы, чувствительности приемника, условий распространения радиоволн. Для конкретного оборудования радиосвязи основным фактором, определяющим дальность связи, является выбранная частота (длина волны).

Как известно, радиоволны распространяются двумя путями: непосредственно вдоль земной поверхности (поверхностные волны) и под углом к поверхности земли (пространственные волны). Поверхностные радиоволны распространяются на большие расстояния за счет дифракции, т.е. способности радиоволн огибать кривизну земли. Пространственные радиоволны — это радиоволны, которые или отражаются от ионосферы и возвращаются на землю, или уходят в космическое пространство.

Атмосфера состоит из следующих частей: нижняя, наиболее плотная часть называется тропосферой (10÷12 км), выше расположена стратосфера (12÷60 км), далее находится ионосфера (60÷400 км). Ионосфера характеризуется очень малой плотностью газа, молекулы которого под действием солнечной радиации ионизируются. Ионизированный газ обладает свойством электропроводности и может отражать радиоволны.

Ионосфера состоит из четырех максимумов ионизации, называемых условно слоями и обозначаемых D (50÷60 км), E (90÷130 км), F1 (200÷300 км) и F2 (300÷400 км). Ионизация различна в летнее и зимнее время и изменяется в течение суток. Слои D и E существуют только в дневное время. Более низкие частоты отражаются нижними слоями ионосферы, а более высокие частоты проходят сквозь нижние и отражаются более высокими слоями. Радиоволны будут отражаться только в том случае, если частота не будет превышать некоторого определенного значения, называемого критической частотой  $f_{кр}$ . Волны, частота которых выше критической, не отражаются от ионосферы, а пронизывают этот слой. Частоты выше 30 МГц проходят сквозь все слои атмосферы.

Гектометровые волны (СВ) распространяются с заметным поглощением энергии землей и ионосферой (слой D). Поэтому дальность действия гектометровых волн значительно зависит от времени суток и времени года. В ночное время радиоволны отражаются от слоя F, поэтому сигналы принимаются как за счет поверхностных, так и за счет пространственных волн. На условия распространения СВ влияет также время года. Это объясняется тем, что, во-первых, поглощение СВ при отражении от

ионосферы в зимнее время уменьшается, так как уменьшается ионизация нижних слоев ионосферы, и, во-вторых, в летние месяцы значительно возрастает влияние атмосферных помех. Средние волны в основном используются для связи на расстоянии до 100÷150 миль.

Декаметровые волны (КВ) распространяются так же, как и СВ, с помощью поверхностного и пространственного излучений. На условия распространения КВ большое влияние оказывает время суток, время года, одиннадцатилетний период солнечной активности и географическое расположение линий радиосвязи. В дневное время более низкие частоты КВ-диапазона сильно поглощаются слоями D и E, а ночью, когда ионизация слабее, более высокие частоты слабо отражаются от слоя F, проходя сквозь него. Поэтому для связи днем используют более высокие частоты (8÷12 МГц), а ночью — более низкие (2÷8 МГц).

Особенность распространения КВ зависит также от возникновения особых явлений, к которым относятся замирание радиосигналов и наличие зон молчания; радиосвязь может также нарушиться из-за возмущений в ионосфере. Наибольшее число ионосферных возмущений происходит вблизи магнитных полюсов. Короткие волны используются для дальней связи.

Специфические географические условия России, среди которых, прежде всего, выделяются следующие: значительная протяженность территории, наличие отдаленных и трудно осваиваемых регионов, близость к приполярным районам и акваториям Мирового океана, существенно ограничивают возможность применения линий электропроводной, радиорелейной, тропосферной и спутниковой связи. В этих условиях важное значение для решения проблемы обеспечения передачи различных видов информации между удаленными на значительные расстояния пунктами отводится магистральной декаметровой радиосвязи. Такие достоинства КВ-радиосвязи, как возможность ведения связи на любые расстояния при минимальных энергетических и эксплуатационных затратах определяют ее дальнейшее использование и развитие в Единой сети электросвязи России.

Вместе с тем ограниченная частотная емкость декаметрового диапазона, значительная загруженность этого диапазона различного рода помехами, среди которых преобладающее влияние оказывают станционные помехи, существенная зависимость радиосвязи от условий распространения радиоволн, наличие многолучевости, а также замираний сигналов обуславливают поиск путей дальнейшего развития и совершенствования магистральной КВ-радиосвязи и МПО.

### **2.1.1. МАГИСТРАЛЬНАЯ КВ-РАДИОСВЯЗЬ**

Реализация магистральной КВ-радиосвязи в телекоммуникационном компоненте Единой сети электросвязи России осуществляется с помощью магистральной сети радиосвязи, представляющей собой технологическую систему, состоящую из линий и каналов декаметровой радиосвязи, радиоцентров (узлов радиосвязи), связывающих между собой узлы центров субъектов Российской Федерации и узлы центра страны. Основным

назначением магистральной сети радиосвязи является своевременная и достоверная передача оперативных сообщений пользователям в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов (изменчивость условий распространения радиоволн, ионосферные возмущения и изменения, сложная помеховая обстановка). К магистральной сети радиосвязи предъявляются высокие требования по показателям постоянной готовности, устойчивости и пропускной способности. Указанные обстоятельства обуславливают преимущественное использование в магистральной сети радиосвязи радиоканалов, образованных с помощью ионосферных волн.

Магистральная сеть радиосвязи включает комплекс технических средств, который обеспечивает:

- преобразование первичных электрических сигналов в радиосигналы и обратное преобразование радиосигналов в первичные электрические сигналы;
- передачу и прием радиосигналов;
- контроль и измерение параметров сигналов и оборудования;
- управление сетью радиосвязи;
- электроснабжение узлов и станций сети радиосвязи.

Магистральная сеть радиосвязи образуется магистральными узлами декаметровых волн (рис. 2.1), которые соединяются между собой магистральными линиями радиосвязи.

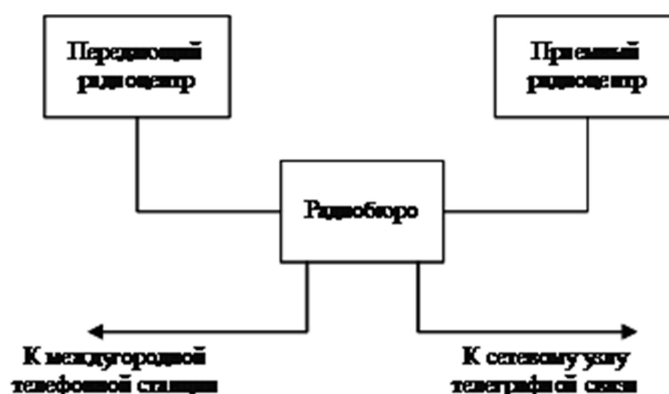


Рис. 2.1.

Магистральный узел декаметровых волн включает в себя территориально разнесенные:

- передающие радиочлены (радиостанции);
- приемные радиочлены (радиостанции);
- радиобюро.

Передающий радиочлен представляет собой комплекс организационных и технических средств, предназначенных для формирования высокочастотных трактов передачи, преобразования первичных электрических сигналов в радио-сигналы и их излучения в виде электромагнитных волн в заданных пространственных направлениях.

Приемный радицентр представляет собой комплекс организационных и технических средств, предназначенных для формирования приемных высокочастотных трактов, приема электромагнитных волн с заданных пространственных направлений, преобразования радиосигналов в первичные электрические сигналы и передачи их потребителям.

Высокочастотный тракт ПДРЦ и ПРЦ образуется средствами радиосвязи и вспомогательной аппаратурой, обеспечивающими передачу радиосигнала соответственно от радиопередатчика до передающей антенны и от приемной антенны до радиоприемника.

Радиобюро представляет собой комплекс технических средств, обеспечивающих распределение, контроль и коммутацию трактов передачи и приема первичных электрических сигналов между потребителями информации, передающим и приемным радицентрами. Кроме того, радиобюро управляет техническими средствами приемного и передающего радицентров. Радиобюро соединяется с ПДРЦ и ПРЦ кабельными и радиорелейными линиями связи.

Потребителями каналов связи, образованных магистральными узлами декаметровых волн, являются междугородные телефонные станции и сетевые узлы телеграфной связи, как элементы общей магистральной сети I класса. Магистральные узлы располагаются вблизи столиц республик, а также областных и краевых центров РФ. При этом радиобюро, как правило, размещается либо совместно с сетевым узлом магистральной сети, либо вблизи него и соединяется с сетевым узлом каналами связи.

Радиоканалы магистральной сети должны иметь стандартные стыки для построения каналов передачи, образованных различными родами связи, при этом их качественные показатели должны соответствовать установленным нормам.

Управление магистральной сетью радиосвязи осуществляет система оперативно-технического управления междугородными связями, в которой все процессы управления выполняет оперативно-технический персонал ее подразделений. На первом уровне управление сетью осуществляется специальными подразделениями, в том числе основным и запасным пунктами управления главного центра управления междугородными связями. Головным предприятием на магистральных линиях КВ-связи является производственное объединение радиосвязи, где организуется круглосуточная диспетчерская служба магистральных радиосвязей, которая осуществляет оперативное руководство всеми основными магистральными линиями связи. На втором уровне управление осуществляется командно-диспетчерскими пунктами, входящими в состав узлов декаметровых волн.

Сообщения, передаваемые в сети магистральной радиосвязи, в зависимости от содержащейся в них информации, подразделяются на три класса.

К 1-му классу сообщений относятся:

- сообщения автоматизированных систем управления специальных потребителей;

- сообщения специальных абонентов;
- сообщения Министерства обороны и Федеральной службы безопасности;
- сообщения, связанные с безопасностью движения;
- данные для управления технологическими процессами.

К линиям радиосвязи, осуществляющим передачу сообщений 1-го класса, предъявляются повышенные требования по коэффициенту готовности, средним длительностям между сбоями радиосвязи и отказами технических средств, а также восстановления отказов. В частности, коэффициент готовности таких радиолиний, характеризующий степень способности радиосредств к достоверной и своевременной передаче информации, должен составлять не менее 0,999.

Ко 2-му классу сообщений относятся:

- данные, передаваемые между вычислительными центрами, и часть данных, передаваемых от абонентских пунктов к вычислительным центрам;
- сообщения Министерства обороны и Федеральной службы безопасности, не относящиеся к сообщениям 1-го класса.

К линиям радиосвязи, осуществляющим передачу сообщений 2-го класса, предъявляются менее жесткие требования по обеспечению радиосвязи. Так, например, коэффициент готовности таких радиолиний к достоверной и своевременной передаче информации должен быть не менее 0,99.

К 3-му классу относятся все другие сообщения, при передаче таких сообщений допускается задержка на длительность восстановления связи, не превышающая 3 часов. Коэффициент готовности радиолиний для передачи сообщений 3-го класса должен составлять не менее 0,9.

Характеристики радиоканалов определяются особенностями распространения радиоволн декаметрового диапазона. Наиболее высокие качественные показатели обеспечиваются на магистральных радиолиниях протяженностью от 2000 до 3000 км, которая считается оптимальной. При организации радиоканалов на расстояния более 4500 км могут использоваться ретрансляционные пункты. Расстояние между радиопередатчиком (радиоприемником) и ретрансляционным пунктом должно составлять 2000...3000 км.

Основное оборудование магистральных узлов декаметровых волн включает:

- радиопередатчики мощностью 1,5, 15 и 80 кВт типа “Снежинка-М”, ПКМ-5, “Молния-2М”, ПКМ-20 и “Пурга”;
- радиоприемники Р-155А, “Арена”, Р-160П, “Призма” и “Рябина-М1”;
- приемные и передающие антенны следующих типов: вибратор горизонтальный диапазонный (ВГД), вибратор горизонтальный диапазонный шунтовой (ВГДШ), ромбическая горизонтальная (РГ),

ромбическая горизонтальная двойная (РГД) и антенны бегущей волны БС, БС-2;

- устройства коммутации и реверсирования (изменения направления излучения) передающих антенн, а также аппаратуру системы коллективного использования приемных антенн.

При эксплуатации линий магистральной КВ-радиосвязи важное значение отводится планированию радиосвязи и мероприятиям по соблюдению дисциплины связи. С этой целью каждый радиопередатчик узла работает только на разрешенных частотах и с присвоенными ему позывными. При замене основного передатчика резервным работа продолжается на радиоданных основного радиопередатчика. Кроме того, технические средства радиосвязи включаются на излучение строго по расписанию, которое для магистральных линий составляется на календарный год. Ежеквартально, с распределением по месяцам, в дополнение к основному расписанию разрабатывается круглосуточное частотное расписание, в котором для каждой линии радиосвязи указываются рабочие частоты, позывные, время перехода с одной частоты на другую, резервные частоты с позывными, используемые в случае возникновения ионосферных возмущений и воздействия случайных станционных помех. Основанием для составления частотного расписания служат рабочие и резервные частоты, выделяемые главной инспекцией электросвязи для каждой радиолинии. В частотное расписание включаются только те частоты, которые имеются в месячных и годовых прогнозах распространения радиоволн, при этом учитываются статистические данные по прохождению радиоволн на обслуживаемых линиях радиосвязи.

Под планированием радиосвязи понимается назначение частот, а также времени начала и окончания связи. В зависимости от назначения связь может осуществляться на одной или нескольких частотах круглосуточно или по сеансам в определенное частотным расписанием время. Частоты и время работы должны быть подобраны таким образом, чтобы было обеспечено приемлемое качество связи с учетом технических средств обеспечения радиосвязи: передатчиков и приемников, их параметров, характеристик передающих и приемных антенн. Ввиду того, что свойства ионосферы непостоянны во времени, в течение суток изменяются максимально применимые частоты (МПЧ), оптимальные рабочие частоты (ОРЧ) и наименьшие применимые частоты (НПЧ), что обуславливает применение различных частот для ведения связи в различное время суток. При выборе рабочих частот обычно стремятся к тому, чтобы, с одной стороны, они были как можно ближе к оптимальным, с другой — чтобы их было как можно меньше. Чаще всего, если это возможно, ограничиваются двумя рабочими частотами – дневной и ночной. Принцип назначения частот следующий:

- из имеющегося перечня разрешенных частот, с помощью долгосрочных прогнозов суточного хода МПЧ на заданной трассе, назначают дневные и рабочие частоты;

- назначается время перехода с ночной частоты на дневную и обратно.

Суточный ход МПЧ не постоянен во времени. Каждый день, месяц, сезон, год — разный, но подчиняется определенным законам, которые используются при проведении прогнозирования распространения радиоволн.

Как правило, частоты для магистральной связи назначаются на год с делением на радиосезоны. Согласно Регламенту радиосвязи, радиосезонов два. Это Расписание «А» (лето): последнее воскресенье марта – последнее воскресенье октября; Расписание «В» (зима): последнее воскресенье октября – последнее воскресенье марта. Расписания вводятся с 01:00 UT (международного времени). Сложность выбора частот и времени работы заключается в том, что необходимо подобрать частоты для обеспечения связи на длительный период. При этом ожидаемые уровни сигналов в точке приема значительно меняются. Кроме того, меняется и время доступности связи.

На дальностях свыше 3000 км происходит отражение и от ионосферы и от поверхности Земли. Как минимум, одно отражение от Земли и два – от ионосферы. При этом происходит сужение времени доступности связи на заданных частотах. Особенно в тех случаях, когда радиотрассы проходят вдоль широты.

Высокие требования, предъявляемые к современным системам магистральной КВ-радиосвязи по обеспечению своевременной и достоверной передачи заданных потоков информации в условиях воздействия на линии радиосвязи различных дестабилизирующих факторов, вызывают необходимость поиска новых путей совершенствования магистральной КВ-радиосвязи. Дальнейшее ее развитие заключается, прежде всего, в построении автоматизированной сети магистральной радиосвязи. Основными особенностями такой сети являются:

- многосвязная структура ее построения;
- широкое сочетание прямых радиосвязей между магистральными узлами декаметровых волн и оперативно составленных обходных маршрутов передачи сообщений с использованием радиоцентров-ретрансляторов, в том числе и удаленных от корреспондентов на расстояния 2000...3000 км;
- использование адаптивных радиолиний, приспособляющихся к изменяющимся условиям ионосферной и помеховой обстановки путем управления своими параметрами и позволяющих повысить пропускную способность за счет автоматизации процессов установления, ведения и восстановления радиосвязи;
- построение сети магистральной радиосвязи на основе автоматизированных узлов декаметровых волн (радиоцентров), в которых полностью автоматизированы процессы формирования высокочастотных трактов передачи и приема, а также контроля за состоянием радиосредств и радиосвязей;

- полная стандартизация и унификация технологической базы магистральной радиосвязи, их сопрягаемость с сетями радиосвязи различных министерств и ведомств РФ; широкое использование для передачи сообщений различного типа цифровых радиосигналов;
- автоматизация и алгоритмизация управления параметрами и режимами работы сети радиосвязи, магистральных узлов декаметрового диапазона, а также линий магистральной радиосвязи в динамике их функционирования при воздействии различных дестабилизирующих факторов;
- максимальное использование различных видов ресурсов (энергетических, частотных, аппаратурных, пространственных и др.), позволяющих обеспечить существенное повышение своевременности и достоверности передачи информации.

Другим, не менее важным направлением совершенствования и развития магистральной КВ-радиосвязи, является создание перспективных средств и комплексов радиосвязи, обеспечивающих:

- использование принципов многопараметрической адаптации и компенсации помех;
- применение новых помехозащищенных видов радиосигналов, в том числе радиосигналов сложной структуры;
- пакетную передачу информации;
- повышение технических характеристик радиосредств (чувствительности, избирательности радиоприемников, коэффициента полезного действия радиопередатчиков);
- сокращение длительности перестройки радиосредств по частоте;
- модульный принцип построения радиоаппаратуры с дальнейшей интеграцией и наращиванием их возможностей в конкретных условиях функционирования.

### **2.1.2. РАДИОСВЯЗЬ МОРСКОЙ ПОДВИЖНОЙ СЛУЖБЫ (МПС)**

Системы связи с морскими подвижными объектами (МПО) представляют собой совокупность средств, удовлетворяющих потребности в связи МПО и эксплуатирующих их людей. МПО — это суда, плавучие буровые установки, исследовательские платформы и другие объекты, которые выполняют поставленные задачи, находясь на акваториях морей и океанов. Основными задачами радиосвязи МПС являются:

- охрана человеческой жизни на море и обеспечение безопасности мореплавания;
- обеспечение оперативно-диспетчерского руководства работой МПО;
- обеспечение обмена информацией с отечественными и зарубежными организациями по сигналам бедствия и вопросам охраны человеческой жизни на море;



- удовлетворение потребностей людей, связанных с эксплуатацией МПО.

Типы станций в морской подвижной службе:

- Судовая станция — подвижная станция МПС, установленная на борту судна, и не являющаяся станцией спасательного средства.
- Береговая станция — сухопутная станция морской подвижной службы.
- Портовая станция — береговая станция портовой службы.
- Лоцманская станция — станция лоцманской службы.
- Станция спасательно-координационного центра.

Спасательно-координационный центр (СКЦ или Rescue Coordinating Centre — RCC) — это орган, ответственный за организацию эффективного поиска и спасания и за координацию проведения поисково-спасательных операций в пределах конкретного поисково-спасательного района. Станция СКЦ — это береговая станция, закрепленная за данным СКЦ, ответственная за прием/передачу оповещения о бедствии и связь для координации проведения поисково-спасательных операций.

В МПС и морской подвижной спутниковой службе (МПСС) радиостанции следует опознавать по позывному сигналу или названию, а именно:

- позывной сигнал или название;
- идентификатор ЦИВ (цифровой избирательный вызов);
- название станции по ее географическому местоположению (например: Владивосток-радио);
- характерный сигнал или другие отличительные особенности работы.

Для передачи и приема различных видов сообщений в МПС наиболее широко применяются следующие виды связи:

1. Радиотелеграфия Морзе — неавтоматизированный вид связи, используемый в основном для передачи вызовов, коротких сообщений, а также для связи в аварийной обстановке, когда условия не позволяют использовать более эффективные виды связи. Для связи с использованием радиотелеграфии Морзе используются разрешенные полосы частот в диапазоне 415-27500 кГц.
2. Радиотелефония — вид связи, предназначенный для передачи речи или других звуков. Для связи в радиотелефонии в настоящее время используются разрешенные полосы частот в диапазонах ПВ, КВ и УКВ, а также спутниковые каналы связи.
3. Узкополосное буквопечатающее телеграфное оборудование с повышением верности приема информации. Позволяет осуществлять прием таких объемов информации, как

навигационные предупреждения и извещения, гидрометеорологические и циркулярные сообщения и т.п.

4. Факсимильная связь — вид радиосвязи, предназначенный для передачи судам различной графической информации (карты погоды и волнений, их прогнозы, фотогазеты и т.п.).
5. Цифровой избирательный вызов (ЦИВ) — это вид радиосвязи, использующий цифровые коды для передачи оповещений и вызовов и установления связи в виде формализованных сообщений.
6. Передача данных (E-MAIL) — передача информации в виде компьютерных файлов между судовым спутниковым терминалом и береговым абонентом, включенным в сеть передачи данных. Другими словами — это «перекачка» программной, аудио или видеоинформации с одного компьютера на другой посредством существующих каналов связи.

Радиосвязь в МПС подразделяется на следующие типы:

- связь в случае бедствия, срочности и для обеспечения безопасности;
- связь для обмена общественной корреспонденцией;
- связь в службе портовых операций;
- связь в службе управления движением судов;
- внутрисудовая связь (швартовка, постановка/съемка с якоря, судовые учения, буксировка и т.п.);
- связь между судами (обеспечение безопасности мореплавания).

В МПС используются следующие классы – совокупности характеристик излучения, обозначаемые установленными условными символами. В общем случае класс излучения описывается тремя символами:

- Тип модуляции несущей (английская буква).
- Характер модулирующего сигнала (цифра).
- Тип передаваемой информации (английская буква).

Ниже приведены основные обозначения символов, характеризующих класс излучения.

**Первый символ** — тип модуляции несущей частоты:

Излучения, при которых несущая модулируется по амплитуде (амплитудная модуляция):

A — двух-полосная;

H — однополосная с полной несущей;

J — однополосная с подавленной несущей.

Излучения, при которых основная несущая имеет угловую модуляцию:

F — частотная модуляция;

G — фазовая модуляция.

Импульсные излучения:

R — последовательность немодулированных импульсов.

**Второй символ** — характер сигнала, модулирующего несущую:

- 0 — отсутствие модулирующего сигнала;
- 1 — один канал, содержащий квантовую или цифровую информацию без использования модулирующей поднесущей;
- 2 — один канал, содержащий квантовую или цифровую информацию при использовании модулирующей поднесущей;
- 3 — один канал с аналоговой информацией.

**Третий символ** — тип передаваемой информации:

- N — отсутствие передаваемой информации;
- A — телеграфия для слухового приема;
- B — телеграфия для автоматического приема;
- C — факсимиле;
- E — телефония.

#### **Перечень классов излучений, используемых в морской радиосвязи:**

- A1A — телеграфия незатухающими колебаниями (код Морзе);
- A2A — телеграфия с амплитудной манипуляцией (код Морзе);
- A3E — двухполосная телефония (радиовещание);
- J3E — однополосная телефония с подавленной несущей;
- H3E — однополосная телефония с полной несущей (разрешена для использования только на частоте 2182 кГц);
- R3E — однополосная телефония с частично подавленной несущей;
- F3E — телефония с частотной модуляцией;
- G3E — телефония с фазовой модуляцией;
- G2B — фазовая модуляция, один канал, содержащий дискретную или цифровую информацию, с использованием модулируемой поднесущей;
- F1B — частотная телеграфия;
- J2B — буквопечатающая телеграфия;
- F1C — факсимиле с непосредственной частотной модуляцией несущей (черно-белое);
- F3C — аналоговое факсимиле;
- RON — немодулированное импульсное излучение.

Для полного обозначения излучений перед обозначением класса излучения с помощью четырех знаков можно указать необходимую ширину полосы излучения.

## **2.2. СИСТЕМЫ С РЕТРАНСЛЯЦИЕЙ**

Дальнейшее развитие радиосвязи сопровождается увеличением скоростей и объемов передаваемой информации. Для передачи возрастающих потоков информации с малыми потерями используют сигналы с более широкой полосой, что требует расширения диапазона частот, занимаемого системой связи. В свою очередь, передача сигналов с более широкой полосой требует перехода на более высокие несущие частоты. Тем более что расширять полосу рабочих частот систем связи в уже освоенных диапазонах волн становится невозможным из-за тесноты в эфире. В результате, системы и сети радиосвязи осваивают диапазоны все более коротких волн. К достоинствам диапазонов ультракоротких волн относится

также несущественный уровень атмосферных и промышленных помех. Кроме того, широкополосные сигналы позволяют использовать прогрессивные виды модуляции и другие приемы обработки сигналов, обеспечивающие лучшие характеристики помехоустойчивости приема. Однако, радиоволны с длиной волны короче 10 метров можно эффективно использовать лишь в пределах границ прямой видимости. Компромиссным решением при построении широкополосных систем связи, предназначенных для работы на больших дальностях, является применение систем, основанных на ретрансляции сигналов. При этом существуют разные схемы ретрансляции. Первая и очевидная из них – организация радиорелейных линий связи (РРЛ) прямой видимости. Радиорелейные линии представляют собой цепочку ретрансляторов, обеспечивающих поочередную передачу радиосигналов между оконечными станциями, размещенными на расстоянии прямой видимости. Другая возможность – использование ретранслятора в виде эффекта рассеяния и отражения радиоволн в нижних областях атмосферы (в стратосфере) – системы ДТР (дальнего тропосферного распространения), либо в виде искусственного спутника Земли (ССС – спутниковые системы связи), причем оконечные станции таких сетей располагаются далеко за пределами прямой видимости.

### **2.2.1. СЕТИ РРЛ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ**

В сетях РРЛ прямой видимости для увеличения расстояния между станциями радиорелейных линий антенны ретрансляторов подвешивают на высокие сооружения (мачты, опоры, высотные строения и т.д.). В условиях равнинной местности высота поднятия антенн 60...100 метров позволяет организовать уверенную связь на расстояниях 40...60 километров. Цепочку радиорелейной линии составляют радиорелейные станции трех типов:

- оконечные радиорелейные станции (ОРС),
- промежуточные радиорелейные станции (ПРС),
- узловые радиорелейные станции (УРС).

На оконечной радиорелейной станции начинается и заканчивается тракт передачи. Аппаратура ОРС осуществляет преобразование сигналов, поступающих от разных источников информации (телефонные сигналы от междугородней телефонной станции, телевизионные сигналы от междугородней телевизионной аппаратной и т.д.), в сигналы, передаваемые по радиорелейной линии, а также обратное преобразование сигналов, приходящих по РРЛ, в сигналы телерадиовещания или телефонии. Радиосигналы ОРС с помощью передающего устройства и антенны излучаются в направлении следующей, обычно промежуточной, радиорелейной станции. Промежуточные радиорелейные станции предназначены для приема сигналов от предыдущей станции радиорелейной линии, усиления этих сигналов и излучения в направлении последующей станции РРЛ. На каждой промежуточной радиорелейной станции установлены по две антенны, ориентированные на соседние РРСП. Каждая из антенн является приемопередающей, то есть используется и для приема, и

для передачи сигналов. Одним из преимуществ работы радиорелейной линии связи в сверхвысокочастотном (СВЧ) диапазоне является возможность применения высоконаправленных антенн с малыми габаритами. Небольшие размеры антенн упрощают их установку на высоких сооружениях. Хорошие направленные свойства антенн СВЧ-диапазона позволяют облегчить требования к характеристикам приемопередающего тракта. Если бы частота излучаемого сигнала промежуточной радиорелейной станции была бы равна частоте принимаемого сигнала той же ПРС, существовала бы опасность прохождения мощного сигнала, излученного в направлении последующей РРСП, на вход приемника той же ПРС, принимающего сигнал с противоположного направления от предыдущей РРСП. Объясняется это тем, что, несмотря на хорошие направленные свойства передающей и приемной антенн СВЧ-диапазона, все же не удастся полностью исключить возможность попадания мощного сигнала передатчика (пусть и ослабленного направленными характеристиками антенн) на вход приемника с высокой чувствительностью. Такое несанкционированное (паразитное) прохождение сигналов передатчика промежуточной радиорелейной станции на вход приемника той же ПРС стараются уменьшить. В противном случае ПРС может перейти в режим самовозбуждения и, вместо ретрансляции принятых сигналов, передатчик ПРС будет излучать колебания, не имеющие никакого отношения к передаваемой по РРЛ информации. Один из способов уменьшения влияния передатчика на работу приемника той же самой ПРС заключается в том, что выходной сигнал ПРС излучают на другой частоте, смещенной относительно частоты принимаемого сигнала. Величину сдвига выбирают из условия гарантированного исключения взаимного влияния сигналов на выбранных частотах. Одна цепочка приемопередатчиков РРЛ образует СВЧ симплексный (т.е. предназначенный для передачи сигналов в одном направлении) ствол. Структура симплексного ствола с учетом плана распределения частот приведена на рисунке 2.2.

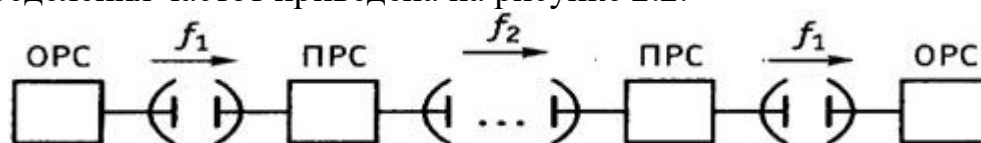


Рис. 2.2.

Два симплексных ствола, работающие во встречных направлениях, образуют дуплексный СВЧ ствол.

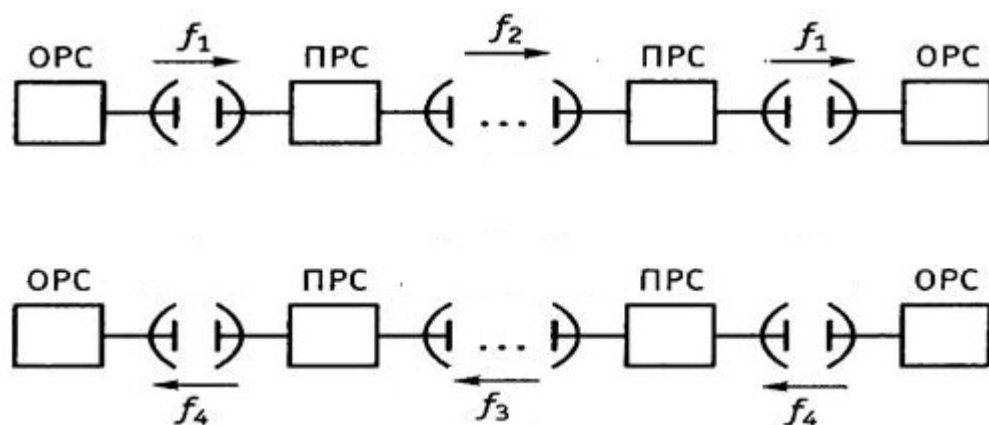


Рис. 2.3.

Для передачи сигналов в обратном направлении может быть использована та же пара частот, что и в прямом направлении (двухчастотная система), либо другая пара частот (четырёхчастотная система).

Для определенности следует уточнить понятия. Дуплекс (лат. Duplex – двухсторонний) — способ связи с использованием приёмопередающих устройств. Реализующее дуплексный способ связи устройство может в любой момент времени и передавать, и принимать информацию. Передача и приём ведутся устройством одновременно по двум физически разделённым каналам связи. Дуплексный способ связи иногда называют полнодуплексным (от англ. full-duplex), это синонимы. Помимо дуплексной, выделяют полудуплексную и симплексную связь. Реализующее полудуплексный (англ. half-duplex) способ связи устройство в один момент времени может либо передавать, либо принимать информацию, в каждый из этих моментов времени работаю в симплексном режиме. Таким образом, полудуплекс – режим, при котором, в отличие от дуплексного, передача ведётся по одному каналу связи в обоих направлениях, но с разделением по времени (в каждый момент времени передача ведётся только в одном направлении). Под симплексной связью понимают одностороннюю связь (например, радиовещание, когда радиопередача ведётся в одном направлении: от радиостанции к слушателям), в то время как дуплексная и полудуплексная связь — двухсторонняя (передача возможна в обоих направлениях: дуплексная — одновременно, полудуплексная — с разделением во времени). Однако Регламент радиосвязи даёт отличные определения симплексной и полудуплексной связи, что иногда является причиной недоразумений:

**Симплекс (Simplex)**, симплексная связь — способ связи, при котором передача возможна попеременно в каждом из двух направлений канала электросвязи посредством, например, ручного управления (ст. 1.125).

**Дуплекс (Duplex)** Дуплексная связь — способ связи, при котором передача возможна в обоих направлениях канала электросвязи (ст. 1.126).

**Полудуплекс (Half-duplex)** Полудуплексная связь — способ симплексной связи на одном конце линии и дуплексной связи на другом (ст. 1.127).

И наконец, характеризуя ту или иную систему радиосвязи, под дуплексом понимают способ организации двусторонней связи. Это может быть вариант с разделением направлений передачи с помощью различных частотных каналов (частотный дуплекс, FDD – в англоязычной терминологии), либо временной дуплекс, TDD – в англоязычной терминологии. Временной дуплекс – это тип дуплексной связи, при котором использование радиоканала для передачи и приема данных разделены распределением временных слотов в одном и том же диапазоне частот. Потоки передачи данных таким образом могут быть асимметричными с выделением конечному пользователю разных временных интервалов на передачу и прием данных. Понятно, что такой дуплекс возможен только в цифровых системах.

Для увеличения пропускной способности радиорелейной линии на каждой радиорелейной станции устанавливают несколько комплектов приемопередающей аппаратуры, подключенных к общей антенне. Магистральные радиорелейные линии связи могут иметь до восьми дуплексных СВЧ-стволов (из них 6...7 рабочих и 1...2 резервных).

Кроме ОРС и ПРС для ввода в радиорелейную линию дополнительных потоков информации и вывода из РРЛ части передаваемой информации используют узловы радиорелейные станции. В узловых радиорелейных станциях, как и в ОРС, имеется аппаратура преобразования телефонных, радио- и телевизионных сигналов в сигналы, передаваемые по РРЛ, и аппаратура обратного преобразования. Кроме того, от узловых радиорелейных станций могут начинаться новые радиорелейные линии (ответвления). При проектировании радиорелейных линий следует учитывать и возможные изменения условий распространения радиоволн. Так, при повышенной рефракции (искривление направления распространения радиоволн) сигналы могут распространяться далеко за горизонтом. Поэтому колебания, излучаемые радиорелейной станцией с частотой, например,  $f_1$ , могут быть приняты не только соседней станцией, но и станцией, отстоящей от нее через три пролета. Но для последней станции это будет паразитным сигналом, так как она должна принимать сигналы только от ближайшей станции. Нежелательные сигналы от всех других станций будут вызывать ухудшение качества приема. Для устранения подобных явлений ретрансляторы радиорелейной линии связи располагают не по прямой линии, а зигзагом, так, чтобы не совпадали главные направления соседних участков трассы, использующих одинаковые частоты. При этом используют направленные свойства антенн. Радиорелейные станции разносят от генерального направления радиорелейной линии связи таким образом, чтобы направлению на станцию, отстоящую через три пролета, соответствовали минимальные уровни диаграммы направленности антенны.

В соответствии с рекомендацией ITU-R F.746 для радиорелейной связи прямой видимости утверждены конкретные диапазоны частот, лежащие в интервале от 0.4 до 94 ГГц. Частотные диапазоны от 2 ГГц до 38 ГГц относятся к «классическим» радиорелейным частотным диапазонам. Законы распространения и ослабления радиоволн, а также механизмы появления

многолучевого распространения в данных диапазонах хорошо изучены и накоплена большая статистика использования радиорелейных линий связи. Для одного частотного канала «классического» радиорелейного частотного диапазон выделяется полоса частот не более 28 МГц или 56 МГц. Диапазоны от 38 ГГц до 92 ГГц для радиорелейной связи выделяются сравнительно недавно и являются более новыми. Несмотря на это данные диапазоны считаются перспективными с точки зрения увеличения пропускной способности радиорелейных линий связи, так как в данных диапазонах возможно выделение более широких частотных каналов (вплоть до нескольких сотен МГц).

### 2.2.2. ТРОПОСФЕРНЫЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ

Тропосферные радиорелейные системы передачи используют локальные объемные неоднородности атмосферы, вызываемые различными физическими процессами, происходящими в околоземном пространстве. Эти неоднородности способны отражать и рассеивать электромагнитные колебания при их распространении в атмосфере (рис 2.4).

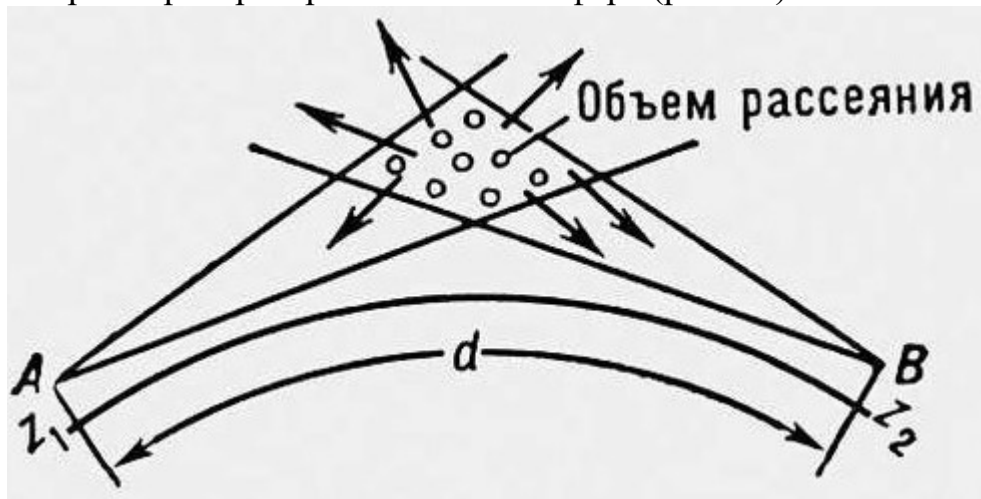


Рис. 2.4.

Поскольку неоднородности располагаются на значительной высоте, то и рассеиваемые ими радиоволны могут распространяться на большие расстояния, значительно превышающие расстояние прямой видимости. В силу нерегулярной структуры неоднородностей тропосферы сигналы тропосферных линий подвержены глубоким замираниям. Это затрудняет передачу больших объемов информации с хорошим качеством. С учетом изложенных обстоятельств тропосферные радиорелейные линии связи оказывается выгодным строить в труднодоступных и удаленных районах при не слишком больших объемах передаваемой информации. При этом расстояния между станциями можно выбирать до нескольких сотен километров, а емкость систем связи может составлять десятки телефонных каналов.

Для обеспечения устойчивой радиосвязи на тропосферных радиорелейных линиях применяют антенны с большим коэффициентом усиления (40...50 дБ), мощные передатчики (1...10 кВт) и высокочувствительные приемники



(шумовая температура не более 100...200 К), а также специальную технологию приема для борьбы с интерференционными замираниями сигнала, которая заключается в использовании разнесения (в общем случае – временного, частотного, пространственного или поляризационного). В системах ДТР используется как частотное, так и пространственное разнесение. Для реализации пространственного разнесения устанавливаются не одна, а две антенны на прием. Причем антенны могут быть установлены с вертикальным или горизонтальным пространственным разнесением. Однако обычно на практике применяется горизонтальное разнесение, т.к. при этом требуется меньшее расстояние между антеннами. От каждой из приемных антенн до приемопередающего оборудования прокладывается отдельный фидер, а уже приемники базовой станции оценивают оба принятых сигнала. В результате вероятность появления эффекта «замирания» сигнала сразу на двух антеннах значительно снижается. Кроме того увеличивается суммарная принятая энергия полезного сигнала. Для повышения верности приема при замираниях переданное сообщение передается не по одному, а по двум или нескольким частотным каналам. Повышение эффективности при разнесенном приеме достигается в том случае, если замирания в различных ветвях (рис. 2.5) разнесения не коррелированы или слабо коррелированы друг с другом.

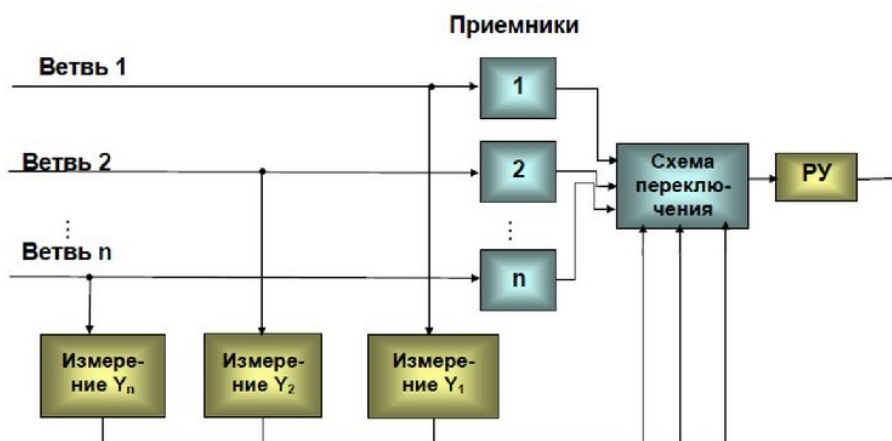


Рис. 2.5.

Поэтому в то время, когда в одних ветвях уровень сигнала оказывается очень низким, в других ветвях он может быть высоким и по ним легко восстановить переданное сообщение. Если замирания в ветвях слабо коррелированы, то вероятность одновременного падения уровней в нескольких ветвях может быть достаточно мала. Параметр разнесения обычно задают в виде нормированного расстояния  $r_H = r/\lambda$ , где  $r$  – проекция расстояния между антеннами на направление прихода радиоволн;  $\lambda$  – длина волны. Очевидно, величина существенно зависит от расположения антенн относительно направления трассы связи. При частотно-разнесенном приеме величина разнесения рабочих частот определяется интервалом корреляции замираний по спектру и в дециметровом диапазоне волн обычно составляет 50-200 кГц. Частотно-разнесенный прием применяется не только для борьбы

с замираниями сигналов, но и является эффективным методом повышения устойчивости КВ связи при воздействии сосредоточенных по спектру помех. Эффективность того или иного метода разнесенного приема во многом определяется способом обработки разнесенных сигналов на приемной стороне. В этой системе путем переключения приемников из ветвей выбирается та, в которой сигнал имеет наибольшее значение.

Первая отечественная тропосферная радиорелейная аппаратура «Горизонт-М», разработанная в 1963 г., позволила создать сеть «Север» общей протяженностью 14 тыс. км. Расстояние между ретрансляторами от 100 до 420 км, мощность передатчиков 2,5 кВт. Для борьбы с замираниями сигнала применен четырехкратный разнесенный по частоте и в пространстве прием. В результате модернизации и применения системы «Аккорд», в которой для борьбы с интерференционными замираниями наряду с разнесенным приемом использовался автокорреляционный прием составных сигналов, к 1980 г. коэффициент исправного действия сети «Север» составил 99,99%, а пропускная способность была повышена до 120 каналов.

Эта аппаратура была использована в 1981 г. для создания линии прямой тропосферной связи между СССР и Индией. Отличительной особенностью этой линии является не только большое расстояние между пунктами Санглок (СССР) и Чарар-и-Шариф (Индия) — 699 км, но и расположенная между ними горная гряда Гиндукуш, создающая значительную зону закрытия на трассе (эквивалентное расстояние участка чисто тропосферного рассеяния около 1000 км). Предельная дальность тропосферной связи без ретрансляции составляет около 1000 км, но достигается она лишь на отдельных уникальных линиях связи. Так на линии тропосферной связи Вашингтон-Лондон, проходящий через Канаду, Гренландию, Исландию, имеется интервал протяженностью около 1100 км.

### **2.2.3. СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ**

В статье «Внеземные ретрансляторы» («Extra-terrestrial Relays»), опубликованной в 1945 году в октябрьском номере журнала «Wireless World», английский ученый, писатель и изобретатель Артур Кларк предложил идею создания системы спутников связи на геостационарных орбитах, которые позволили бы организовать глобальную систему связи. Впоследствии Кларк на вопрос, почему он не запатентовал изобретение (что было вполне возможно), отвечал, что не верил в возможность реализации подобной системы при своей жизни, а также считал, что подобная идея должна приносить пользу всему человечеству.

Системы спутниковой связи можно рассматривать как особый вид радиорелейных линий связи, если антенну ретранслятора подвесить на опору, высота которой равна высоте орбиты спутника. В такой системе связи значительно увеличивается зона прямой видимости поверхности Земли, просматриваемой со спутника, и соответственно размеры земной территории, с которой виден спутник в один и тот же момент времени. Радиооборудование спутниковой системы связи, расположенное на спутнике,

называют космической радиостанцией, а радиооборудование, расположенное на Земле, называют наземной радиостанцией. Канал передачи радиосигнала от наземной станции на спутник называют восходящим, а канал передачи сигналов в обратном направлении—нисходящим. На спутниках, помимо ретрансляционной аппаратуры, размещают также источники электропитания (солнечные батареи). Кроме того, на спутниках имеется оборудование, обеспечивающее стабилизацию положения спутников на орбите и ориентирование его в пространстве (антенны ретранслятора направляют в сторону Земли, солнечные батареи—в сторону Солнца).

Характеристики спутниковых систем связи в значительной степени зависят от параметров орбиты спутника. Орбита спутника—это траектория движения спутника в пространстве. Физическое тело выходит на круговую орбиту вокруг Земли и становится ее спутником, если ему сообщить первую космическую скорость. Если спутнику сообщают скорость большую, чем первая космическая, то он будет двигаться по эллиптической орбите. Скорость спутника при движении по эллиптической орбите непрерывно изменяется от наименьшего значения в точке максимального удаления от Земли (апогей) до максимального значения в точке наибольшего сближения с Землей (перигей). Орбиты могут проходить в любом направлении вокруг земного шара, но плоскость орбиты будет проходить через центр Земли. Орбиты могут быть классифицированы по различным признакам. Орбиты различают по взаимному расположению плоскости орбиты спутника и плоскости земного экватора. Если плоскость орбиты спутника совпадает с плоскостью экватора Земли, то орбиту спутника называют экваториальной. Орбиту называют полярной, если плоскость орбиты спутника проходит через полюса Земли. Орбиту называют наклонной при других взаимных расположениях плоскости орбиты спутника и плоскости земного экватора. Орбиты могут быть круговыми с центром окружности, расположенным в центре Земли, или эллиптическими, при этом центр Земли находится в одном из фокусов эллипса. Кроме того, орбиты различаются также по высоте над поверхностью Земли. Уникальные свойства имеет спутник, расположенный на экваториальной орбите, на высоте около 36 тысяч километров от поверхности Земли. Период обращения спутника на такой высоте совпадает с периодом вращения Земли вокруг своей оси. Если на такую орбиту запустить спутник в направлении, совпадающем с направлением вращения Земли, то такой спутник будет казаться неподвижным относительно поверхности Земли. Спутник на такой орбите называют геостационарным. Для построения спутниковых систем связи используют, в основном, три разновидности орбит: геостационарную орбиту, высокую эллиптическую орбиту и низко-высотную орбиту.

## Определения спутниковых орбит

Название орбиты	Аббревиатура названия орбиты	Высота орбиты (в километрах над поверхностью Земли)	Детали / комментарии
Низкая околоземная орбита	LEO	200 - 1200	
Средняя околоземная орбита	MEO	1200 - 35790	
Геосинхронная орбита	GSO	35790	Период обращения вокруг Земли равен одним суткам, но обращение не обязательно идёт в направлении вращения Земли – спутник не обязательно висит стационарно над одной точкой.
Геостационарная орбита	GEO	35790	Период обращения вокруг Земли равен одним суткам, спутник движется в том же направлении, в котором вращается Земля, и поэтому «стационарно висит» над одной точкой планеты. Может находиться лишь над экватором.
Высокая околоземная орбита	HEO	Выше чем 35790	

Примерные схемы этих орбит приведены на рисунке 2.6.

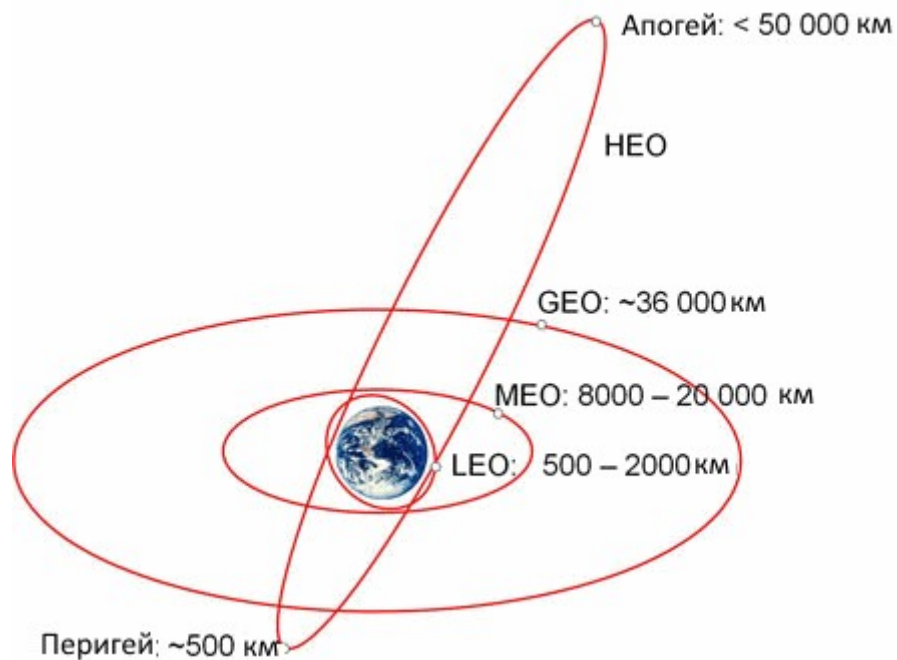


Рис. 2.6.

Геостационарный спутник находится на большой высоте, с которой видно более четверти поверхности земного шара. Это является одним из достоинств геостационарной орбиты. Так как геостационарный спутник кажется неподвижным для земного наблюдателя, то упрощается наведение антенн наземных станций (не требуется слежения за положением спутника на орбите). Но большая высота орбиты имеет и недостатки: задержка распространения сигнала составляет около 1~4 секунды, сигнал получает значительное ослабление на таких протяженных трассах. Кроме того, в

северных широтах спутник виден под малыми углами к горизонту, а в приполярных областях и вовсе не виден. На геостационарной орбите находится несколько сотен спутников, обслуживающих разные регионы Земли, в том числе и отечественные спутники «Горизонт», «Экран».

Для обслуживания территорий в северных широтах используют спутники на высокой эллиптической орбите с большим углом наклона. В частности, отечественные спутники «Молния» имеют эллиптическую орбиту с высотой апогея над северным полушарием порядка 40 тысяч километров и перигея около 500 километров. Наклонение плоскости орбиты к плоскости земного экватора составляет  $63^\circ$  и период обращения 12 часов. Движение спутника в области апогея замедляется, и сеансы радиосвязи возможны в течение 6...8 часов. Данный тип спутников также позволяет обслуживать большие территории. Но недостатком их использования является необходимость слежения антенных систем за медленно дрейфующими спутниками и их переориентирования с заходящего спутника на восходящий. Низкоорбитальные спутники запускаются на круговые орбиты с высотой порядка 500...1500 километров и большим углом наклона орбиты (полярные и околополярные орбиты). Запуск легких спутников связи осуществляют с помощью недорогих пусковых установок. В системах связи с низко-высотными спутниками времена задержки распространения сигнала невелики, но значительно уменьшены и зоны охвата. Скорость перемещения спутника относительно поверхности Земли достаточно высока, и длительность сеанса связи от восхода спутника до его захода не превышает десятки минут. Поэтому для обеспечения связи на больших территориях на низко-высотных орбитах должны одновременно находиться десятки спутников. В спутниковых системах связи (ССС) обычно поддерживается радиообмен между несколькими земными станциями. Земные станции подключены к источникам и потребителям программ теле- и радиовещания, к узлам коммутации сетей связи, например междугородним телефонным станциям. При организации дуплексной связи между двумя земными станциями сигналы каждой из них в сторону спутникового ретранслятора образуют каналы восходящего звена связи (UpLink – по англоязычной терминологии), а соответственно, сигналы спутникового ретранслятора в сторону земных станций – каналы нисходящего звена связи (DownLink – по англоязычной терминологии). Такое обозначение направлений передачи при организации дуплексной связи позже перекочевало в другие системы радиосвязи: направление передачи от абонентов (оконечных, пользовательских устройств) к ретрансляционному узлу (базовой станции, центральному терминалу, пр.) называют восходящим звеном или UpLink, а обратное направление – нисходящим звеном или DownLink. Для систем спутниковой связи выделены полосы частот отдельно для восходящих и нисходящих каналов в диапазоне частот от 0,6...86 ГГц с конкретизацией по использованию в соответствии с имеющимися рекомендациями.

Название диапазона	Частоты (согласно ITU-R V.431-6)	Применение
L	1,5 ГГц	Подвижная спутниковая связь
S	2,5 ГГц	Подвижная спутниковая связь
C	4 ГГц, 6 ГГц	Фиксированная спутниковая связь
X	8-12 ГГц.	Фиксированная спутниковая связь (для военных целей)
Ku	11 ГГц, 12 ГГц, 14 ГГц	Фиксированная спутниковая связь, спутниковое вещание
K	20 ГГц	Фиксированная спутниковая связь, спутниковое вещание
Ka	30 ГГц	Фиксированная спутниковая связь, межспутниковая связь

В зависимости от назначения спутниковых систем связи и типа земных станций различают следующие службы радиосвязи:

- фиксированная спутниковая служба – для связи между станциями, расположенными в определенных, фиксированных пунктах;
- подвижная спутниковая служба – для связи между мобильными станциями, размещенными на транспортных средствах (самолетах, морских судах, автомобилях и т.д.);
- радиовещательная спутниковая служба для непосредственного приема радио- и телевизионных программ на терминалы, находящиеся у абонентов.

Фиксированная спутниковая служба традиционно развивается в направлении создания систем магистральной связи на основе мощных земных станций с антенными системами размером в несколько десятков метров. Из международных систем связи наиболее известна ССС InTelSat, через спутники которой передается около 2/3 международных телефонных переговоров и подавляющая часть телевизионных программ. В аналогичной российской системе «Орбита» используются спутники на высокой эллиптической орбите «Молния» и геостационарные спутники «Радуга» и «Горизонт». Подвижная спутниковая служба поддерживает системы связи, в которых хотя бы одна станция была установлена на подвижных объектах. Например, система морской спутниковой связи InMarSat с помощью геостационарных спутников обеспечивает связь между морскими судами и береговыми станциями в акваториях Атлантического, Индийского и Тихого океанов.

Остановимся более подробно на описании систем подвижной спутниковой службы, которая в настоящее время в наибольшей степени следует таким общим тенденциям развития радиосвязи, как глобализация, персонализация и мобильность. Примерная хронология развития этих систем сведена в таблицу ниже.

<b>1967 год</b>	создание опытной линии связи "TATS" для связи с подвижными объектами (США).
<b>1982 год</b>	ввод в эксплуатацию международной геостационарной системы "Инмарсат", обеспечивающей сухопутную, морскую и воздушную подвижную связь.
<b>1985 год</b>	начало работ над проектом "Иридиум".
<b>1990 год</b>	создание системы "Skyphone" для организации воздушной подвижной связи через ИСЗ системы "Инмарсат".
<b>1991 год</b>	начало разработки системы "Глобалстар".
<b>1994 год</b>	начало разработки системы ICO.
<b>1998 год</b>	ввод в эксплуатацию низкоорбитальной системы подвижной спутниковой связи "Иридиум", применяющей технологию GSM.
<b>1999 год</b>	ввод в эксплуатацию низкоорбитальной системы подвижной спутниковой связи "Глобалстар".
<b>2000 год</b>	ввод в эксплуатацию низкоорбитальной системы подвижной спутниковой связи ICO.

В 1979-1982 годах была создана и введена в эксплуатацию система спутниковой подвижной связи первого поколения "Инмарсат". Эта система эксплуатируется международной организацией "Инмарсат", в которой участвуют восемьдесят шесть стран, в том числе и Россия. Система использует 4-5 ИСЗ, находящихся на геостационарных орбитах (ГО), и обеспечивает (за исключением полярных областей) глобальное обслуживание абонентов на всей территории Земли (рис 2.7).

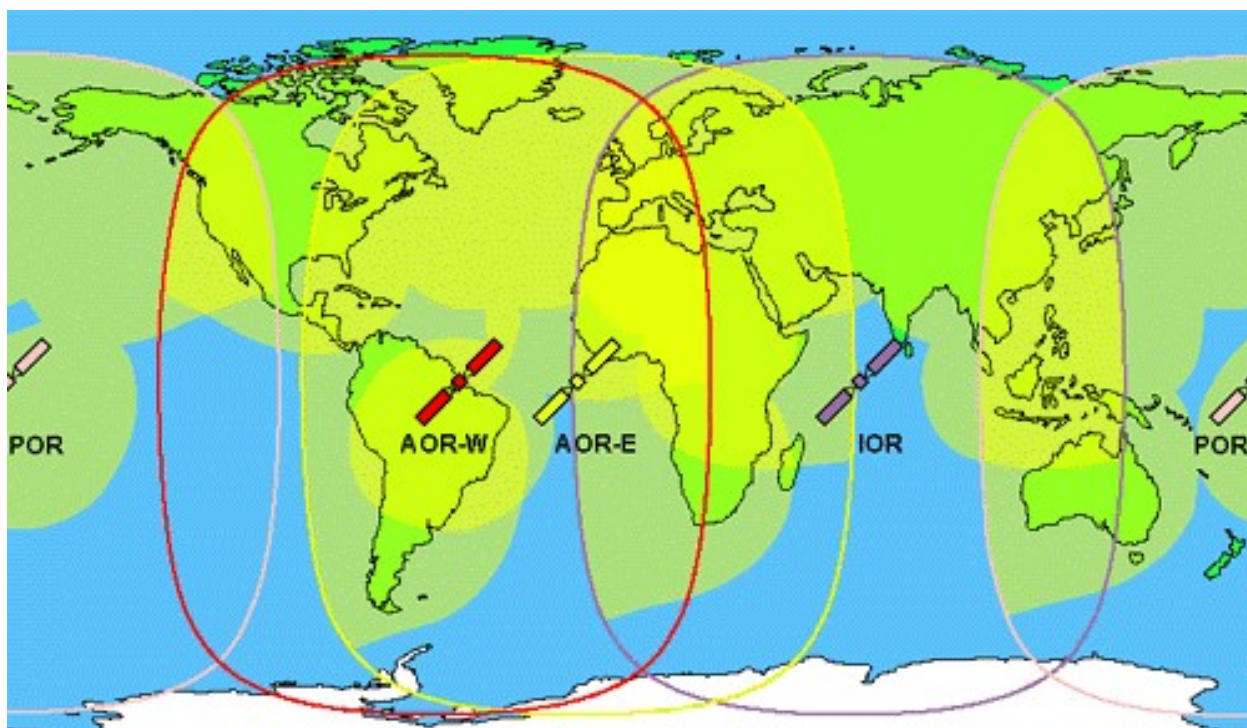


Рис. 2.7.

Она создавалась для организации морской подвижной связи, однако применяется также для сухопутной и воздушной подвижной связи, и сегодня в ней работают более чем сто сорок три тысячи земных станций спутниковой связи. Терминалами этой системы оснащены тридцать пять тысяч судов мирового флота.

В соответствии с назначением и характеристиками система Inmarsat подразделяется на стандарты:

- Inmarsat-phone mini-M (Инмарсат мини-М)
- Inmarsat-GAN(Инмарсат-ГЭН)
- Inmarsat-IsatPhone
- Inmarsat-A(Инмарсат-эй)
- Inmarsat-B(Инмарсат-Би)
- Inmarsat-C(Инмарсат-Си)
- Inmarsat-D/D+(Инмарсат-Ди/Ди+)
- Inmarsat-E(Инмарсат-И)
- Inmarsat-M(Инмарсат-эм)
- Inmarsat-Aero-C(Аэро-Си)
- Inmarsat-Aero-H(Аэро-эйЧ)
- Inmarsat-Aero-I(Аэро-Ай)
- Inmarsat-Aero-L(Аэро-эл)
- Inmarsat-Aero mini-M(Аэро мини-эм)
- Inmarsat R-BGAN(Broadband Global Area Network – широкополосная глобальная сеть) – стандарт 4-го поколения спутниковые ретрансляторы которого имеют мощность 48дБВт (+ 20 дБ усиления антенны) и предоставляют пакетный IP- доступ по запросу со скоростью до 492 кбит/с.



Высокая актуальность создания и внедрения систем глобальной подвижной персональной связи (GMPCS - Global Mobile Personal Communication Systems) привела к необходимости разработки в рамках МСЭ общих принципов международной регламентации применения таких систем. Был предложен ряд международных и национальных проектов создания подобных систем, построенных на основе спутников связи, находящихся на негеостационарных орбитах (НГО). Применение НГО спутников позволяет, в сравнении с ГО спутниками, существенно уменьшить задержку в канале связи, что весьма существенно для передачи речевых сообщений, снизить энергетiku линии, что позволяет значительно уменьшить габариты и вес абонентского терминала, а также использовать абонентские терминалы с ненаправленными антеннами.

Первой системой GMPCS явилась система "Иридиум", предложенная в 1985 году. В те годы данный проект выглядел грандиозным и весьма сложным. В системе планировался запуск 88 спутников, расположенных на 11 равноудаленных друг от друга орбитальных плоскостях для предоставления услуг через 12 наземных станций сопряжения (позже в реализованной системе было использовано 66 ИСЗ). Высота круговой орбиты 780 км. Каждый спутник покрывает зону шириной в 4000км. В связи с высокой скоростью пролета спутников (1 оборот вокруг Земли за 100 минут 28 секунд) связь с абонентом передается от спутника к спутнику, не вызывая прерывания. Наземные станции сопряжения связаны как минимум с 2-мя спутниками. Каждый спутник (весом 700кг) обеспечивает работу 48 зональных лучей мощностью 16 дБВт.

В этой системе впервые были организованы межспутниковые связи между двумя соседними ИСЗ одной орбиты и смежных орбитальных плоскостей, ее бортовой ретранслятор обеспечивал обработку и коммутацию каналов и т. п. (рис. 2.7). Для передачи сигналов использовалась технология передачи сигналов, аналогичная той, которая используется в системе сотовой подвижной связи стандарта GSM, применяется временной дуплекс, а скорость передачи сообщений составляла от 2.4 до 9.6 кбит/с.

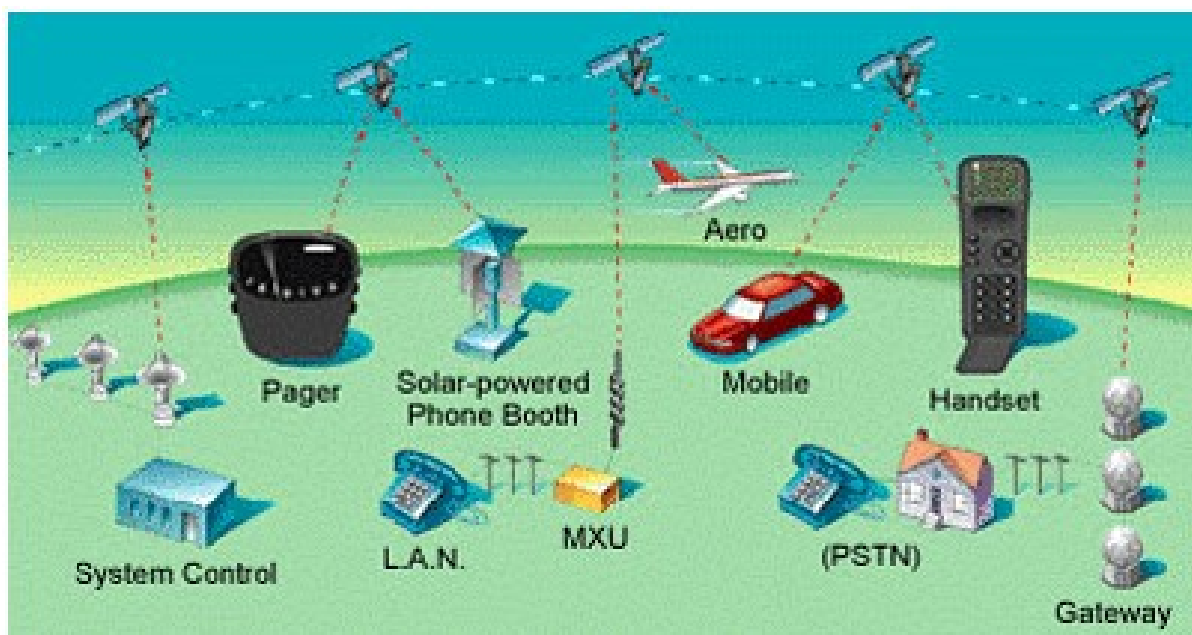


Рис. 2.7.

Система "Иридиум" в 1998 году была реализована в полном объеме и обеспечивала передачу речевых и факсимильных сообщений, данных и сигналов пейджинга, обеспечивалась также передача навигационных сигналов GPS (Global Position System). К сожалению, при вводе ее в эксплуатацию был допущен ряд маркетинговых просчетов, и она не смогла набрать необходимое число абонентов. Одной из причин этого явилось то, что за 6-7 лет, прошедших с начала разработки проекта "Иридиум", произошло весьма быстрое развитие сухопутных сетей сотовой связи, которые охватили значительные территории многих стран. В конце 1999 года компания "Иридиум" потерпела банкротство и прекратила свое существование. Несмотря на коммерческую неудачу проекта "Иридиум", его реализация является крупнейшим научным и техническим достижением XX века.

В 1991 году была выдвинута идея создания более простой, нежели система "Иридиум", системы "Глобалстар", а еще через несколько лет (в 1994 г.) из компании "Инмарсат" выделилась компания ICO (Intermediate Circular Orbit), которая приступила к созданию системы подвижной спутниковой связи с тем же названием. Эти системы, так же как и система "Иридиум", используют низкоорбитальные спутники. В них предполагается предоставлять в основном те же услуги, что и в системе "Иридиум".

В системе "Глобалстар" используется такой же радиointерфейс МДКР, какой используется в американской системе сухопутной сотовой связи; связь обеспечивается в диапазоне частот 1.6-2.5 ГГц с помощью 50 земных станций и 48 спутников связи, расположенных в 8 плоскостях на низких орбитах. Особенностью системы является применение архитектуры "гнутой трубы" (bent-pipe): принимая сигнал абонента, несколько спутников, используя технологию кодового разделения каналов – CDMA, одновременно транслируют его на ближайшую наземную станцию сопряжения. Наземная станция сопряжения авторизует сигнал и маршрутизирует его по наземным

сетям до вызываемого абонента. Основные характеристики спутниковой группировки:

- покрытие от 70° с.ш. до 70° ю.ш.
- 8 наклонных (52°) орбит на высоте 1414 км
- по 6 спутников на каждой (+4 запасных спутника)
- 16зональных лучей
- излучаемая мощность 1100 Вт
- частотный план:

<b>Направление</b>	<b>Частота, МГц</b>
Телефон Глобалстар - Спутник	1610-1625,5
Спутник - Телефон Глобалстар	2483,5-2500
Спутник - Наземная станция сопряжения	6875-7055
Наземная станция сопряжения - Спутник	5091-5250

В ICO(АйКО) применяется радио интерфейс, аналогичный системе GSM. Связь с сетью общего пользования обеспечивается с помощью 12 земных станций и 10 спутников связи, находящихся в двух плоскостях на средних НГО орбитах. Для работы на 6 полярных орбитах системы ICO выделены полосы частот в диапазоне 1.9-2.1 ГГц, который предназначен для развития сетей подвижной связи третьего поколения.

Система ICO включает в себя:

- Один спутник G1 (рис. 2.8) на геостационарной GEO орбите, использующий архитектуру "bent pipe" (гнутой трубы) для связи оборудования конечных пользователей с наземным шлюзом и несколько спутников на орбите МЕО,
- Оборудование формирования лучей (Ground-based beam forming - GBBF), расположенное на наземной шлюзовой станции,
- Наземную приемо-передающую станцию, которая подключается к сети ICO посредством высокоскоростных линий и обеспечивает интерфейс между спутником и сетью.
- Опорный сегмент коммутации/маршрутизации, состоящий из оборудования для маршрутизации голосового, видео трафика и данных между сетью ICO и общественными сетями данных, телефонии, Интернет и ССПО.
- Наземная сеть (АТС - ancillary terrestrial component – вспомогательный наземный компонент) при ее сочетании с предоставляемым ICO спутниковым покрытием обеспечивает повсеместную в национальных масштабах доступность для конечных пользователей.
- Оборудование конечных пользователей поддерживает как режим работы только со спутником, так и совмещенный режим для обслуживания в спутниковой и наземной сети подвижной связи.



Рис. 2.8

Федеральная комиссия по связи – FCC выделила ICO полосу 20 МГц в диапазоне 2 ГГц, предназначенном для MSS (Mobile Satellite Service), с покрытием всех 50 штатов США, а также Пуэрто-Рико и Виргинских островов.

Спутник G1 для ICO вместе с соответствующим наземным оборудованием разработаны и построены Space Systems / Loral Inc. (Loral). G1 успешно запущен 14 апреля 2008. Ожидаемое время жизни 15 лет. Диаметр рефлектора антенны для работы в диапазоне 2 ГГц на Северную Америку составляет 12 метров. На орбиту МЕО запущен в июне 2001 спутник F2. Кроме того, планируется еще 10 спутников МЕО. Спутники имеют активные антенны диапазона S для формирования 490 лучей, предназначенных для пользователей, и диапазона C для связи с наземными станциями.