

**МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**НУКУССКИЙ ФИЛИАЛ ТАШКЕНТСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ИМЕНИ МУХАММАДА АЛ-ХОРЕЗМИЙ**

**Кафедра: Телекоммуникационный инжиниринг  
Направление: Телекоммуникационные технологии**

Допускается к защите  
Зав. кафедрой  
Сеитназаров К.К.  
2017 г. «\_\_» \_\_\_\_\_

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

на тему

Роль и особенности использования радиорелейных линий связи  
в организации сотовых сетей

Выпускник:	_____	Длимбетов А.Ж.
Руководитель:	_____	Турумбетов Б.К.
Рецензент:	_____	
Консультант по БЖД:	_____	Артыков Б.А.

Нукус 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>3</b>
<b>ГЛАВА-1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИОСВЯЗИ И ОБЗОР ИСПОЛЬЗУЕМЫХ УСТРОЙСТВ .....</b>	<b>5</b>
1.1. Организация радиосвязи и классификация радиоволн .....	5
1.2. Классификация систем радиосвязи .....	13
1.3. Используемые устройства в радиосвязи .....	18
<b>ГЛАВА-2. СТРУКТУРА, СОСТАВ ОБОРУДОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ЧАСТОТЫ В РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СВЯЗИ .....</b>	<b>23</b>
2.1. Структура и классификация радиорелейных линий связи .....	23
2.2. Состав оборудования радиорелейных линий .....	31
2.3. Используемые частоты и виды модуляции в радиорелейной связи .....	37
<b>ГЛАВА-3. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ В ОРГАНИЗАЦИИ СОТОВЫХ СЕТЕЙ .....</b>	<b>45</b>
3.1. Структура и принципы построения сотовых сетей .....	45
3.2. Принципы построения радиорелейных линий .....	52
3.3. Применение радиорелейных линий связи в организации сотовых сетей .....	56
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>63</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>64</b>

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день беспроводные телекоммуникационные системы получают всё большее развитие, успешно конкурируя с кабельными и волоконно-оптическими системами связи. Совершенствование электронных и элементных компонентов, появление новых технологий и принципов привели к созданию новых устройств, которые применяются в беспроводных системах связи и отличаются стоимостью, низкой энергоемкостью, малыми габаритами и высокой надежностью. Внедрение беспроводных технологий связи во всем мире идет быстрыми темпами. Достоинством беспроводных систем является малое время развертывания. Это связано с тем, что отпадает необходимость в рытье траншей, укладывании кабеля, а также внутренней разводке проводов и кабелей внутри зданий. Радиорелейная связь является одним из видов беспроводной технологии.

Радиосвязь по линии, образованной цепочкой приемо-передающих радиостанций, называется радиорелейной связью. Осуществляется обычно на деци- и сантиметровых волнах. Этот выбор обусловлен тем, что ширина полосы частот этих диапазонов позволяет работать в нем одновременно многим широкополосным радиопередатчикам с шириной спектра сигналов до нескольких десятков МГц. Радиорелейные системы связи широко распространены и используются для передачи сигналов многоканальных телефонных сообщений, радиовещания, телевидения и фототелеграфных сигналов. На данный момент радиорелейные линии (РРЛ) широко используются для организации сотовых сетей и поэтому изучение структуры, состава оборудования, принципов построения и применения РРЛ в построении и организации сетей сотовой связи считается актуальной.

В первой главе данной выпускной квалификационной работы рассмотрены общие принципы организации радиосвязи, а также приведена классификация систем радиосвязи и обзор используемых устройств.

Во второй главе описаны структура и состав оборудования, приведены используемые частоты и рассмотрены виды модуляции, используемые в радиорелейной связи.

В третьей главе данной работы рассмотрена структура и изучены принципы построения сотовой и радиорелейной связи, а также приведена схема построения сотовой сети с применением радиорелейной линии связи.

В четвертой главе рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности.

# ГЛАВА-1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИОСВЯЗИ И ОБЗОР ИСПОЛЬЗУЕМЫХ УСТРОЙСТВ

## 1.1. Организация радиосвязи и классификация радиоволн

Радиосвязь – это беспроводная передача сообщений с использованием электромагнитных волн, то есть радиоволн. По определению, радиосвязь – один из видов информационной связи, понимаемой в широком смысле как обмен сообщениями.

Радио - общий термин, применяемый к любым практическим применениям части спектра электромагнитных волн, называемой радиоволнами или волнами Герца; волн, распространяющихся через открытое пространство без искусственных направляющих средств, таких, как провода или трубы – волноводы. Ограничение области применения этого термина частью спектра необходимо по той причине, что свет, как известно, также представляет собой электромагнитные волны и, как уже отмечено выше, применяется для беспроводной связи, но в этом случае речь идет об оптической связи.

Свет не проходит через туман, стены зданий и другие препятствия, дальность его распространения вдоль поверхности земли невелика. Радиоволны проникают повсюду и дальность их распространения практически безгранична. Этим фактом определяется решающее различие между оптической связью и радио.

Границы волновых спектров определяются длинами волн либо количеством волн, проходящих через данную точку пространства за 1 с – частотами. Самые высокие частоты оптического диапазона относятся к рентгеновским лучам. Ниже их лежат спектры ультрафиолетового, видимого и инфракрасного света. К диапазону радиоволн относятся электромагнитные

волны с любыми частотами ниже условной границы инфракрасного диапазона, за которую принимается  $3 \cdot 10^{12}$  Гц.

В 1895 году русский ученый Александр Степанович Попов изобрел радио. Эта дата считается днем рождения радио и в этот день была проведена первая радиопередача. Сейчас по радиосвязи ежедневно передаются большие потоки различной информации. В особенности очень важна роль радио для связи с кораблями, самолетами, экспедициями, так как связь с этими объектами возможна только по радио.

Простейшая схема радиосвязи приведена на рис.1.1.



*Рис.1.1. Простейшая схема радиосвязи.*

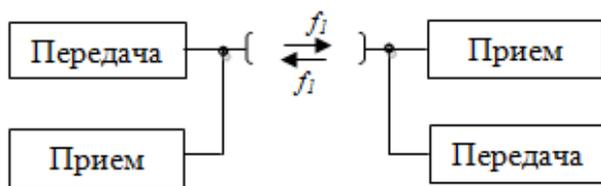
Здесь:

- 1 – источник информации;
- 2 – преобразователь сообщения в электрический сигнал;
- 3 – радиопередающее устройство (РПДУ);
- 4, 5 – антенно-фидерные устройства (АФУ) на передающем и приемном конце;
- 6 – радиоприемное устройство (РПрУ);
- 7 – необходимый преобразователь для преобразования электрического сигнала в исходное сообщение;
- 8 – получатель информации.

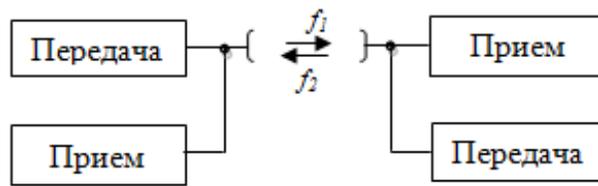
Комплекс состоящий из передатчика, передающей антенны, среды распространения волн, приемной антенны и приемника образует линию радиосвязи. Совокупность технических средств, обеспечивающих передачу

сообщения от одного источника информации к получателю – называется **каналом радиосвязи**.

Для обмена информацией между двумя пунктами организуется двусторонняя радиосвязь, которая обеспечивается при помощи двух комплектов оборудования односторонней связи, действующих на встречу друг другу. Двусторонняя радиосвязь может быть организована двумя способами: симплекс и дуплекс.



*Рис.1.2. Симплексный способ.*



*Рис.1.3. Дуплексный способ.*

**Классификация радиоволн.** Термин «радиоволны» обозначает электромагнитные волны, принадлежащие тому или иному диапазону частот, применяемому в радиотехнике. Специальным решением Международного союза электросвязи (МСЭ) и Международной электротехнической комиссии (МЭК) принято различать следующие диапазоны радиочастот и соответствующих длин радиоволн, которые приведены в табл.1.1.

Радиотехника исторически развивалась с неуклонной тенденцией к освоению все более высокочастотных диапазонов. Это было связано прежде всего с необходимостью создавать высокоэффективные антенные системы, концентрирующие энергию в пределах узких телесных углов. Дело в том, что антенна с узкой диаграммой направленности обязательно должна иметь поперечные размеры, существенно превышающие рабочую длину волны. Такое условие легко выполнить в метровом, а тем более в сантиметровом диапазоне, в

то время как остронаправленная антенна для мириаметровых волн имела бы совершенно неприемлемые габариты.

Таблица 1.1. Диапазоны радиочастот и длины радиоволн.

<b>Наименование диапазона</b>	<b>Длина волны</b>	<b>Частота</b>	<b>Примеры использования</b>
Мириаметровые	100...10 км	3...30 кГц	Дальняя радионавигация
Километровые	10...1 км	30...300 кГц	Радиовещание
Гектометровые	1000...100 м	0,3...3 МГц	Радиовещание
Декаметровые	100...10 м	3...30 МГц	Радиовещание. Мобильная радиосвязь
Метровые	10...1 м	30...300 МГц	УКВ ЧМ и телевизионное вещание. Мобильная и самолетная радиосвязь
Дециметровые	1...0,1 м	0,3...3 ГГц	Телевизионное вещание. Космическая радиосвязь и радионавигация. Сотовая радиосвязь
Сантиметровые	10...1 см	3...30 ГГц	Космическая радиосвязь. Радиолокация. Радионавигация. Радиоастрономия.
Миллиметровые	10...1 мм	30...300 ГГц	Космическая радиосвязь.

Вторым фактором, определяющим ценные свойства высокочастотных диапазонов, служит то обстоятельство, что здесь удастся реализовать большое число радиоканалов со взаимно не пересекающимися полосами частот. Это дает возможность, с одной стороны, широко использовать принцип частотного

разделения каналов, а с другой - применять широкополосные системы модуляции, например частотную модуляцию. При определенных условиях такие системы модуляции способны обеспечить высокую помехоустойчивость работы радиоканала.

**Основные законы распространения радиоволн.** Имеются следующие законы распространения радиоволн:

1. В однородной (изотропной) среде радиоволна распространяется прямолинейно с постоянной скоростью:  $v = const$ .

2. При переходе радиоволн из одной среды в другую с отличающейся диэлектрической постоянной, на границе раздела двух сред происходит отражение волны и ее преломление.

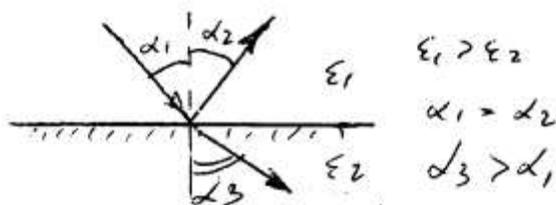


Рис.1.4. Отражение и преломление радиоволн.

3. В любое место приема волны могут прийти двумя путями: поверхностной волной или пространственной волной.

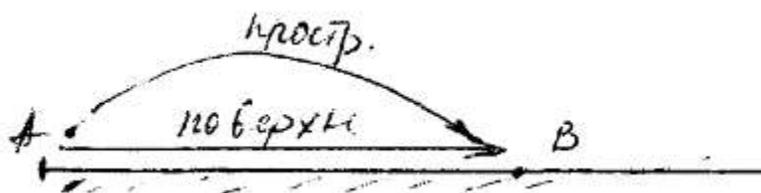


Рис.1.5. Поверхностные и пространственные волны.

4. Радиоволны подчиняются закону дифракции, т.е. могут огибать препятствия соизмеримые длиной волны.

5. Радиоволны при своем распространении, подчиняются закону рефракции. Это происходит, если волна проходит через среду с непрерывно меняющейся диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ , то происходит искривление ее траектории.

6. При распространении радиоволн может происходить их интерференция, т.е. наложение одного колебания на другое с различными фазами.

7. Радиоволны, отраженные от ионосферы, при падении на землю частично рассеиваются ее поверхностью, причем, некоторая доля энергии возвращается к источнику излучения (эффект Кабанова).

**Распространение радиоволн.** Характер распространения радиоволн в значительной степени зависит от частоты излучаемых сигналов, подразделяемых на диапазоны.

Частота радиосигнала  $f$  и длина волны  $\lambda$  связаны соотношением

$$f=c/\lambda,$$

где  $c = 300000$  км/с – скорость света.

Из формулы имеем

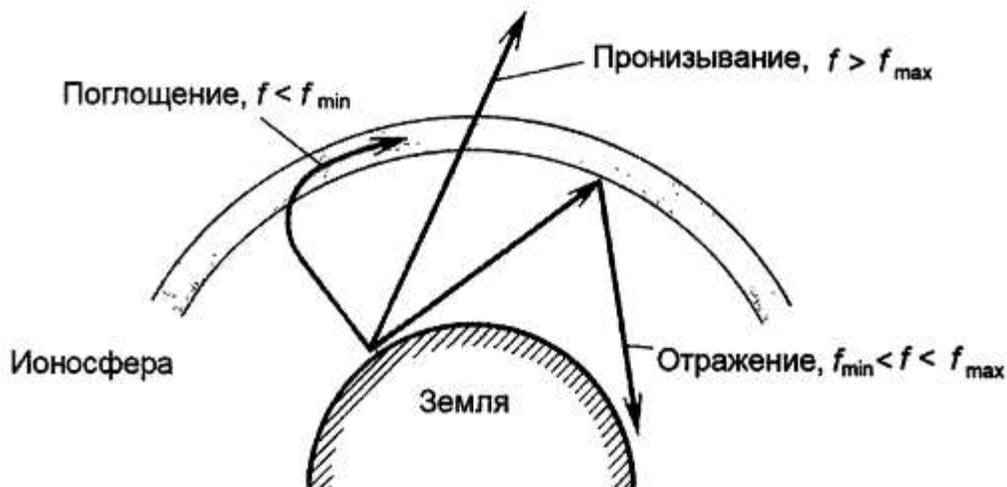
$$f[\text{кГц}] = 300/\lambda [\text{км}], f[\text{МГц}] = 300/\lambda [\text{м}], f[\text{ГГц}] = 30/\lambda [\text{см}].$$

На распространение радиоволн сильное влияние оказывают ионосфера, поверхность Земли и состояние тропосферы.

Ионосферой называются ионизированные слои атмосферы, возникновение которых обусловлено солнечной радиацией, под действием которой в разряженном газе появляются свободные электроны.

В результате вокруг Земли на расстоянии 50...500 км появляется несколько сильно ионизированных слоев. Радиоволны в зависимости от их частоты могут пронизывать ионосферу, отражаться от нее или поглощаться (рис.1.4.).

Для радиоволн частотой выше 30...40 МГц ионосфера практически «прозрачна»: радиоволны пронизывают ее и проникают в космическое пространство.



*Рис.1.4. Пронизывание ионосферы радиоволнами, поглощение и отражение радиоволн от ионосферы.*

**Диапазон сверхдлинных волн или очень низкие частоты – мириаметровые волны.** Волны в этом диапазоне распространяются в пространстве между поверхностью Земли и ионосферой, внутри которого радиоволна может даже обогнуть Землю (рис.1.5а). Кроме того, волны ОНЧ проникают в толщу воды и могут использоваться для радиосвязи с погруженными в океан объектами.

**Диапазон длинных волн – километровые волны.** Затухание поверхностной волны в этом диапазоне с повышением частоты увеличивается из-за влияния поверхности Земли, в связи с чем дальность распространения ее по сравнению с ОНЧ уменьшается, достигая все же в зависимости от мощности радиопередатчика 3000...5000 км (рис.1.5б).

**Диапазон средних волн – гектометровые волны.** В этом диапазоне радиосвязь также осуществляется только поверхностной волной, но ее

затухание из-за влияния поверхности Земли еще более возрастает. При этом напряженность электрического поля в месте приема можно определить согласно следующему примерному соотношению:

$$E = \frac{150\sqrt{P}}{R} \left[ \frac{\text{мВ}}{\text{м}} \right]$$

где  $P$  – мощность радиопередатчика, кВт;  $R$  – расстояние, км.

Например, согласно формуле при  $P=1$  кВт и  $R=50$  км получим  $E=3$  мВ/м. Эта величина является нижним пределом для радиовещательных приемников. Поэтому даже при повышенной мощности радиопередатчика дальность радиоприема в диапазоне средних волн обычно не превышает 200 км, за исключением особых случаев распространения поверхностной волны.

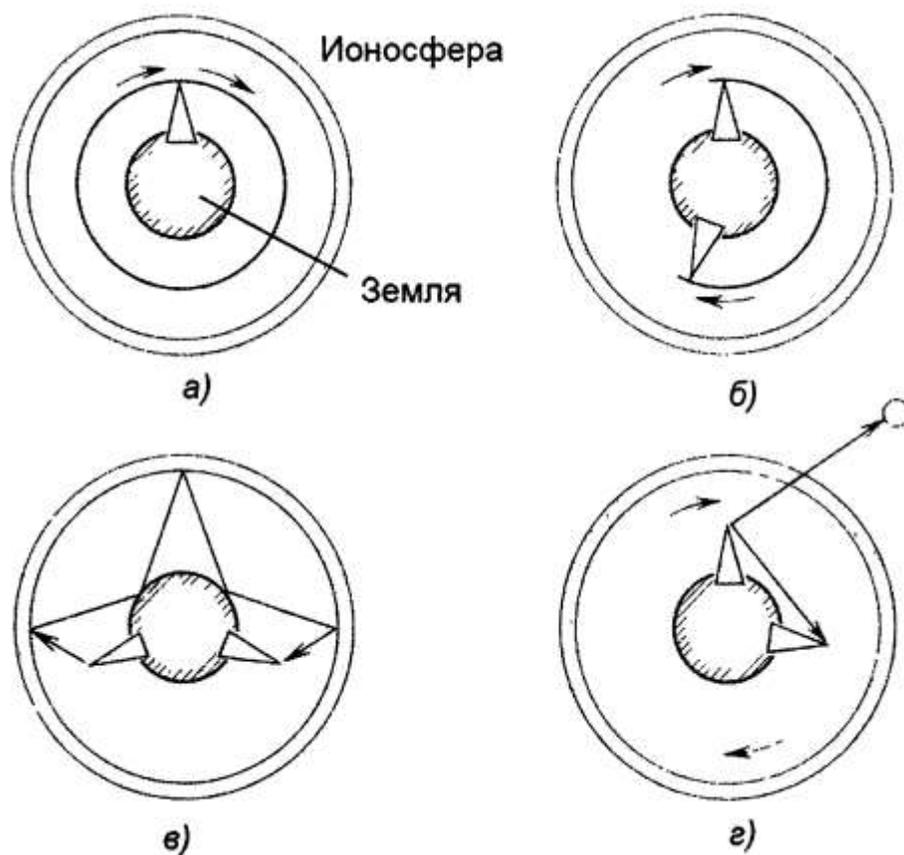


Рис.1.5. Распространение радиоволн между Землей и ионосферой.

**Диапазон коротких волн – декаметровые волны.** В этом диапазоне определяющее влияние на дальность радиоприема оказывает ионосфера. Причем, за счет двукратного отражения радиоволны даже при мощности радиопередатчика в пределах 1 кВт дальность радиоприема может достигать 10000 км и более (рис.1.7в).

**Диапазон метровых волн – ультракороткие волны.** В этом диапазоне возможна только радиосвязь прямым лучом, т.е. когда между приемной и передающей антеннами можно провести прямую линию (рис.1.7г).

Однако в нижней части метрового диапазона (частота 30 МГц) за счет явлений дифракции и рефракции, приводящих к искривлению луча и распространению поверхностной волны, огибающей Землю, возможна радиосвязь и за пределами прямой видимости. За счет дальнего тропосферного распространения радиоволн удастся даже удлинить трассу радиоприема до 3000...4000 км. Такая радиосвязь называется загоризонтной.

**Диапазон сверхвысоких частот, объединяющий все диапазоны выше 300 МГц.** Здесь радиосвязь возможна только прямым лучом (рис.2.5,г). Как было сказано выше, ионосфера практически не оказывает заметного влияния на радиоволны в этом диапазоне. Все космические линии радиосвязи за пределами атмосферы Земли импользуют только диапазон СВЧ.

## **1.2. Классификация систем радиосвязи**

В современной технике передачи сообщений можно выделить три типа систем радиосвязи: глобальные, территориальные и автономные.

Первый тип систем включает интегрированные сети связи между абонентами, объединяющие различные физические каналы: радиоволновые наземные, радиоволновые спутнико-космические, наземные кабельные,

главным образом волоконно-оптические. Такие глобальные сети связи представляют разнообразные по функциональному содержанию услуги громадному количеству коллективных и индивидуальных пользователей и охватывают как плотнонаселенные и высокоразвитые в технико-экономическом отношении регионы Земли, так и пустынные, малонаселенные области.

С помощью такой глобальной сети связи функционирует система Internet, объединяющие миллионы компьютеров по всему миру, обменивающихся информацией на базе современных технологий.

К 2006 г. разработаны глобальные системы спутнико-космической радиосвязи, охватывающие всю нашу планету и обеспечивающие всемирную телефонную радиосвязь и передачу цифровой информации абонентам, находящимся в любой точке Земли. Разнообразные коллективные и индивидуальные пользователи могут воспользоваться услугами таких глобальных систем радиосвязи и с их помощью удовлетворить информационные потребности, находясь на территории любой страны.

Второе направление в технике связи – это информационное обслуживание пользователей одного континента, страны и определенного географического района. Сотовые наземные системы радиосвязи, имеющие сеть базовых станций и обслуживающие абонентов в пределах определенной территории. Такие территориальные системы связи могут, в свою очередь, взаимодействовать с глобальными системами, являясь их составной частью.

Третье направление в технике связи – это информационное обслуживание ограниченного числа пользователей в рамках замкнутой, автономной системы, которая обычно является наземной, радиоволновой и принадлежащей определенному производству или предприятию рассредоточенного типа.

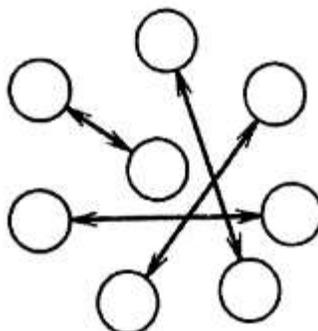
Так, например, автотранспортное предприятие может стать коллективным пользователем некоторой территориальной системы радиосвязи (второй тип)

или иметь собственную автономную систему радиосвязи со своими автомашинами и автобусами (третий тип).

Выбор того или иного типа системы зависит от набора информационных услуг, предоставляемых выбранной системой радиосвязи, стоимости этих услуг и надежности работы. Например, стоимость информационной инфраструктуры не должна превышать, скажем, 5% от затрат основного производства, что может диктовать выбор типа системы радиосвязи. В другом случае, в связи с особым характером производства, достоверность передачи информации должна быть не хуже, например 0,9999, с мгновенным сообщением о внештатной ситуации на контролируемых объектах, что сразу отмечает определенную группу систем радиосвязи. В третьем случае система радиосвязи не может предоставить весь требуемый набор информационных услуг, например, не обеспечивает передачу компьютерной информации, что сужает выбор конкурирующих между собой систем.

При всем разнообразии систем радиосвязи различного назначения по структуре построения и принципу установления «контакта» между абонентами их можно подразделить на хаотический, линейный и централизованный типы.

В системе хаотического, или децентрализованного, типа каждый из абонентов может непосредственно связываться с другим (рис.1.6).



*Рис.1.6. Децентрализованный тип.*

Для вызова любого из абонентов необходимо знать только его адрес – определенную кодовую комбинацию символов. При общем числе абонентов  $N$  максимальное число одновременно установленных связей в такой системе может составить  $N/2$ , если только радиоизлучения одновременно работающих радиостанций не создают взаимных помех.

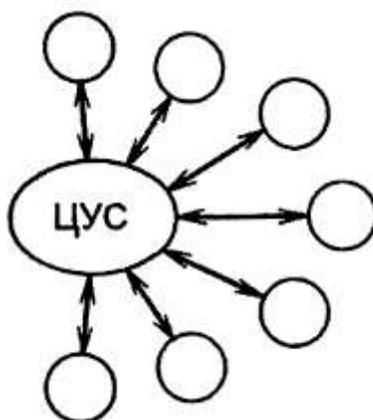
В системе линейного типа связь между абонентами осуществляется по «цепочке»: от одного – к другому (рис.1.7.).



*Рис.1.7. Линейный тип.*

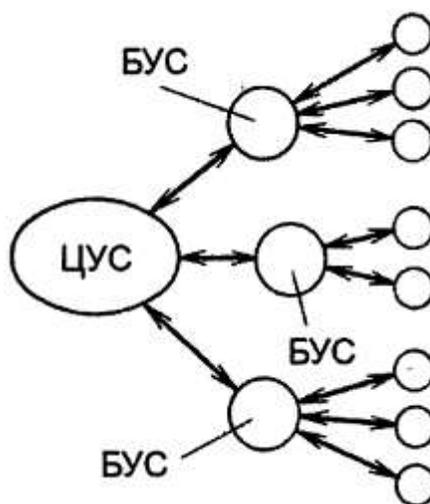
Именно так работает радиорелейная система связи, в которой информация с помощью вытянутых в цепочку ретрансляторов передается на несколько тысяч километров.

В централизованной системе связь каждого абонента с любым другим устанавливается только через общий узел, который называется центральным (ЦУС). Прямая связь между абонентами отсутствует и, только пропустив свой сигнал через общий узел, можно связаться с другим абонентом (рис.1.8).



*Рис.1.8. Централизованный тип.*

Централизованная система может иметь несколько уровней, когда терминалы последних являются базовыми узлами связи для группирующихся вокруг них абонентов. Пример такой централизованной двухуровневой системы радиосвязи с базовыми узлами связи (БУС) приведен на рис.1.9.



*Рис.1.9. Двухуровневый централизованный тип.*

К централизованным системам относятся рассматриваемые ниже спутнико-космическая и сотовая системы радиосвязи.

Параметры, в целом характеризующие систему радиосвязи можно разделить на три группы: общие, радиотехнические и эргономические.

**К общим параметрам** относятся количество обслуживаемых абонентов, число входящих в систему радиостанций и радиоретрансляторов, охват обслуживаемой территории, режимы работы, возможные виды передаваемых сообщений (речь, телевизионные передачи, компьютерная информация, факсимильные сообщения и т.д.).

**К радиотехническим параметрам** относятся диапазон рабочих частот, количество радиоканалов или стволов связи и полоса их пропускания, используемые виды модуляции, спектры излучаемых сигналов, мощность радиопередатчиков, чувствительность радиоприемников, типы антенн и некоторые другие.

**К эргономическим показателям** относятся стоимость предоставляемых услуг пользователям или абонентам системы, капитальные затраты, эксплуатационные расходы, рентабельность и другие показатели.

### 1.3. Используемые устройства в радиосвязи

В системах радиосвязи широко используются антенны, радиопередатчики и радиоприемники, без которых невозможно представить беспроводную радиосвязь.

**Антенны.** Радиотехническое устройство, которое предназначено для излучения или приема электромагнитных волн, т.е. радиоволн называется антенной.

Передающие и приемные антенны обладают принципом взаимности, т.е. принципиально любая передающая антенна, может быть использована в качестве приемной.

К основным параметрам антенны относятся:

- ширина полосы;

- ширина диаграммы направленности;
- коэффициент направленности и передача в прямом направлении;
- эффективная высота (длина) антенны;
- эффективная излучаемая мощность;
- сопротивление излучения и эффективность;
- отношение прямого и обратного излучения;
- импеданс;
- поляризация.
- диаграмма направленности.

**Фидерные тракты.** Передача энергии от передатчика к антенне и от антенны к приемнику осуществляется по фидерному тракту. К нему предъявляются следующие требования:

1. Фидер не должен излучать и принимать энергию;
2. Передача энергии должна осуществляться с минимальными потерями;
3. Отражения в фидере должны быть минимальными;
4. Необходимо знать ( $P_{max}$ ) максимально передаваемую мощность, при которой исключена возможность ее разрушения;
5. Фидеры должны обеспечить эффективную передачу высокочастотной энергии в широком диапазоне частот.

**Радиопередающие устройства.** Радиопередающими устройствами называются радиотехнические аппараты, служащие для генерирования, усиления по мощности и модуляции ВЧ и СВЧ колебаний, подводимых к антенне и излучаемых в пространство.

В основе классификации РПДУ лежат 5-основных признака:

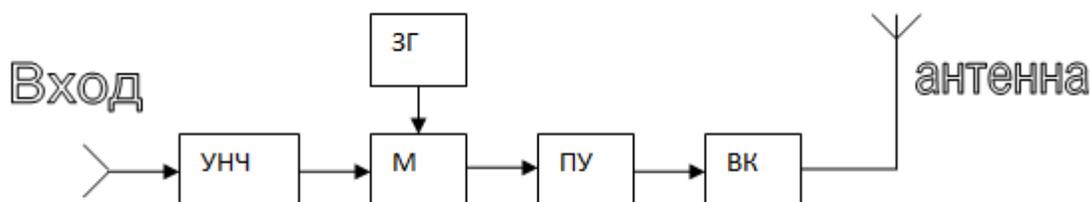
- по назначению;
- по объекту исследования;
- по диапазону рабочих частот;
- по выходной мощности;

- по виду излучений.

Основными показателями передатчиков являются:

1. Полезная мощность передатчика;
2. Диапазон рабочих частот;
3. Стабильность частоты несущего колебания;
4. Коэффициент полезного действия. Общий и промышленный.
5. Степень фильтрации высших гармоник;
6. Вид модуляции;
7. Степень допустимых искажений передаваемого сигнала;
8. Конструктивное выполнение и эксплуатационные данные.

Простая структурная схема передатчика приведена на рис.1.12.



*Рис.1.12. Структурная схема передатчика.*

Здесь:

**УНЧ** – усилитель низкой частоты;

**ЗГ** – задающий генератор;

**М** – модулятор;

**ПУ** – промежуточный усилитель;

**ВК** – выходной каскад.

**Радиоприемные устройства.** Радиоприемные устройства бывают радиовещательные и профессиональные. Радиовещательные приемники предназначены для приема звуковых и телевизионных программ.

Профессиональные радиоприемники предназначены для работы на радиорелейных линиях (РРЛ), в радиолокационных, радионавигационных системах и пр. Профессиональные приемники классифицируются по следующим признакам:

- по виду приемной схемы;
- по диапазону принимаемых частот;
- по роду работы;
- по месту установки приемника.

Основными показателями радиоприемников являются:

1. Чувствительность приемника;
2. Коэффициент усиления приемника;
3. Избирательность приемника;
4. Диапазон принимаемых частот;
5. Качество воспроизведения принимаемых сигналов;
6. Коэффициент шума приемника.

Структурная схема приемника приведена на рис.1.13.

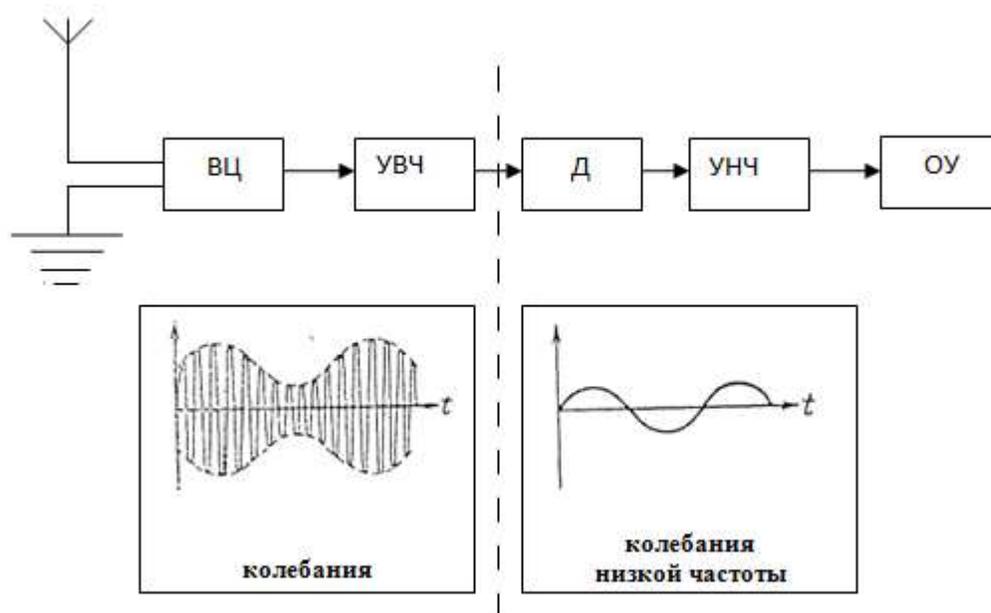


Рис.1.13. Структурная схема передатчика.

Здесь:

**ВЦ** – входная цепь;

**УВЧ** – усилитель высокой частоты;

**Д** – детектор;

**УНЧ** – усилитель низкой частоты;

**ОУ** – оконечное устройство.

Все эти устройства, т.е. антенны, радиопередатчики и приемники, которые необходимы для организации радиосвязи, являются неотъемлемой частью беспроводной радиосвязи.

## **ГЛАВА-2. СТРУКТУРА, СОСТАВ ОБОРУДОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ЧАСТОТЫ В РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СВЯЗИ**

### **2.1. Структура и классификация радиорелейных линий связи**

Темпы увеличения потребности в электросвязи и соответственно темпы реализации этой потребности в технических системах непрерывно увеличивались на всем протяжении заканчивающегося XX в. и продолжают нарастать. Непрерывный и быстрый рост потоков информации между людьми, учреждениями, населенными пунктами и странами – один из наиболее характерных процессов в развитии современной культуры.

Благодаря очевидным достоинствам связи без проводов именно радиосвязь развивалась особенно быстро, как по объемам, так и по количеству и уровню новых открытий, изобретений, конструкций, и по масштабам внедрения в жизнь. Это развитие привело к обострению проблемы электромагнитной совместимости радиотехнических устройств, так как открытое распространение радиоволн делает неизбежные взаимные помехи работе этих устройств, действующих в общем пространстве.

Государственное и международное регулирование радиосвязи и радиовещания помогает в некоторой степени преодолевать возникающие трудности. В частности концентрированное, направленное и ограниченное по дальности излучение волн позволяет за счет усложнения антенных устройств и уменьшения мощности радиопередатчиков ослабить в некоторой мере межстанционные помехи, если излучения передатчиков разных корреспондентов распространяются на разных, неперекрывающихся территориях. Однако на практике ресурс пространственного разграничения корреспондентов в сетях радиосвязи ограничен.

Другой ресурс – разделение по времени. В этом случае для включения передатчика каждого корреспондента выделяются определенные, четко ограниченные интервалы времени. Передатчики разных корреспондентов, даже в пределах общей территории, работая «по очереди», не мешают один другому. Однако и этот путь сопряжен с существенными организационными и техническими сложностями; кроме того, он сопряжен с ограничением объемов передаваемой информации.

Более эффективно частотное разделение, при котором для излучения в каждой линии радиосвязи выделяется определенная длина волны и размещенная для занятия полоса частот, в которой на данной территории практически отсутствуют излучения других корреспондентов.

Ширина частотного спектра телефонного сигнала составляет, как известно, несколько килогерц. При частотном разделении полос частот, выделяемых для разных линий телефонной радиосвязи, суммарная полоса частот на данной территории и на данном направлении пропорциональна числу использующих эту полосу корреспондентов. Если это число составляет, например, десятки тысяч, то и необходимая полоса частот составляет, по меньшей мере, десятки мегагерц. Это условие делает нереальным в описанных условиях использование диапазона низких частот (НЧ), ширина которого составляет менее 300 кГц, диапазона средних частот (СЧ) шириной около 3 МГц и даже диапазона высоких частот (ВЧ), полная ширина которого менее 30 МГц. Нереальность широкомасштабного развития радиосвязи в этих диапазонах тем более очевидна, что их значительные участки выделены и служат для звукового радиовещания на обширных территориях большей части стран мира.

Тем более очевидна невозможность применения в широких масштабах радиосвязи в перечисленных диапазонах для обмена программами между центрами телевизионного радиовещания, так как частотный спектр излучения каждого передатчика этого назначения занимает полосу в несколько мегагерц.

Передача телевизионных сигналов в диапазоне ВЧ невозможна по той причине, что условия распространения радиоволн на значительные расстояния очень сильно различаются в разных частях этого диапазона; из-за этого передача была бы невозможна не только вследствие его ограниченности, но и из-за неизбежных неустраняемых искажений передаваемого изображения.

Изложенные причины привели к внедрению радиосвязи в широких диапазонах ОВЧ, УВЧ и СВЧ.

Ограничение дальности распространения волн можно считать недостатком микроволновых диапазонов, так как усложняет систему радиосвязи на больших расстояниях; но с другой точки зрения оно оказывается достоинством, так как позволяет применять одни и те же частоты на пространственно разнесенных участках территории, где благодаря относительной взаимной отдаленности этих участков взаимные помехи не проявляются.

Радиорелейные линии связи (РРЛ), как и коаксиальные и волоконно-оптические кабельные магистрали, служат для многоканальной передачи сотен и тысяч телефонных сообщений, ряда телевизионных программ, высокоскоростной передачи данных в буквенно-цифровой форме от многих корреспондентов и др.

К числу относительных преимуществ РРЛ по сравнению с подземными кабелями относятся:

- техническая реализуемость и экономическая целесообразность прокладки этих линий связи в местах с повышенной сложностью и стоимостью работ по подземной и подводной прокладке кабелей;
- меньшая вероятность повреждений, а также меньшие трудности их обнаружения и исправления;
- возможность ответвления и ввода информации без более сложных работ, требующих вскрытия подземных кабельных линий.

Очевидный недостаток РРЛ по сравнению с кабелями, как и недостаток радиосвязи вообще – открытое распространение волн в окружающем пространстве и открытое расположение всех технических сооружений. Это обстоятельство может увеличивать возможность повреждения технических средств в некоторых ситуациях, а также снижает защищенность передаваемой информации от перехвата.

Упрощенная структурная схема радиорелейной линии связи, основанная на принципах многократной ретрансляции, показана на рис.2.1. Различаются оконечные, промежуточные и узловые станции.

Оконечные станции устанавливаются в крайних пунктах линии связи и содержат модуляторы и передатчики в направлении передачи сигналов и приемники с демодуляторами в направлении приема. Для приема и передачи применяется одна антенна, соединенная с трактами приема и передачи при помощи антенного разветвителя (дуплексера). Модуляция и демодуляция сигналов проводится на одной из стандартных промежуточных частот (70-1000 МГц).

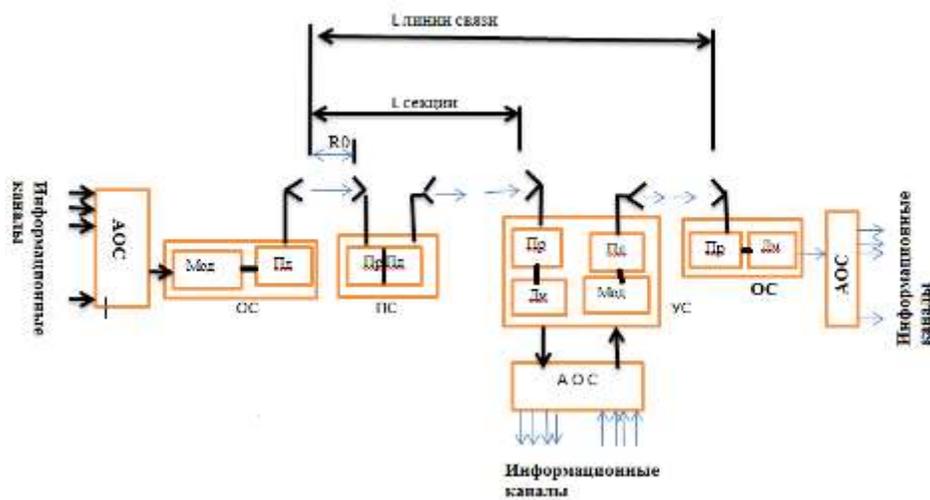


Рис.2.1. Структурная схема одноствольной радиорелейной линии связи.

При этом модемы могут работать с приемопередатчиками, использующими различные частотные диапазоны. Передатчики предназначены для преобразования сигналов промежуточной частоты в рабочий диапазон СВЧ, а приемники - для обратного преобразования и усиления сигналов промежуточной частоты. Существуют системы РРЛс непосредственной модуляцией сигналов СВЧ (например, аппаратура Эриком-11), но они имеют ограниченное распространение. Упрощенная структурная схема оконечной станции показана на рис.2.2.

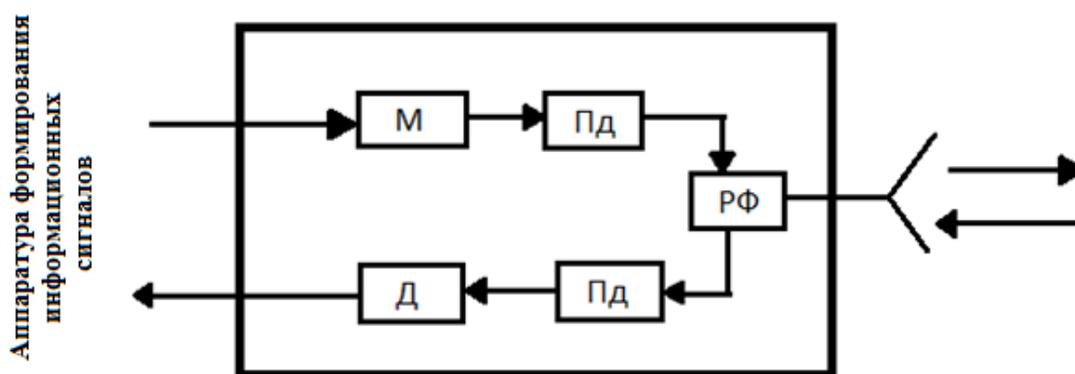


Рис.2.2. Структурная схема оконечной станции.

Промежуточные станции располагаются на расстоянии прямой видимости и предназначены для приема сигналов, усиления их и дальнейшей передаче по линии связи. Прием и передача сигналов на промежуточных станциях должна проводиться на разных частотах для устранения паразитных связей в приемопередатчиках за счет влияния обратного излучения близко расположенных антенн. Разница между частотами приема и передачи называется частотой сдвига ( $A_{сдв}$ ). На рис.2.3 показана структурная схема промежуточной станции:

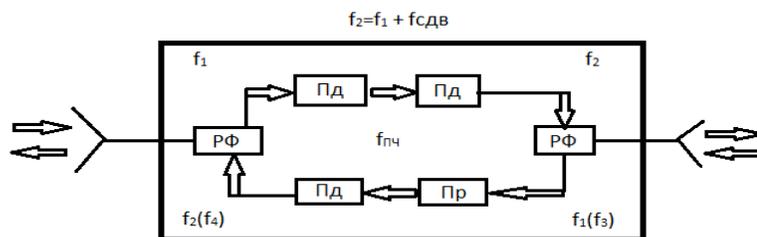


Рис.2.3. Структурная схема промежуточной станции.

Узловые станции (рис.2.4) выполняют как функции промежуточных станций, так и функции ввода и вывода информации. Поэтому они устанавливаются в крупных населенных пунктах или в точках пересечения (ответвления) линий связи.

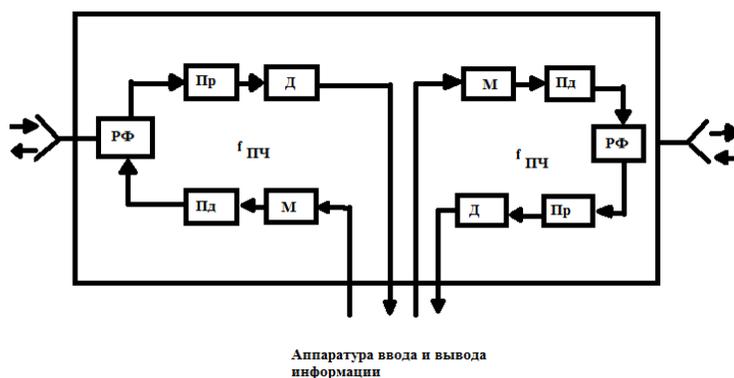


Рис.2.4. Структурная схема узловой станции.

Промежуток между ближайшими станциями называется пролетом (или интервалом) РРЛ. Протяженность пролета зависит от многих причин и, в среднем, достигает 50-60 км в диапазонах частот до 6 - 8 ГГц и нескольких км в диапазонах 30-50 ГГц.

Промежуток между оконечной станцией и ближайшей узловой или между узловыми станциями называется секцией РРЛ, а совокупность

приемопередающего оборудования образует ствол РРЛ. Различаются однонаправленные стволы и двунаправленные (для дуплексной связи).

**Классификация радиорелейных линий.** РРЛ прямой видимости можно классифицировать по различным признакам и характеристикам. Рассмотрим классификацию РРЛ по наиболее важным из них.

1. По назначению различают: междугородные магистральные, внутризоновые, местные РРЛ.

2. По диапазону рабочих (несущих) частот РРЛ подразделяются на линии дециметрового и сантиметрового диапазонов. В этих диапазонах в соответствии с Регламентом радиосвязи для организации РРЛ выделены полосы частот, расположенные в области 2, 4, 6, 8, 11 и 13 ГГц. В настоящее время созданы радиорелейные линии на частотах порядка 18 ГГц и выше. Переход на более высокие частоты позволил увеличить пропускную способность системы передачи. Однако использование столь высоких частот затруднено из-за сильного ослабления энергии радиоволн во время атмосферных осадков.

3. По способу уплотнения каналов и виду модуляции несущей можно выделить:

а) РРЛ с частотным уплотнением (разделением) каналов (ЧРК) и ЧМ гармонической несущей;

б) РРЛ с временным уплотнением (разделением) каналов (ВРК) и аналоговой модуляцией импульсов, которые затем модулируют несущую;

в) цифровые РРЛ, в которых отсчеты сообщений квантуются по уровням и кодируются.

4. По принятой в настоящее время классификации РРЛ разделяют на системы большой, средней и малой емкости.

К РРЛ большой емкости принято относить системы, позволяющие организовать в одном стволе 600 и более каналов и более каналов тональной частоты (ТЧ), что соответствует пропускной способности более 100 Мбит/с.

Если РРЛ позволяет организовать 60-600 или менее 60 каналов ТЧ, то эти системы относятся к линиям связи средней и малой емкости. Пропускная способность таких РРЛ равна соответственно 10-100 и менее 10 Мбит/с.

В современных телекоммуникационных системах РРЛ используются для создания стационарных, магистральных линий связи в несколько тысяч километров для передачи больших потоков информации. В этих случаях применяют системы большой емкости. Магистральные РРЛ обычно являются многоствольными.

Стационарные РРЛ средней емкости используются для организации зонной связи. Это линии протяженностью до 500-1500 км. Подобные РРЛ в большинстве случаев рассчитаны на передачу ТВ сигналов и сигналов радиовещания. Часто эти линии являются многоствольными и ответвляются от магистральных РРЛ.

РРЛ малой емкости применяются в местной сети связи. Кроме того, малоканальные РРЛ обеспечивают служебной связью железнодорожный транспорт, газопроводы, нефтепроводы, линии энергоснабжения.

Пропускная способность РРЛ может быть в несколько раз увеличена за счет образования новых стволов. Для этого на РРЛ станциях устанавливаются дополнительные комплексы приемопередающего оборудования, с помощью которых создаются новые высокочастотные тракты. Для сигналов разных стволов используются различные несущие частоты. Все системы многоствольной РРЛ организуются таким образом, чтобы все стволы работали независимо один от другого, были взаимозаменяемыми. Такой принцип повышает надежность всей линии в целом.

Повышение пропускной способности РРЛ за счет многоствольной работы не приводит к пропорциональному росту стоимости линии, так как многие ее элементы (антенны, станционные сооружения, опоры для подвеса антенн, источники электроснабжения) являются общими для всех стволов.

В настоящее время в наземной распределительной телекоммуникационной сети Узбекистана, особенно при организации сотовых сетей построены цифровые РРЛ с большой пропускной способностью.

При организации связи по цифровой радиорелейной линии должна быть решена проблема выделения частот приема и передачи. Ее решение относится к компетенции ГКРЧ РУз, и для РЭС всех назначений эта процедура осуществляется в соответствии с «Положением о порядке выделения полос (номиналов) радиочастот...» и результатами рассмотрения в установленном порядке радиочастотных заявок, поступающих от заявителей.

В ряде случаев, например, в условиях больших городов, получение свободных радиочастот на некоторых направлениях затруднительно, что связано с проблемой электромагнитной совместимости с другими радиотехническими системами (РТС).

## **2.2. Состав оборудования радиорелейных линий**

**Приемопередающий модуль ODU.** В РРЛ системах раздельного монтажа приемопередающий модуль ODU устанавливается снаружи и используется для преобразования сигнала ПЧ в сигнал РЧ на передаче и РЧ в ПЧ на приеме обработки и усиления РЧ сигнала. Характеристики модуля ODU зависят от частотного диапазона и независимы от емкости передачи данных. Один модуль ODU не может покрыть весь частотный диапазон, поэтому один частотный диапазон разбивается на несколько под диапазонов, например, А, В и С. Отдельный под диапазон соответствует одному модулю ODU. В настоящее время ведущие производители РРЛ оборудования производят модули ODU, которые могут быть программно настроены на весь частотный диапазон.

Кроме того, модули ODU отличаются поддержкой различной ширины поддиапазонов и дуплексного разнеса. Один модуль ODU может поддерживать или только верхние частоты, или только нижние частоты поддиапазона. Функциональная блочная структура модуля ODU приведена на рис 2.5.

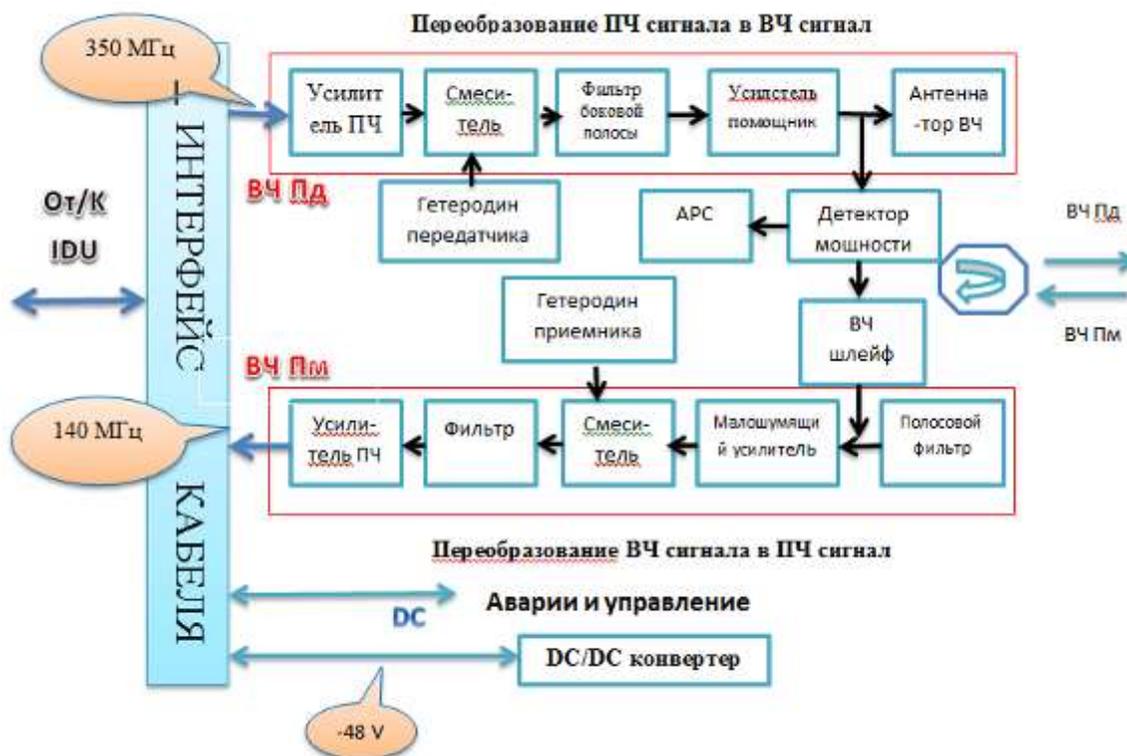


Рис.2.5. Внутренняя структура модуля ODU.

Модуль ODU состоит из передатчика и приемника, которые выполняют функции преобразования сигнала ПЧ в сигнал РЧ и сигнала РЧ в сигнал ПЧ соответственно.

В основные функции приемопередатчика входят:

1. Генерирование высокоточной несущей частоты, относящейся к определенному частотному диапазону;
2. Использование опорной несущей частоты от частотного гетеродина для преобразования сигнала ПЧ в сигнал РЧ;

3. Выполнение предискажения сигналов ПЧ и РЧ для компенсации нелинейности РЧ усилителя;
4. Усиление линейного сигнала РЧ;
5. РЧ фильтрация для подавления неиспользуемых частот (частотные гармоники, нестабильность опорной частоты) для обеспечения необходимой формы частотного спектра РЧ канала.

Функциональная схема РРЛ передатчика приведена на рис.2.6.



Рис.2.6. Функциональная схема РРЛ передатчика.

Усиленный в ПЧ передатчика сигнал промежуточной частоты подается на смеситель передачи, где он преобразуется в сигнал РЧ диапазона. Для устранения нестабильности частоты опорного гетеродина, предпочтительно использовать схемы с PLL (ФАПС- фазовая автоподстройка частоты). Однополосный фильтр выделяет боковую полосу после преобразования частоты. Усилитель мощности передачи используется для усиления сигналов слабого уровня (-30 дБм до -50 дБм) на выходе смесителя до необходимого уровня передачи. Типовой усилитель мощности строится на арсенид-галиевых устройствах с полевым эффектом (GaAsFET). Для РРЛ систем SDH обычно

используются режимы высокоуровневой модуляции, которые жестко требуют высокой линейности усилителя мощности.

В функции приемника входят усиление малошумящим усилителем РЧ сигнала от антенны и его преобразование и ПЧ сигнал перед демодуляцией. Функциональная схема представлена на рис.2.7.

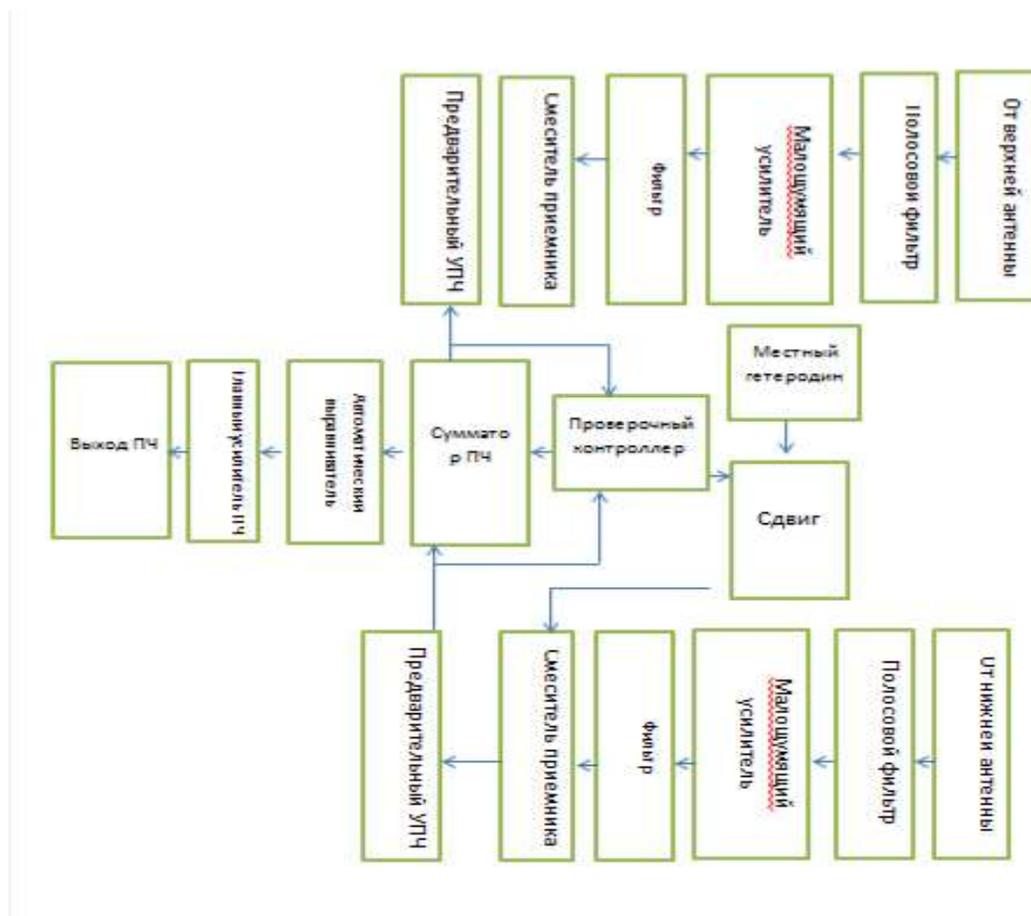


Рис.2.7. Функциональная схема приемника.

Приемные сигналы с обеих антенн (в случае пространственного разнесения на приеме) проходят одинаковые пути: полосовой фильтр, малошумный усилитель, фильтр гармоник, частотный смеситель, ПЧ усилитель, затем они объединяются (или выбирается более мощный из двух), усиливаются и передаются в сторону демодулятора (IDU).

Модуль, устанавливаемый внутри помещения (IDU). В РРЛ системах раздельного исполнения модуль IDU (модемный модуль) является основной частью системы (рис.2.8).

Модуль IDU является узлом доступа, содержащим входные и выходные интерфейсы для исходных цифровых потоков, модемы и устройства контроля и управления. Входные и выходные интерфейсы могут быть электрическими (ЭИ) или оптическими (ОИ), причем некоторые типы оборудования содержат оба интерфейса, или они устанавливаются по заказу.



Рис.2.8. Функциональная схема IDU.

В интерфейсах проводится согласование сигналов, поступающих по кабелям от аппаратуры мультиплексирования цифровых потоков, преобразование кодов (например, квазитроичный в NRZ и обратно) и выделение тактовой частоты (во входных устройствах).

Основная обработка сигналов перед модуляцией и после демодуляции осуществляется в соответствующих цифровых процессорах.

В цифро-аналоговом преобразователе (ЦАП) происходит формирование многоуровневых сигналов из цифровые потоков I и Q каналов в соответствии с применяемым видом модуляции. К примеру, при модуляции QPSK используются 2-уровневые сигналы, а при IOQAM - четырехуровневые. Эти сигналы поступают в модулятор, где управляют колебаниями промежуточной частоты.

Модулированный сигнал промежуточной частоты проходит по коаксиальному кабелю на внешний блок через устройство фильтрации (УФ). Предварительно сигнал промежуточной частоты дополнительно модулируется различной служебной информацией и цифровыми данными управления системой.

В приемной части внутреннего модуля проводятся операции, обратные произведенным в передающей части. На вход приемной части поступает сигнал промежуточной частоты от внешнего блока по коаксиальному кабелю. Для устранения взаимных влияний в кабеле сигналы промежуточной частоты передачи и приема выбираются различными (на передачу - 300 - 800 МГц, на прием, чаще всего, -70 МГц).

По центральной жиле и оплетке того же кабеля подается питание (20-80 В постоянного тока) на внешний модуль оборудования.

**Радиорелейные ретрансляторы.** В отличие от радиорелейных станций ретрансляторы не добавляют в радиосигнал дополнительной информации. Ретрансляторы могут быть как пассивными, так и активными.

Пассивные ретрансляторы представляют собой простой отражатель радиосигнала без какого-нибудь приёмопередающего оборудования и, в отличие от активных ретрансляторов, не могут усиливать полезный сигнал или переносить его на другую частоту. Пассивные радиорелейные ретрансляторы применяются в случае отсутствия прямой видимости между радиорелейными станциями; активные — для увеличения дальности связи.

В качестве пассивного ретранслятора могут выступать как плоские отражатели, так и антенны радиорелейной связи, соединённые коаксиальными или волноводными вставками (так называемые антенны, соединённые «спина к спине»).

Плоские отражатели как правило используются при небольших углах отражения и обладают эффективностью близкой к 100 %. Однако с увеличением угла отражения эффективность плоского отражателя уменьшается. Достоинством плоских отражателей является возможность использования для ретрансляции нескольких частотных диапазонов радиорелейной связи.

Антенны, соединённые «спина к спине» как правило используются при углах отражения близких к  $180^\circ$  и обладают эффективностью 50-60 %. Подобные отражатели не могут использоваться для ретрансляции нескольких частотных диапазонов из-за ограниченных возможностей самих антенн.

### **2.3. Используемые частоты и виды модуляции в радиорелейной связи**

**Используемые частоты в радиорелейной связи.** Для организации радиорелейной связи используются дециметровые, сантиметровые и миллиметровые волны.

Каждый частотный диапазон условно разделяется на две части относительно центральной частоты диапазона при обеспечении дуплексной связи. В каждой части диапазона выделяются частотные каналы заданной полосы. Частотным каналам «нижней» части диапазона соответствуют определённые каналы «верхней» части диапазона, причём таким образом, что разница между центральными частотами каналов из «нижней» и «верхней» частей диапазона была всегда одна и та же для любых частотных каналов одного частотного диапазона.

Для радиорелейной связи прямой видимости в соответствии с рекомендацией ITU-R F.746 утверждены диапазоны частот, приведенные в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Утверждены диапазоны частот для РРЛ.

Диапазон (ГГц)	Границы диапазона (ГГц)	Ширина каналов (МГц)	Рекомендации ITU-R
0,4	0,4061 — 0,430 0,41305 — 0,450	0,05, 0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,6 0,25, 0,3, 0,5, 0,6, 0,75, 1, 1,75, 3,5	ITU-R F.1567
1,4	1,350 — 1,530	0,25, 0,5, 1, 2, 3,5	ITU-R F.1242
2	1,427 — 2,690	0,5	ITU-R F.701
	1,700 — 2,100 1,900 — 2,300	29	ITU-R F.382
	1,900 — 2,300	2,5, 3,5, 10, 14	ITU-R F.1098
	2,300 — 2,500	1, 2, 4, 14, 28	ITU-R F.746
	2,290 — 2,670	0,25, 0,5, 1, 1,75, 2, 2,5 3,5, 7, 14	ITU-R F.1243
3,6	3,400 — 3,800	0,25, 25	ITU-R F.1488
4	3,800 — 4,200	29	ITU-R F.382
	3,700 — 4,200	28	
	3,600 — 4,200	10, 30, 40, 60, 80, 90	ITU-R F.635
U4	4,400 — 5,000	10, 28, 40, 60, 80	ITU-R F.1099
	4,540 — 4,900	20, 40	
L6	5,925 — 6,425	29,65	ITU-R F.383
	5,850 — 6,425	90	
	5,925 — 6,425	5, 10, 20, 28, 40, 60	
U6	6,425 — 7,110	3,5, 5, 7, 10, 14, 20, 30, 40, 80	ITU-R F.384

Продолжение таблицы 2.1.

7			ITU-R F.385
8			ITU-R F.386
10	10,000 — 10,680 10,150 — 10,650	1,25, 3,5, 7, 14, 28 3,5, 7, 14, 28	ITU-R F.747
	10,150 — 10,650	28, 30	ITU-R F.1568
	10,500 — 10,680 10,550 — 10,680	3,5, 7 1,25, 2,5, 5	ITU-R F.747
11	10,700 — 11,700	5, 7, 10, 14, 20, 28, 40, 60, 80	ITU-R F.387
12	11,700 — 12,500 12,200 — 12,700	19,18 20	ITU-R F.746
13	12,750 — 13,250	3,5, 7, 14, 28	ITU-R F.497
	12,700 — 13,250	12,5, 25	ITU-R F.746
14	14,250 — 14,500	3,5, 7, 14, 28	ITU-R F.746
15	14,400 — 15,350 14,500 — 15,350	3,5, 7, 14, 28, 56 2,5, 5, 10, 20, 30, 40, 50	ITU-R F.636
18	17,700 — 19,700 17,700 — 19,700 17,700 — 19,700 18,580 — 19,160	7,5, 13,75, 27,5, 55, 110, 220 1,75, 3,5, 7 2,5, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60	ITU-R F.595
23	21,200 — 23,600 22,000 — 23,600	2,5, 3,5 — 112 3,5 — 112	ITU-R F.637
27	24,250 — 25,250 25,250 — 27,500 25,270 — 26,980 24,500 — 26,500 27,500 — 29,500	2,5, 3,5, 40 2,5, 3,5 60 3,5 — 112 2,5, 3,5 — 112	ITU-R F.748
31	31,000 — 31,300	3,5, 7, 14, 25, 28, 50	ITU-R F.746
32	31,800 — 33,400	3,5, 7, 14, 28, 56, 112	ITU-R F.1520
38	36,000 — 40,500 36,000 — 37,000 37,000 — 39,500 38,600 — 39,480 38,600 — 40,000 39,500 — 40,500	2,5, 3,5 3,5 — 112 3,5, 7, 14, 28, 56, 112 60 50 3,5 — 112	ITU-R F.749

Продолжение таблицы 2.1.

42	40,500 — 43,500	7, 14, 28, 56, 112	ITU-R F.2005
52	51,400 — 52,600	3,5, 7, 14, 28, 56	ITU-R F.1496
57	55,7800 — 57,000 57,000 — 59,000	3,5, 7, 14, 28, 56 50, 100	ITU-R F.1497
70/80	71,000 — 76,000 / 81,000 — 86,000	125, N <sub>ж</sub> 250	ITU-R F.2006
94	92,000 — 94,000 / 94,100 — 95,000	50, 100, N <sub>ж</sub> 100	ITU-R F.2004

К «классическим» радиорелейным частотным диапазонам относятся частотные диапазоны от 2 ГГц до 38 ГГц. 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.

Для радиорелейной связи, недавно выделяются диапазоны частот от 38 ГГц до 92 ГГц и они являются новыми. Несмотря на это, с точки зрения увеличения пропускной способности радиорелейных линий связи, данные диапазоны считаются перспективными, так как в данных диапазонах возможно выделение более широких частотных каналов.

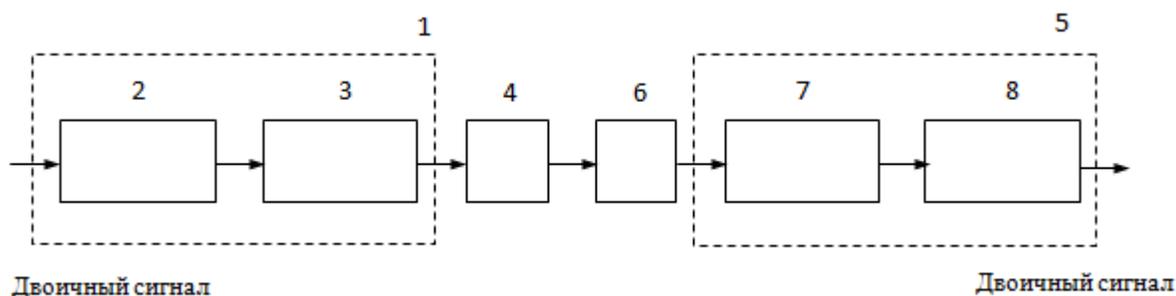
**Виды модуляции в радиорелейной связи.** В многоканальных РРЛ модуляция сигнала представляет собой двухступенчатый процесс. С помощью первой ступени формируется многоканальный сигнал.

В системах передачи на первой ступени с частотным уплотнением каналов применяется однополосная модуляция. В аналоговых системах с временным уплотнением каналов используется фазоимпульсная модуляция, а в цифровых РРЛ с ВРК – ИКМ и дельта-модуляция. В многоканальных РРЛ

первая ступень модуляции осуществляется в каналообразующем и групповом оборудовании на сетевых станциях и узлах коммутации. В системах передачи сигналов телевидения полный ТВ сигнал формируется с помощью оконечного оборудования ТВ ствола на ОРС. Назначением второй ступени модуляции является образование высокочастотного радиосигнала, модулированного линейным сигналом. Вторая ступень модуляции осуществляется в оконечном оборудовании ствола.

Модуляцию в цифровых РРЛ принято называть манипуляцией. В зависимости от числа уровней модулирующего сигнала различают двухуровневую (двоичную) и многоуровневую манипуляции.

Для многих видов манипуляций, применяемых в цифровых РРЛ, предполагается использование манипулирующих сигналов, отличающихся по структуре от исходного передаваемого двоичного сигнала. Формирование указанных манипулирующих сигналов осуществляется специальным кодирующим устройством – кодером модулятора (Рис.2.9).



*Рис.2.9. Функциональная схема модема для цифровой РРЛ.  
1-модулятор; 2-кодер модулятора; 3-устройство модуляции;  
4-радиоканал; 5-демодулятор; 6-детектор; 7-регенератор;  
8-декодер демодулятора.*

При демодуляции радиосигналов на приемном конце с помощью декодера демодулятора производится обратное преобразование, в результате чего

формируется исходный двоичный сигнал. Декодированию предшествует регистрация сигналов, в результате которой из протектированного искаженного сигнала формируется сигнал, имеющий структуру модулирующего сигнала на передающем конце. В современных цифровых РРЛ применяются амплитудная, фазовая, частотная и комбинированная амплитудно-фазовая манипуляции.

При амплитудной манипуляции модулируемым параметром радиосигнала является его амплитуда (Рис.2.10).

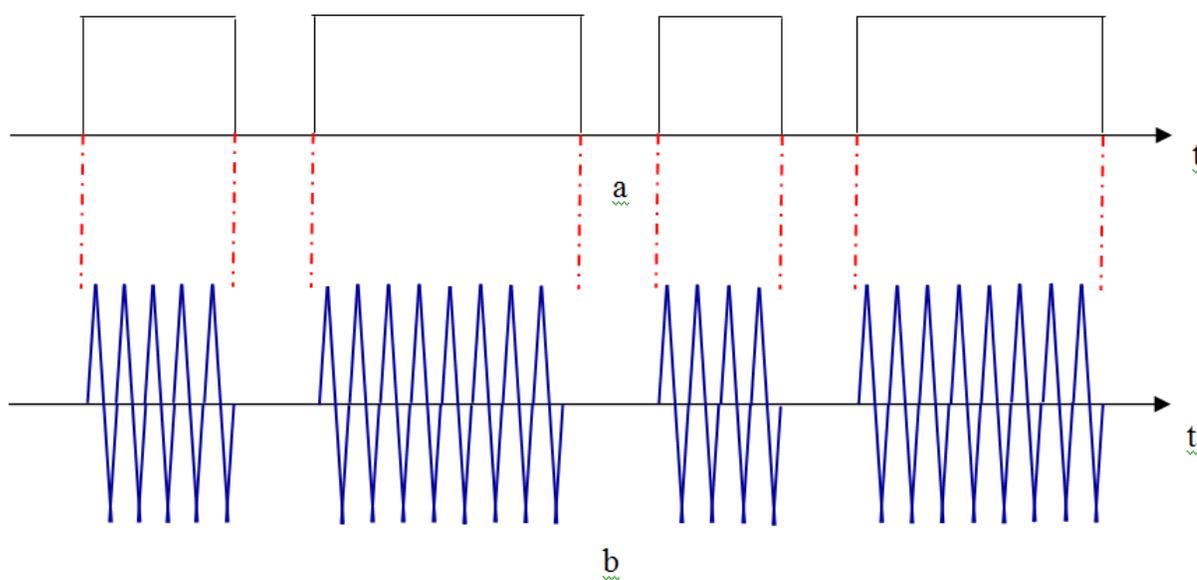


Рис.2.10. Форма сигналов при амплитудной манипуляции.

*a* - манипулирующий сигнал; *б* - амплитудно-манипулирующий сигнал.

При фазовой манипуляции (ФМ) модулируемым параметром радиоимпульсов является фаза высокочастотного заполнения. В современных РРЛ применяются двоичная, четырехуровневая и восьмиуровневая ФМ. При демодуляции фаза ФМ радиосигнала сравнивается с фазой восстановленного на приемном конце опорного колебания (несущей). Из-за случайных искажений радиосигнала имеет место неопределенность фазы восстановленной несущей, что является причиной так называемой обратной работы, при которой двоичные

посылки принимаются «в негативе». Для устранения влияния неопределенности фазы применяется разностное кодирование фазы передаваемых радиоимпульсов. ФМ с разностным кодированием фазы называют фазоразностной или относительной фазовой манипуляцией (ОФМ). В РРЛ с ОФМ при передаче информации кодируется не сама фаза радиосигнала, а разность фаз (фазовый сдвиг) двух соседних радиоимпульсов.

Ширина спектра ОФМ радиосигнала зависит от скорости передачи информации и числа уровней манипуляции. Необходимая для ОФМ радиосигнала минимальная полоса пропускания

$$P_{SFMM} = \frac{C}{\log_2 M};$$

где  $C$  - частота следования передаваемых элементов исходного двоичного сигнала.

При увеличении числа уровней манипуляции полоса частот, необходимая для ОФМ радиосигнала, уменьшается. Так, при ОФМ-4 полоса частот вдвое меньше, чем при ОФМ-2, при одинаковой скорости передачи информации.

При частотной манипуляции модулирующим параметром является частота радиосигналов. В РРЛ применяются двоичная, трехуровневая и восьмиуровневая частотные манипуляции.

Полоса частот  $P_{чМ}$ , необходимая для передачи частотно-манипулированного сигнала, зависит от скорости передачи информации  $C$ , числа уровней  $M$  и максимальной девиации частоты  $\Delta f_{DM}$ . При  $M = 2, 4, 8$

$$P_{чМ} = \frac{C}{\log_2 M} + 2\Delta f_{DM}.$$

При амплитудно-фазовой манипуляции (АФМ) предполагается амплитудная манипуляция синфазной и квадратурной составляющих сигнала.

Применение многоуровневой АФМ позволяет обеспечить высокую эффективность использования полосы частот. АФМ часто называют квадратурной амплитудной манипуляцией (КАМ).

Двоичные некогерентные амплитудная и частотная манипуляции применяются в РРЛ с малой пропускной способностью, двоичная ОФМ – в РРЛ со средней пропускной способностью. Широкое применение в РРЛ с различной пропускной способностью получает ОФМ-4. Наряду с ОФМ-4 АФМ-16 стала основным видом манипуляции для цифровых РРЛ с высокой пропускной способностью. Для передачи цифровых сигналов в существующих аналоговых РРЛ широко применяются двоичная и многоуровневая частотные манипуляции с числом уровней  $M = 3, 4$  и  $8$  при использовании аналогового частотного детектора для демодуляции радиосигналов.

## **ГЛАВА-3. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ В ОРГАНИЗАЦИИ СОТОВЫХ СЕТЕЙ**

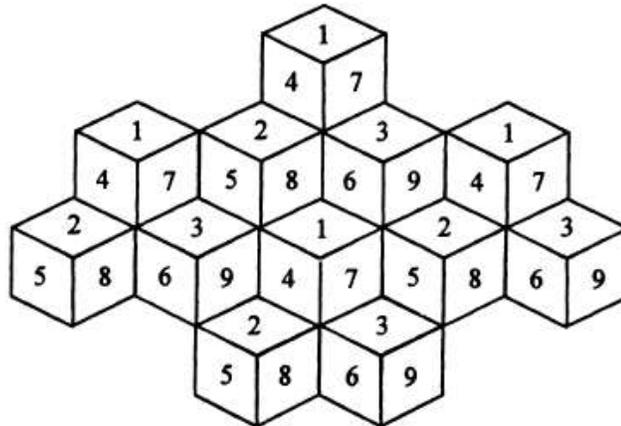
### **3.1. Структура и принципы построения сотовых сетей**

Сотовые сети занимают значительное место среди прочих систем подвижной радиосвязи. Основной предпосылкой их преимущественного развития явилась, как уже отмечалось, возможность более эффективного использования выделенного частотного ресурса путем многократного использования одних и тех же радиочастот при пространственном разнесении базовых станций. При этом увеличивается емкость сети, улучшается электромагнитная обстановка благодаря уменьшению размеров зон, обслуживаемых базовой радиостанцией (сот), что, кроме того, ведет к уменьшению габаритных размеров, электропотребления и стоимости радиостанции.

В сотовых сетях зона обслуживания абонентов разделяется на ячейки – соты. В каждой соте устанавливается один приемопередатчик с относительно небольшой мощностью (базовая станция - БС). Разделение пространства на зоны, как правило, бывает регулярным без специального учета особенности местности. Определение размеров и конфигурации сот (квадраты, треугольники, шестиугольники), мощности передатчиков и т.п. делается с учетом обеспечения необходимой вероятности связи и допустимого влияния соседних передатчиков друг на друга. Одинаковые частоты могут использоваться в ячейках, расстояние между которыми определяется условием распространения радиоволн, допустимым уровнем помех и числом радиостанций расположенных вокруг данной соты. При сотах в форме

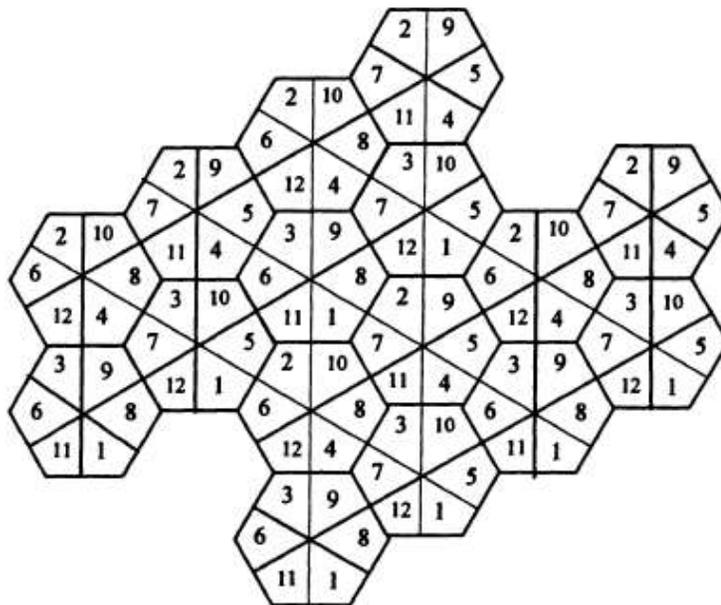


Секторизация сот позволяет более часто применять одни и те же частоты при одновременном снижении уровня помех (и увеличении числа базовых станций). В этом случае в каждой соте задействуются три 120 – градусные секторные антенны с формированием девяти групп частот (согласно рис.3.2).



*Рис.3.2. Модель повторного использования частот с трехсекторными сотами.*

Другой способ секторизации, обеспечивающий самую высокую эффективность использования полосы частот, показан на рис.3.3.



*Рис.3.3. Модель повторного использования частот в двух соседних сотах.*

Он заключается в том, что каждая частота используется дважды в пределах группы из четырех сот. Каждая из этих четырех сот использует шесть частот из общего числа частот, равного 12; ширина лепестков в каждом секторе составляет  $360/6=60^\circ$ . Применение секторного разделения сот позволяет увеличить емкость сети примерно на 40% при той же помехоустойчивости. Характерный размер сот в «диаметре» - несколько километров при числе пользователей несколько сотен. Число пользователей на одну соту, которые могут быть одновременно обслуженными, определяется числом частотных каналов, выделенных базовой станции.

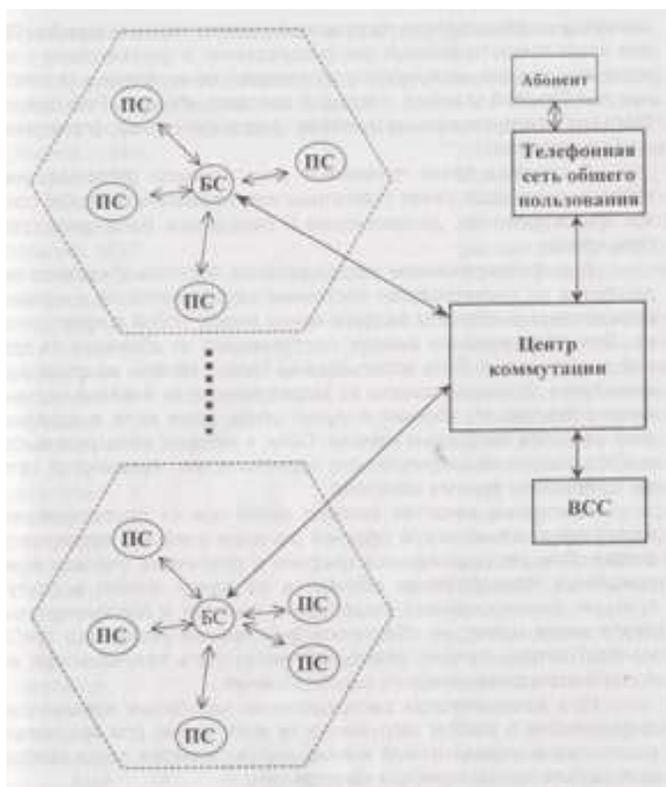
Путем увеличения емкости сетей является либо расширение частотного диапазона («экстенсивный» метод), либо снижение уровня соканальных помех; из-за дефицита свободных частот предпочтительнее второй способ. Снижение соканальных помех, т.е. помех со стороны станции, работающих на тех же частотах, возможно путем применения, помимо секторных антенн в сотах, адаптивного распределения каналов по сотам с учетом текущей нагрузки, автоматической регулировки уровня излучения передатчиков (адаптация по уровню) и пространственного разнесения на приеме.

Перспективным направлением организации сотовых систем является микросотовая структура, когда радиус зон составляет несколько сотен метров. Микросоты целесообразно создавать для обслуживания отдельных участков улиц, магазинов, аэропортов и т.п. Маломощный передатчик микросоты можно рассматривать как развитие оборудования макросотовой базовой станции, с управлением единым контроллером и с взаимным соединением проводными линиями. В связи с радиальным уменьшением зон обслуживания использование микросот возможно лишь в случае их простоты и дешевизны. В микросотах отсутствуют частотное планирование и эстафетная передача, что отличает их от обычных сотовых систем. Частотное планирование нецелесообразно ввиду трудностей прогнозирования условий распространения радиоволн и уровня

канальных помех. Фиксированное распределение частот также неэффективно, поэтому используется процедура автоматического адаптивного распределения каналов (европейский стандарт бесшнуровых телефонов DECT). Частота переключений базовых передатчиков в микросотах существенно возрастает, что требует быстродействующих алгоритмов переключения, поэтому используется управление со стороны подвижного объекта: функции измерения уровня сигнала для принятия решения о переключении возложены на абонентов, при этом базовые станции и центр коммутации не перегружаются, а лишь ставятся в известность о необходимости переключения между базовыми станциями. Помимо микросот возможно применение «пикосот»-ячеек, обслуживающих внутренние помещения зданий. Их линейные размеры могут быть в пределах нескольких десятков метров.

Упрощенная функциональная схема системы сотовой связи показана на рис.3.4. В центре соты расположена базовая станция (БС), связанная радиоканалами со всеми подвижными (абонентскими) станциями (ПС). Число радиоканалов БС обычно кратно 8, по одному из каналов, который называется управляющим, обычно передается сигнал вызова от абонента на установление связи.

Соты, образуя группы, связаны соединительными проводными или радиорелейными линиями с центром коммутации. Если центров коммутации несколько, то они также соединены между собой. Центр коммутации обеспечивает управление вызовами и маршрутизацию потоков, а также эффективную передачу абонента между сотами при его передвижении из одной соты в другую и автоматическую смену канала в случае появления в нем помех или неисправностей. С этой целью центр коммутации осуществляет непрерывное слежение за подвижной станцией в процессе её перемещения в зоне его ответственности.



*Рис.3.4. Упрощенная функциональная схема системы сотовой связи.*

Еще одной функцией коммутационного центра является сопряжение сотовой сети с другими службами связи (телефонной сетью общего пользования, базами данных, другими подвижными службами) при помощи стандартизированных промежуточных устройств – интерфейсов. Вызов подвижного абонента осуществляется одновременно всеми базовыми станциями, в области действия которых предполагается нахождение абонента. Подвижная станция, приняв вызов, содержащий характерные для нее опознавательные признаки, отвечает сигналом подтверждения на ответной частоте сигнала вызова. После этого коммутационный центр определяет в соответствии с алгоритмом данной сети частоту и передает канал связи и управление той базовой станцией, с которой связался абонент. Работой нескольких коммутационных центров руководит центр управления и обслуживания.

В сотовых сетях применяют три принципа распределения частотных каналов связи (частотных или временных) между сотами: фиксированное, динамические и смешанное (гибридное) распределение.

При фиксированном распределении частотных каналов выделенное их подмножество постоянно закрепляется за ячейками, определенным образом разделенными между собой в пространстве. Для обслуживания вызова, поступившего от абонента из данной ячейки, могут быть использованы только каналы из этого подмножества. Если все каналы из закрепленного за ячейкой подмножества заняты, то абонент получит отказ, даже если в соседней зоне имеются свободные каналы. Сети, в которых возложен выбор любого канала из закрепленного подмножества, называются сетями с равнодоступными каналами.

Критерием качества сотовых сетей при их проектировании может являться минимум средней (по всем ячейкам) вероятности отказа. При нестационарном трафике в различных ячейках и интенсивном передвижении абонентов из одной ячейки в другую принцип фиксированного закрепления каналов и постоянного радиуса ячеек может не обеспечить выполнение указанного требования. Поэтому лучшие результаты могут быть получены при использовании динамического распределения.

При динамическом распределении частотные каналы распределяются с учетом загруженности всех ячеек: для выделения радиоканала определенной ячейке осуществляется поиск свободного канала путем перебора каналов сети.

При смешанном распределении каналов каждой базовой станции выделяется как фиксированный набор каналов, так и некоторое число динамически распределяемых каналов (общих для разных ячеек). При этом вероятность отказа зависит как от удельной нагрузки, так и от соотношения между числом фиксированных и динамически распределяемых каналов.

### 3.2. Принципы построения радиорелейных линий

Радиорелейные линии (РРЛ) представляют собой цепочку приемопередающих радиостанций (оконечных, промежуточных, узловых), которые осуществляют последовательную многократную ретрансляцию (прием, преобразование, усиление и передачу) передаваемых сигналов.

В зависимости от используемого вида распространения радиоволн РРЛ можно разделить на две группы: прямой видимости и тропосферные.

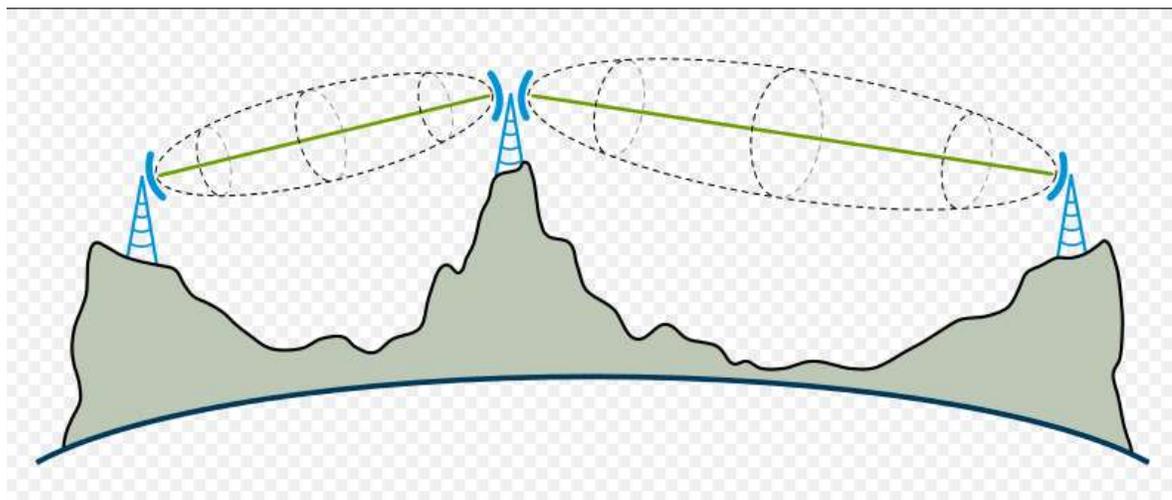
РРЛ прямой видимости являются одним из основных наземных средств передачи сигналов телефонной связи, программ звукового и ТВ вещания, цифровых данных и других сообщений на большие расстояния. Ширина полосы частот сигналов многоканальной телефонии и ТВ составляет несколько десятков мегагерц, поэтому для их передачи практически могут быть использованы диапазоны только дециметровых и сантиметровых волн, общая ширина спектра которых составляет 30 ГГц. Кроме того, в этих диапазонах почти полностью отсутствуют атмосферные и промышленные помехи. Расстояние между соседними станциями (протяженность пролета)  $R$  зависит от рельефа местности и высоты подъема антенн. Обычно его выбирают близким или равным расстоянию прямой видимости  $R_0$ . Для сферической поверхности Земли с учетом атмосферной рефракции

$$R_0 = 4(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

где  $h_1$  и  $h_2$  – высоты подвеса соответственно передающей и приемной антенн (в метрах). В реальных условиях, в случае малопересеченной местности  $R_0 = 40-70$  км при высоте антенных мачт 60-100 м.

При построении радиорелейных линий связи антенны соседних радиорелейных станций располагаются в пределах прямой видимости. Для устойчивой радиосвязи антенны соседних радиорелейных станций как правило

располагают на естественных возвышенностях или специальных телекоммуникационных башнях или мачтах таким образом, чтобы трасса распространения радиоволн не имела препятствий (рис.3.5).



*Рис.3.5. Радиорелейная связь прямой видимости.*

При построении тропосферных радиорелейных линий связи используется эффект отражения дециметровых и сантиметровых радиоволн от турбулентных и слоистых неоднородностей в нижних слоях атмосферы — тропосфере.

Для тропосферных радиорелейных линий связи характерно постоянное наличие быстрых, медленных и селективных замираний радиосигнала. Уменьшение влияния быстрых замираний на принимаемый сигнал достигается использованием разнесенного частотного и пространственного приема. Поэтому на большинстве тропосферных радиорелейных станций расположено несколько приёмных антенн (рис.3.6).

Примером наиболее известных и протяжённых тропосферных радиорелейных линий связи являются: ТРПЛ «Север», «ACE High», «White Alice», «JASDF», линия «Дью», линии «NARS», ТСУС «Барс».

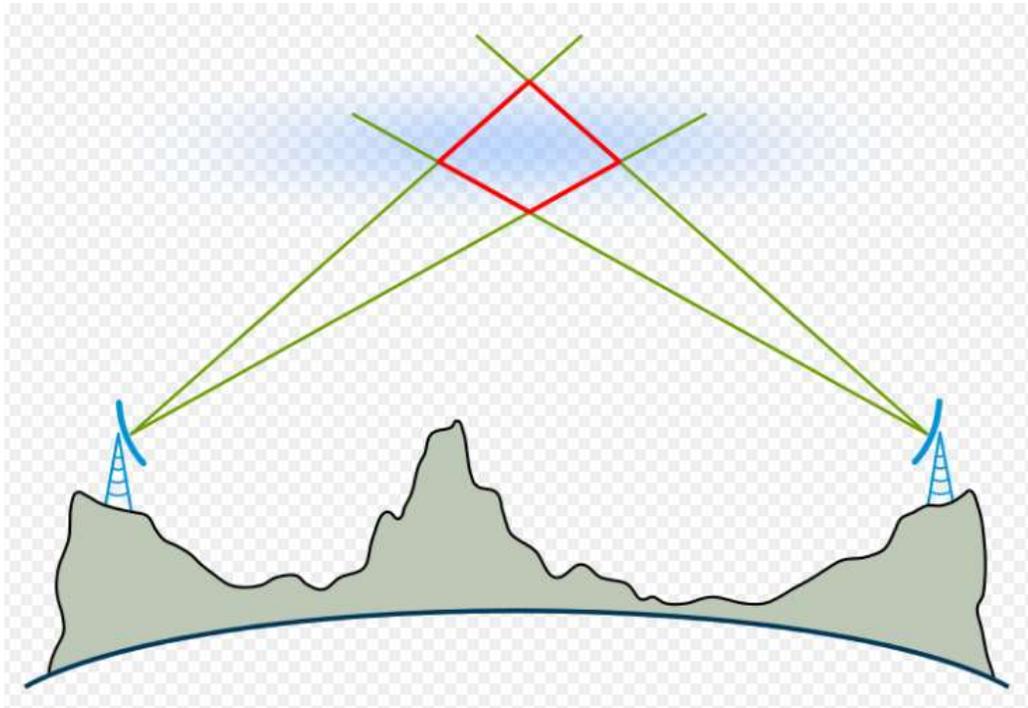


Рис.3.6. Тропосферная линия связи (область пересечения выделена красным цветом).

Часть РРЛ (один из возможных вариантов) условно изображена на рис. 3.7, где непосредственно отмечены радиорелейные станции трех типов: оконечная (ОРС), промежуточная (ПРС) и узловая (УРС).

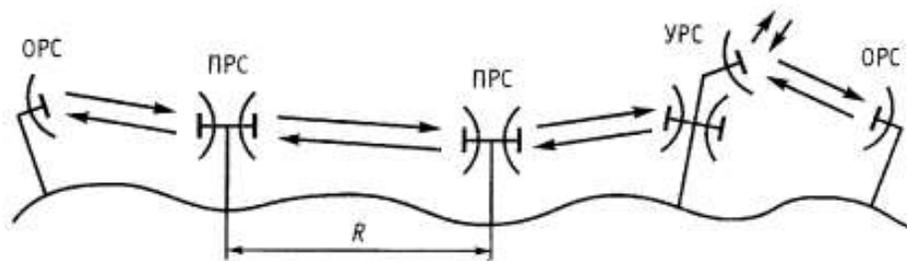
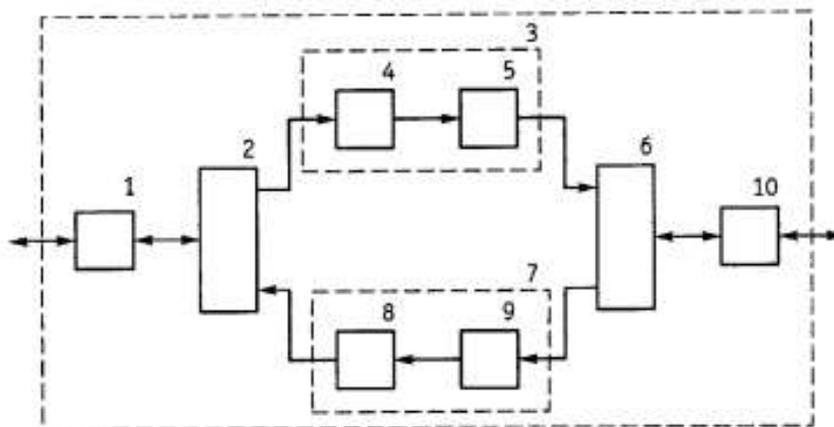


Рис.3.7. Условное изображение РРЛ.

Структурная схема ретранслятора ПРС приведена на рис.3.8.



*Рис.3.8. Условное изображение РРЛ.*

*1,10-антенны; 2,6-фидерные тракты; 3,7-приемопередатчики;  
4,9-приемники; 5,8-передатчики.*

Исследования показали, что в предельном случае для двусторонней связи по РРЛ (дуплексный режим) можно использовать лишь две частоты  $f_1$  и  $f_2$ . Пример РРЛ таким двухчастотным планом условно изображен на рис.3.9,а. Чем меньше на линии используется рабочих частот, тем сложнее устранить взаимовлияние сигналов, совпадающих по частоте, но предназначенных разным приемникам. Во избежание подобных ситуаций на РРЛ стараются использовать антенны с узкой диаграммой направленности, с возможно меньшим уровнем боковых и задних лепестков; применяют для разных направлений связи волны с различным типом поляризации; располагают отдельные станции так, чтобы трасса представляла собой некоторую ломаную линию. Применение указанных мер не вызывает сложностей, если связь осуществляется в диапазоне сантиметровых волн. Реальные антенные устройства, работающие на менее высоких частотах, обладают меньшим направленным действием. Поэтому на РРЛ дециметрового диапазона приходится разносить частоты приема на каждой станции. В этом случае для прямого и обратного направлений связи выбирают

различные пары частот  $f_1$ ,  $f_2$  и  $f_3$  и  $f_4$  (четырёхчастотный план) и необходимая для системы связи полоса частот возрастает вдвое (рис.3.9,б).

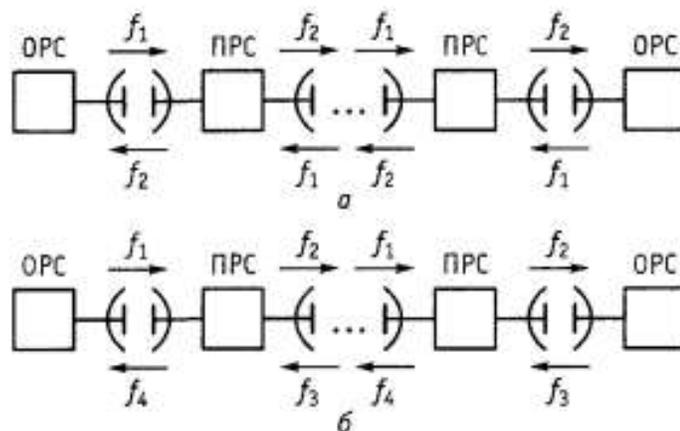


Рис.3.9. Схемы распределения частот в РРЛ.

Четырёхчастотный план не требует указанных выше мер защиты, однако он неэкономичен с точки зрения использования полосы частот. Число радиостволов, которое может быть образовано в выделенном диапазоне частот, при четырёхчастотном плане вдвое меньше, чем при двухчастотном.

Для радиорелейной связи в основном используются сантиметровые волны, поэтому двухчастотный план получил наибольшее распространение.

### 3.3. Применение радиорелейных линий связи в организации сотовых сетей

Из всех видов радиосвязи радиорелейная связь обеспечивает наибольшее отношение сигнал/шум на входе приёмника при заданной вероятности ошибки. Именно поэтому при необходимости организации надёжной радиосвязи между

двумя объектами радиорелейные линии связи чаще всего используются в следующих случаях:

- Магистральные радиорелейные линии связи. Исторически радиорелейные линии связи использовались для организации каналов связи телевизионного и радиовещания, а также для связи телеграфных и телефонных станций на территории со слабо развитой инфраструктурой.

- Сети связи нефтепроводов и газопроводов. Радиорелейные линии связи применяются при строительстве и обслуживании нефтепроводов и газопроводов в качестве основных или резервных оптическому кабелю линий связи для передачи телеметрической информации.

- Сотовые сети связи. Радиорелейная связь находит применение в организации каналов связи между различными элементами сотовой сети, особенно в местах со слабо развитой инфраструктурой.

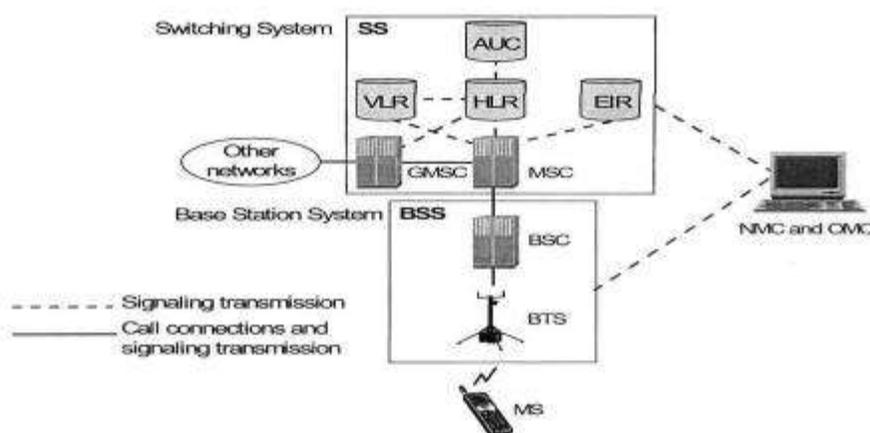
Современные радиорелейные линии связи способны обеспечить передачу больших объёмов информации от базовых станций 2G, 3G и 4G к основным элементам опорной сети сотовой связи.

В нашей работе мы рассмотрим применение РРЛ для организации сотовой сети связи на примере стандарта GSM. Потому стандарт GSM является цифровым стандартом сотовой связи, которая применяется при построении сотовой сети 3G поколения. На данный момент стандарт GSM широко используется по миру, в основном в Европе. На сегодняшний день этот стандарт широко охватил территорию нашей республики, и она достигла почти 100%.

GSM относится к сетям второго поколения 2G (Generation). Стандарт GSM тесно связан со всеми современными стандартами цифровых сетей, в первую очередь с ISDN и IN (Intelligent Network). Основные функциональные элементы GSM входят в разрабатываемый международный стандарт глобальной системы подвижной связи UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Разработка стандарта GSM началась еще в 1982 году организацией по

стандартизации СЕРТ (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations). В 1991 году в Финляндии была введена в эксплуатацию первая в мире сеть GSM. Уже к концу 1993 года число абонентов, использующих этот стандарт, перевалило за миллион. К этому времени сети GSM были развернуты в 73 странах мира. А в 1997 году на рынке Узбекистана работали 6 операторов, которые использовали два наиболее популярных в мире стандарта Digital AMPS (IS-136) и GSM.

**Структура сети GSM.** Говоря о GSM стоит, в первую очередь, остановиться и на структуре работы самой сети. Сеть GSM в основном состоит из коммутационной системы (SS - Switching System) и системы базовых станций (BSS - Base Station System). Функциональная схема сети GSM приведена ниже в рис.3.10.



*Рис.3.10. Функциональная схема сети GSM.*

**Коммутационная система (SS).** Коммутационная система выполняет функции обслуживания вызовов и установления соединений, а также отвечает за реализацию всех назначенных абоненту услуг. В коммутационную систему входят следующие функциональные устройства:

**1. Mobile Switching Center (MSC).** Центр MSC контролирует все входящие и исходящие вызовы, поступающие из других телефонных сетей и

сетей передачи данных. К данным сетям можно отнести сети передачи данных общего пользования, корпоративные сети, а также сети мобильной связи других операторов. MSC обеспечивает маршрутизацию вызовов и функции управления вызовами. MSC формирует данные, необходимые для тарификации предоставленных сетью услуг связи, накапливает данные по состоявшимся разговорам и передаёт их в центр расчётов (биллинг-центр).

**2. Home Location Register (HLR).** В системе GSM каждый оператор располагает базой данных, содержащей информацию обо всех абонентах принадлежащих своей PLMN. Информация об абоненте заносится в HLR в момент регистрации абонента и хранится до тех пор, пока абонент не расторгнет контракт и не будет удалён из регистра HLR. К данным, хранящимся в HLR, могут получить доступ MSC и VLR, относящиеся к другим сетям.

**3. Visitor Location Register (VLR).** База данных VLR содержит информацию обо всех абонентах мобильной связи, расположенных в данный момент в зоне обслуживания MSC. Для каждого MSC на сети существует свой VLR. В VLR временно хранится информация об услугах, и благодаря этому связанный с ним MSC может обслуживать всех абонентов, находящихся в зоне обслуживания данного MSC.

**4. Authentication Center (AUC).** Для исключения несанкционированного использования ресурсов системы связи вводятся механизмы аутентификации - удостоверения подлинности абонента. AUC - центр проверки подлинности абонента, состоит из нескольких блоков и формирует ключи аутентификации и шифрации.

**5. Equipment Identity Register (EIR).** EIR - это база данных, содержащая информацию об идентификационных номерах мобильных терминалов. Данная информация необходима для осуществления блокировки краденых телефонов. Данный регистр (EIR) предлагается операторам как дополнительная опция.

**Система базовых станций (BSS).** Система базовых станций отвечает за все функции, относящиеся к радиоинтерфейсу. В систему базовых станций входят следующие функциональные устройства:

**1. Base Station Controller (BSC).** BSC управляет всеми функциями, относящимися к работе радиоканалов в сети GSM. Это коммутатор, который обеспечивает такие функции, как хэндовер MS, назначение радиоканалов и сбор данных о конфигурации сот. Каждый MSC может управлять несколькими BSC.

**2. Base Transceiver Station (BTS).** BTS управляет радиоинтерфейсом с MS. BTS включает в себя такое радиооборудование, как приемо-передатчики и антенны, которые необходимы для обслуживания каждой соты в сети. Контроллер BSC управляет несколькими BTS.

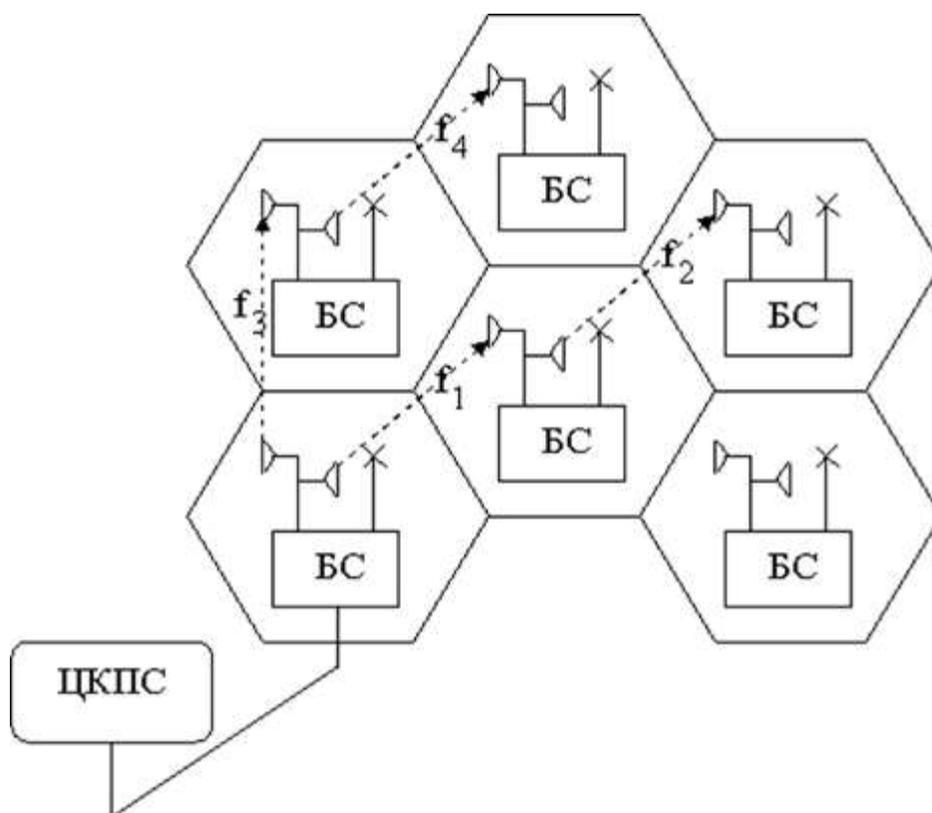
**Центр технического обслуживания (ОМС - Operation & Maintenance Center).** ОМС представляет собой компьютер с программами для обслуживания компонентов сети GSM. ОМС подключен через каналы передачи данных (например X.25) к различным компонентам сети, таким как MSC, BSC и т.д. Персонал центра обеспечивается информацией о состоянии узлов сети, может наблюдать за различными системными параметрами и управлять ими. В одной сети может быть один или несколько центров, это зависит от размера сети.

**Центр управления сетью (NMC - Network Management Center).** Централизованное управление сетью выполняется в Центре управления сетью (NMC). На сегменте сети как правило только один центр, из которого может осуществляться управление подчиненными ОМС.

**Мобильная станция (MS).** MS используется абонентом сети мобильной связи для осуществления связи в пределах сети. Существует несколько типов MS, каждый из которых позволяет абоненту устанавливать входящие и исходящие соединения. Исходя из разных выходных уровней мощности MS, соответственно, они могут осуществлять уверенную работу в пределах зон разных размеров. Например, выходная мощность обычной трубки, меньше, чем

мощность установленного аппарата в автомобиле с выносной антенной, следовательно, зона ее работы меньше.

**Применение РРЛ в транспортной сети GSM.** Транспортная сеть связи в GSM осуществляется при помощи радиорелейных линий связи либо при помощи ВОЛС. Базовая станция является в сети GSM только источником информации. А все данные передаются по РРЛ. Т.е. на каком бы удалении от контроллера не находилась, BTS транспортная сеть обеспечит доставку данных непосредственно на контроллер. На рис.3.11 показан фрагмент сети, в которой БС соединены с помощью ЦРРЛ. На каждой БС установлена всенаправленная антенна для связи с MS и две направленные антенны РРЛ. Частоты ЦРРЛ обозначены  $f_1, \dots, f_4$ .



*Рис.3.11. Фрагмент сети, в которой БС соединены цифровыми радиорелейными линиями.*

На рис.3.12 приведена схема построения сети GSM с использованием РРЛ.

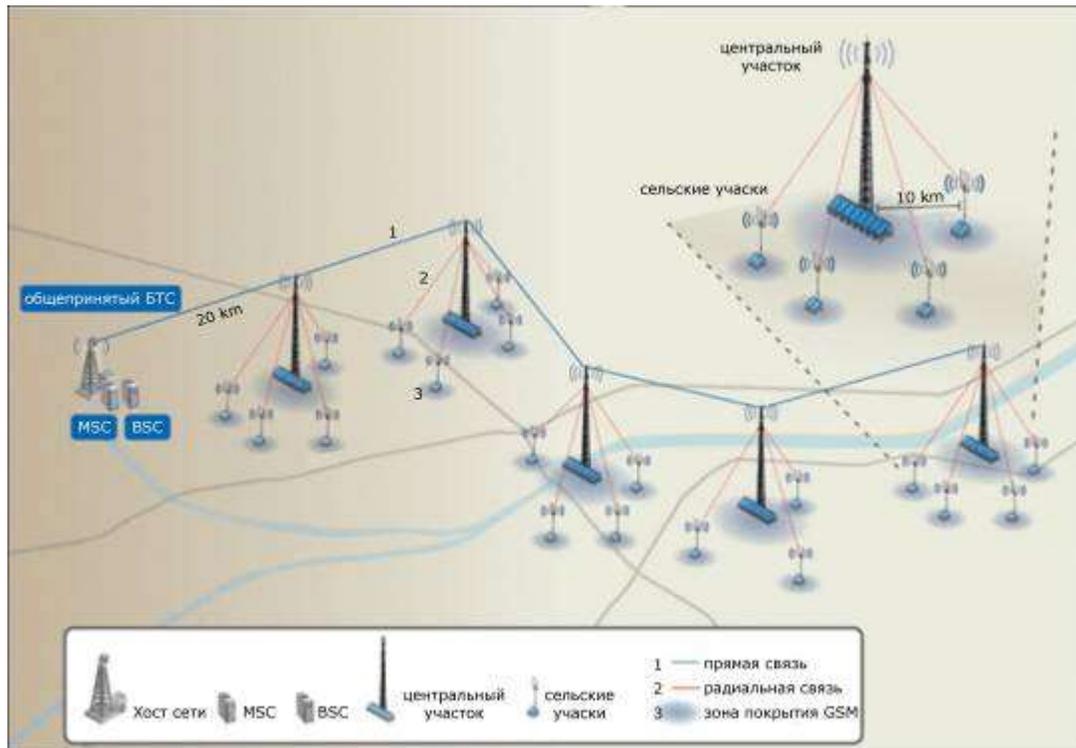


Рис.3.12. Схема построения сети GSM.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрены основные принципы организации радиосвязи, приведены классификация систем радиосвязи и краткий обзор используемых устройств. Описаны структура и состав оборудования радиорелейной связи, приведены используемые частоты и рассмотрены виды модуляции, которые используются в радиорелейной связи. Рассмотрена структура сотовой связи, изучены принципы построения радиорелейной связи и приведена схема построения сотовой сети с использованием радиорелейной линии связи, а также рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности.

В настоящее время технология радиорелейных линий достигла качественного и количественного развития. РРЛ являются важной частью современных транспортных сетей связи и широко используются в развертывании сотовых сетей.

Вопрос о применении того или иного рода связи зависит от конкретных географических условий, а также экономическими, социальными и политическими факторами. Технические средства связи и методы их применения должны быть увязаны в единую систему. Этим обуславливается возрастающее внимание к решению вопросов связи и необходимость дальнейшего развития технических средств и методов эффективного применения всех родов связи.

Инфраструктура национальной и мировой цифровой сети связи развивается как интегрированная первичная транспортная сеть, которая обеспечивает передачу любого вида информации. Она базируется на комплексном использовании проводной, радио, радиорелейной и спутниковой связи. В этой структуре радиорелейная связь занимает свое достойное место.