

РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ ЛИНИИ СВЯЗИ

Доцент кафедры Инфокоммуникаций ИПК МТУСИ

Копылов Анатолий Михайлович

2008 г.

Принципы построения РРЛ

- РРЛ представляют собой цепочку приёмопередающих станций (оконечных, промежуточных, узловых), устанавливаемых на расстоянии прямой видимости (40 - 70 км в диапазонах частот до 6 - 8 ГГц и нескольких км в диапазонах 30 - 50 ГГц) при высоте подвеса антенн 60-100 м).

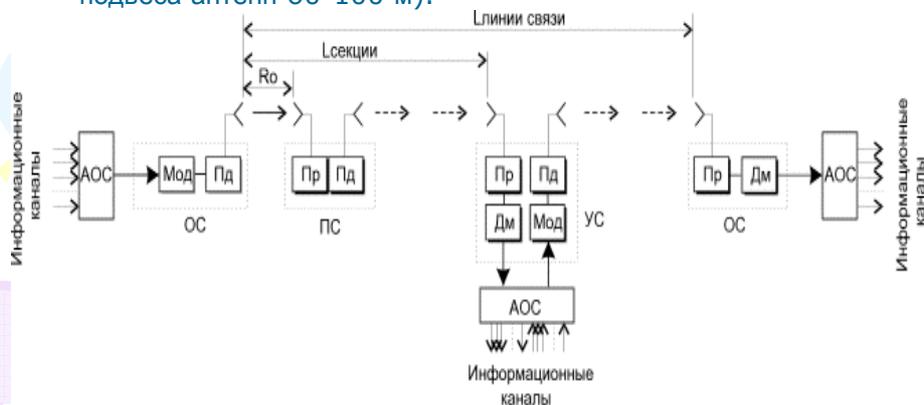
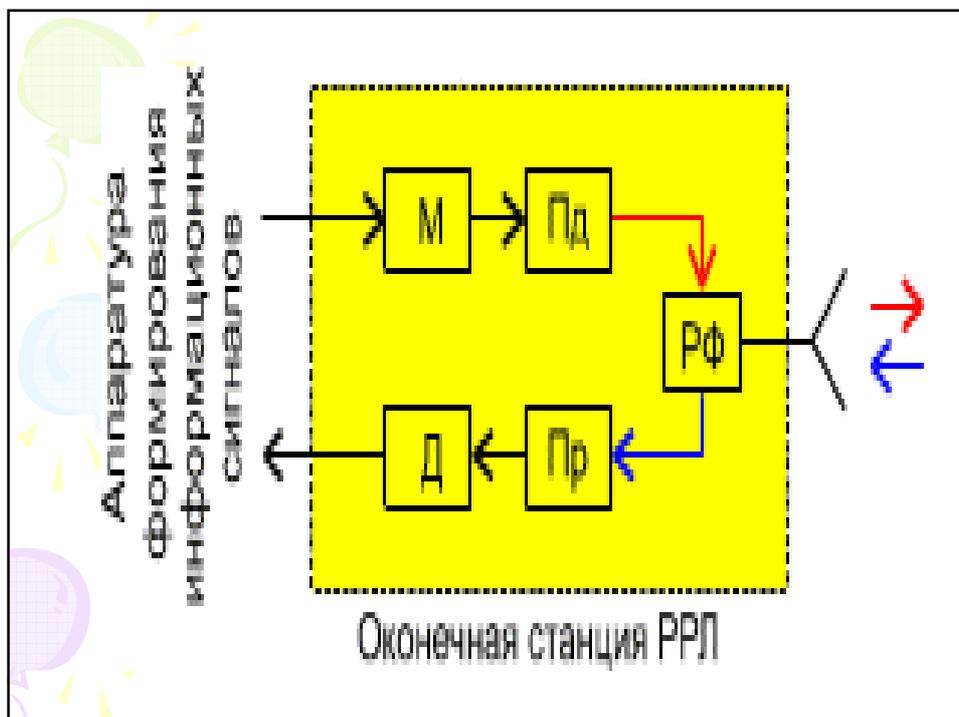
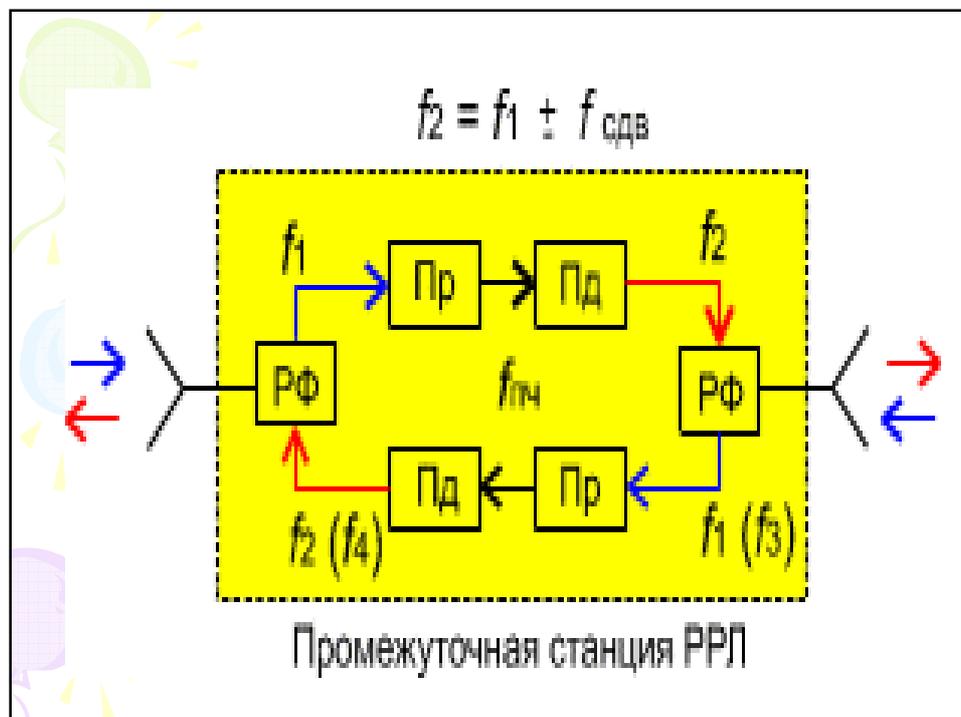


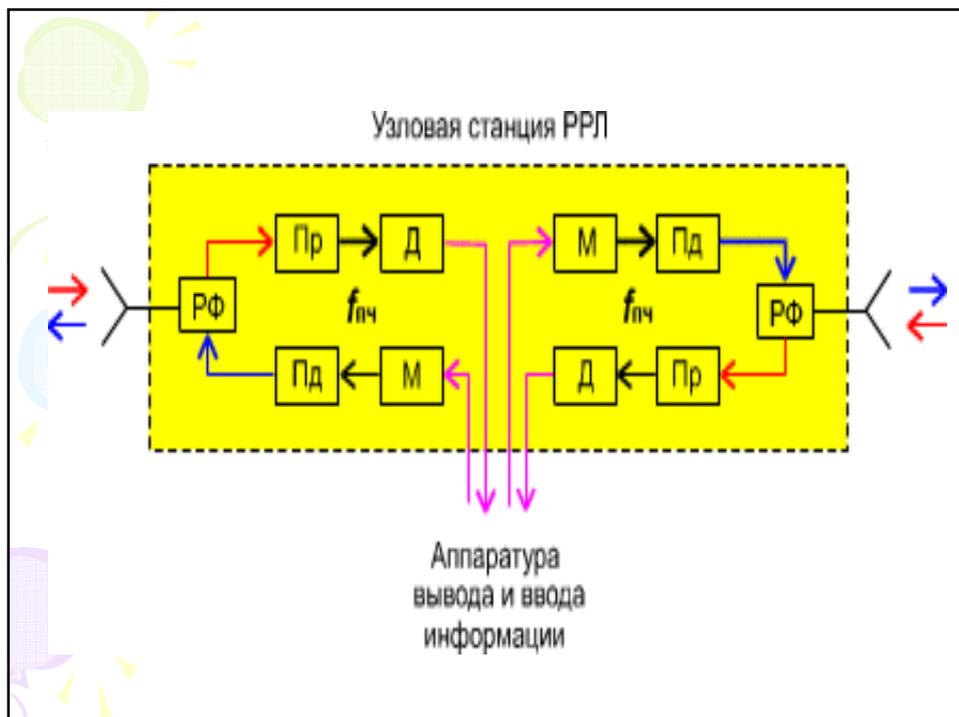
Рис. 1.1. Структурная схема одного направления радиорелейной линии связи

- **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), или две антенны.
- Модуляция и демодуляция сигналов проводится на одной из стандартных промежуточных частот (70 - 1000 МГц). 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 РРЛ с непосредственной модуляцией сигналов СВЧ (например аппаратура Эриком-11), но они имеют ограниченное распространение.



- 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 (**$f_{сдв}$**).
- Узловые станции 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.

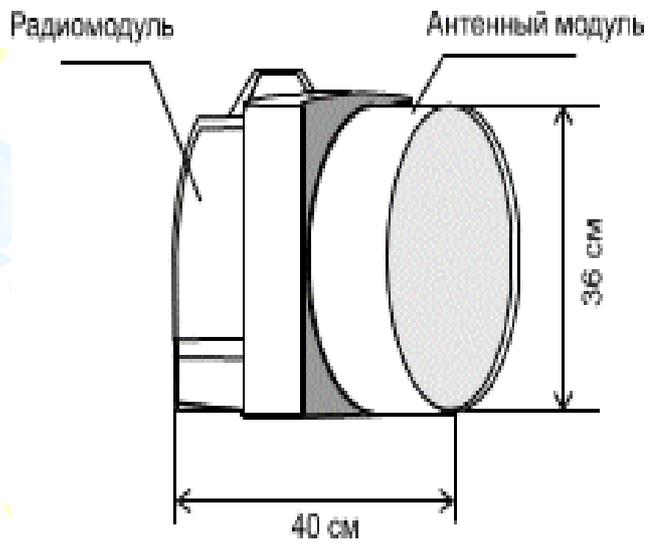




Конструктивное выполнение

- В диапазонах частот до 10 ГГц приемопередающая аппаратура, как правило, выполняется в виде достаточно громоздких стоек, располагающихся в аппаратных помещениях. Связь с антеннами осуществляется фидерными волноводами, имеющими значительную длину и, следовательно, вносящими существенные потери.
- Переход к диапазонам частот выше 10 ГГц существенно изменил конструктивное выполнение аппаратуры. Аппаратура, работающая в диапазоне выше 10 ГГц, имеет небольшие габариты и располагается на вершине антенной опоры, объединенная в единый блок с антенной.

MINI-LINK для диапазона частот 23 - 38 ГГц.



Отечественная аппаратура БИСТ



Современное модемное оборудование

- Приемопередающие блоки соединяются коаксиальными кабелями с модемным оборудованием, располагающимся в помещении.
- Современное модемное оборудование - это легко трансформирующийся комплекс, функционирующий под управлением центрального или местного компьютера.
- Модемное оборудование может обеспечивать формирование и обработку цифровых потоков на скорости от 1 до 34 Мбит/с, проводить мультиплексирование потоков и функционировать в режимах организации сетей связи любой конфигурации.
- Для примера, на рисунке показана схема организации системы связи между локальными компьютерными сетями. Подобную схему можно применить и для связи между базовыми станциями подвижной связи.

Система связи между локальными компьютерными сетями.

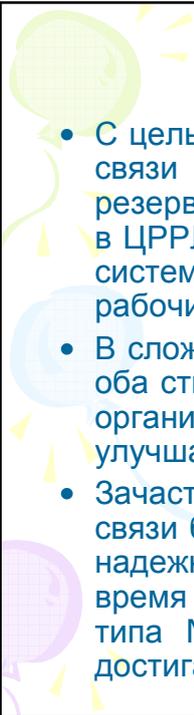


Классификация РРЛ

- Два типа РРЛ: **прямой видимости и тропосферные.**
- **По назначению:** междугородние магистральные, внутризоновые, местные РРЛ.
- **По диапазону частот:** выделены полосы частот в области 2, 4, 6, 8, 11 и 13 ГГц. Ведутся исследования по созданию РРЛ на частотах 18 ГГц и выше. Но на ВЧ сигнал сильно ослабляется в осадках.
- **По способу уплотнения и виду модуляции:** с ЧРК, с ВРК и аналоговой модуляцией импульсов, цифровые РРЛ.
- **По пропускной способности:** РРЛ большой ёмкости- (более 100 Мбит/с), средней ёмкости для зоновой связи-60...300 к.(10-100 Мбит/с), малой ёмкости для местной и ведомственной связи. Используют несколько стволов для увеличения пропускной способности.

Методы модуляции

- В аналоговых РРС практически всегда применяется ЧМ
$$f(t) = f^n + K \cdot U(t)$$
- При АМ и однополосной модуляции трудней бороться с искажениями, вызванными нелинейностью АХ и ниже помехоустойчивость к тепловому шуму.
- В цифровых РРЛ со средней пропускной способностью используется относительная фазовая манипуляция (ОФМ), кодируется разность фаз двух соседних радиоимпульсов.
- При частотной манипуляции изменяется частота радиоимпульсов. Двоичные ЧМ и АМ применяются в РРЛ с малой пропускной способностью.
- Применение АФМ обеспечивается высокая эффективность использования полосы частот. Для ЦРРЛ с высокой пропускной способностью АФМ-16 и ОФМ-4.



Резервирование РРС

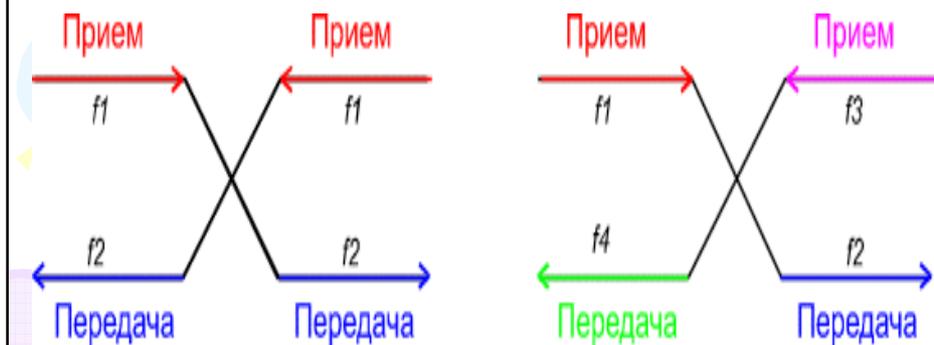
- С целью увеличения надежности работы линии связи применяются различные способы резервирования. В диапазонах частот выше 10 ГГц в ЦРРЛ наибольшее распространение получают системы резервирования 1 + 1, когда на один рабочий ствол приходится один резервный.
- В сложных условиях распространения радиоволн, оба ствола могут быть использованы для организации разнесенного приема, существенно улучшающего устойчивость работы системы связи.
- Зачастую строятся простые одноствольные системы связи без резервирования, учитывая высокую надежность современной аппаратуры. К примеру, время наработки на отказ аппаратуры ЦРРЛ типа MINI - LINK E шведской фирмы ERICSSON достигает (согласно рекламе) 20 - 30 лет.



Диапазоны частот

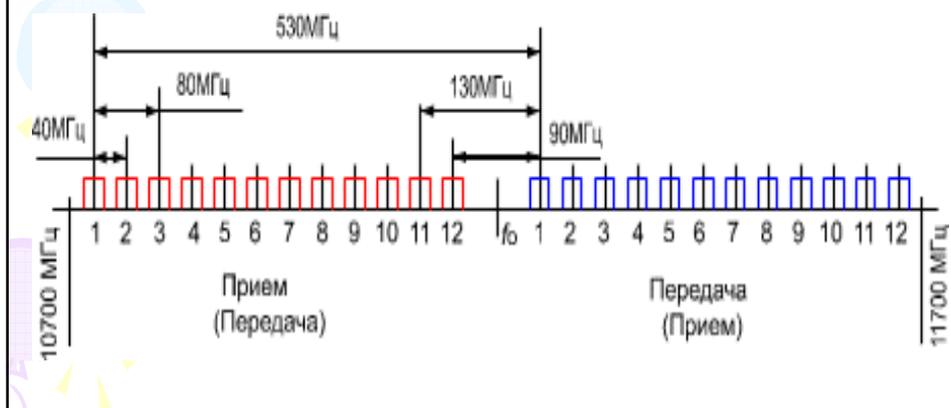
- Используют диапазоны дециметровых и сантиметровых волн, где можно получить широкую полосу частот (30 ГГц) и где почти полностью отсутствуют атмосферные и промышленные помехи.
- Для РРЛ можно использовать две частоты, если антенны с узкой диаграммой направленности (СМВ) трасса в виде ломаной линии.
- Для более низких частот используют четырёх-частотный план, для прямого и обратного направления выбирают различные пары частот.
- Для тропосферных РРЛ выделены полосы частот в диапазонах 1; 2 и 4,5 ГГц. Пропускная способность до 120 каналов ТЧ, $P = 3 \dots 10$ кВт, расстояние 300...400, в отдельных случаях до 600... 800 км.

Двухчастотные и четырёхчастотные системы



- 2-частотная система экономична с точки зрения использования полосы частот, выделенной для организации радиорелейной связи, но требует применения антенн с хорошими защитными свойствами от приема и передачи сигналов с боковых и обратных направлений.
- В диапазонах частот выше 10 ГГц широко применяются параболические антенны улучшенного исполнения с дополнительными экранами (воротниками), позволяющими достичь требуемых показателей.
- 4-частотная система допускает применение более простых и дешевых антенн и позволяет улучшить защищенность линии связи от взаимных помех, но используется достаточно редко. Как правило, четырехчастотную систему можно рекомендовать для организации линий связи при очень сложной электромагнитной обстановке.

Широкое развитие информационных радиосетей заставляет строго регламентировать использование рабочих частот в выделенных диапазонах волн. На рисунке показан пример плана распределения рабочих частот для системы РРЛ, работающей в диапазоне 11 ГГц в соответствии с Рекомендациями 387-2 МСЭ-Р.



Диапазон 2 ГГц (1.7-2.1 ГГц)

- Этот диапазон характеризуется возможностью распространения сигналов на достаточно протяженных пролетах (до 50-80 км).
- Устойчивость распространения радиоволн в сильной степени зависит от экранирующего действия препятствий на интервалах РРЛ при атмосферной рефракции.
- В этом диапазоне волн антенны обладают весьма большими габаритами, и поэтому коэффициенты усиления не превышают 35-38 дБ при диаметрах параболических антенн до 5 м.
- С уменьшением размеров антенн эффективность системы связи резко падает. Диапазон подвержен влиянию помех от других радиотехнических средств.

Диапазон 4 ГГц (3.4-3.9 ГГц)

- Наиболее освоенный и загруженный РРЛ диапазон частот. В этом диапазоне работают многие магистральные системы связи. Характеризуется возможностью получать довольно протяженные пролеты (40-55 км) при хороших качественных показателях.
- Остронаправленные антенны (с коэффициентами усиления порядка 40 дБ) обладают значительными габаритами и весом и, следовательно, требуют весьма дорогостоящих антенных опор.
- На распространение сигналов оказывает существенное воздействие атмосферная рефракция, приводящая к экранированию сигнала препятствиями на пролетах, и интерференция прямых и отраженных волн.
- Диапазон сложен с точки зрения электромагнитной совместимости, так как в нем работает множество радиотехнических средств.

Диапазон 6 ГГц (5.6-6.2 ГГц)

- Популярный в последние десятилетия диапазон частот, предназначенный для магистральных систем связи.
- Позволяет получить достаточно эффективные системы РРЛ, передающие большие объемы информации. Средняя протяженность пролета достигает 40-45 км.
- Размеры антенн не слишком велики (например, антенна с коэффициентом усиления 43 дБ имеет диаметр 3.5 м).
- На распространение сигналов оказывает существенное воздействие:
 - **атмосферная рефракция**, приводящая к экранированию сигнала препятствиями на пролетах,
 - **интерференция прямых и отраженных волн.**

Диапазон 8 ГГц (7.9-8.4 ГГц)

- Диапазон 8 ГГц освоен сейчас достаточно хорошо.
- В нем работает большое количество радиорелейных систем средней емкости:
 - порядка 300-700 ТЛФ каналов в стволе для аналоговых,
 - до 55 Мбит/с - для цифровых систем.
- Существует и аппаратура большой емкости, STM-1.
- На распространение сигнала начинают оказывать влияние гидрометеоры (дождь, снег, туман и пр.). Кроме того, влияет атмосферная рефракция.
- Средняя протяженность пролета РРЛ составляет 30-40 км. Антенны имеют высокий коэффициент усиления при диаметрах порядка 1.5 - 2.5 м.
- Число радиосредств в России, использующих этот диапазон, не велико, и ЭМ обстановка благополучна.
- Диапазон применяется для организации зонных линий связи и различных ответвлений от магистральных систем, систем как средней, так и большой емкости.

Диапазоны 11 и 13 ГГц (10.7-11.7, 12.7-13.2 ГГц)

- При протяженности пролета 15-30 км, высокоэффективные антенны имеют небольшие габариты и вес, относительно дешевые антенные опоры.
- Доля влияния атмосферной рефракции на устойчивость работы систем уменьшается, но увеличивается влияние гидрометеоров.
- В этих диапазонах строятся цифровые радиорелейные системы связи на скорости до 55 Мбит/с, хотя, есть примеры передачи цифровых потоков до 155 Мбит/с.
- Аппаратура часто строится в виде моноблоков, т.е. приемопередатчики объединены с антенной и располагаются на вершине антенной опоры.
- Эти диапазоны используют большое количество радиосредств: Спутниковые системы связи, радиолокаторы и пеленгаторы, охранные системы создают неблагоприятную электромагнитную обстановку, что затрудняет работу в данных диапазонах.

Диапазоны 15 и 18 ГГц (14.5-15.35, 17.7-19.7 ГГц)

- Интенсивное развитие систем связи привело к бурному освоению этих диапазонов частот.
- Протяженность пролетов достигает 20 км для умеренного климата.
- Аппаратура выполняется в виде моноблока.
- Типовые параболические антенны имеют диаметры 0.6, 1.2 или 1.8 м при коэффициентах усиления от 38 до 46 дБ.
- В ряде регионов России диапазон 15 ГГц уже перегружен радиосредствами. Диапазон 18 ГГц пока более свободен.
- Сильное влияние оказывают гидрометеоры и интерференция прямых и отраженных волн. Ослабление в дожде может составлять 1-12 дБ/км (при интенсивности дождей 20-160 мм/час).
- Некоторое влияние оказывает ослабление в атомах кислорода и молекулах воды, достигает 0.1 дБ/км.

Диапазон 23 ГГц (21.2-23.6 ГГц)

- Согласно рекомендациям МСЭ-Р в этом диапазоне разрешено строить системы аналоговой и цифровой связи любой емкости.
- Средняя протяженность пролетов меньше 20 км.
- На распространение сигналов сильное влияние оказывают гидрометеоры и ослабление в атмосфере.
- Желательно использовать вертикальную поляризацию радиоволн, хотя разрешено использование любую.
- Типовые параболические антенны имеют диаметры 0.3, 0.6 и 1.2 м.
- Ослабление в дождях может быть от 2 до 18 дБ/км, а в атмосфере достигает 0.2 дБ/км.
- Диапазон разрешено использовать в спутниковых системах связи. Поэтому необходимо учитывать возможность помех.

Диапазон 27 ГГц (25.25-27.5 ГГц)

- Диапазон предназначен для построения систем фиксированного радио-обслуживания.
- Ослабление сигнала в атмосфере меньше 0.1 дБ/км.
- Средняя протяженность пролета 12 км.
- Ослабление в дождях 3-24 дБ/км.
- Антенны имеют диаметр 0.3, 0.6 м.

Диапазон 38 ГГц (37-39.5, 38.6-40 ГГц)

- Согласно рекомендациям МСЭ-Р в этом диапазоне разрешено строить системы аналоговой и цифровой связи любой емкости.
- Протяженность пролета меньше 8 км. В случае если показатель неготовности линии связи соответствует локальному качеству, протяженность интервала можно довести до 15 км.
- Аппаратура представляет собой моноблок с антенной диаметром 0.3 м. Используется только вертикальная поляризация, так как, при этом получается лучшая устойчивость системы связи при наличии дождей.
- Ослабление в атмосфере составляет порядка 0.12 дБ/км, а в гидрометеорах - от 5 до 32 дБ/км (при интенсивности дождей от 20 до 160 мм/час).

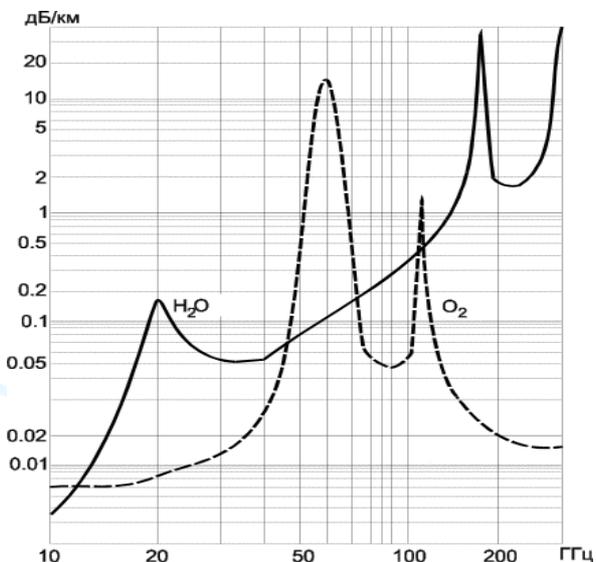
Диапазон 55 ГГц (54.25-57.2 ГГц)

- Протяженность пролета несколько километров при антеннах диаметром 15 см. Ослабление сигнала в атмосфере до 5 дБ/км, а в дождях - от 7 до 40 дБ/км.
- **Диапазон 58 ГГц (57.2-58.2 ГГц)**
- В этом диапазоне разрешено строить системы аналоговой и цифровой связи любой емкости, но рекомендации пока отсутствуют. Диапазон можно использовать для создания пролета РРЛ на расстояние в 1-2 км, используя антенны диаметром меньше 15 см. Ослабление сигнала в атмосфере до 12 дБ/км, а в дождях - от 9 до 45 дБ/км. Сильное влияние дождей приводит к неустойчивости работы системы связи.

Частоты выше 60 ГГц

- На частотах выше 60 ГГц наблюдается непрозрачность атмосферы для радиоволн из-за поглощения энергии в атомах кислорода (резонансные частоты поглощения равны 60 и 120 ГГц (5, 2.5 мм).
- Однако, в последние годы, появился интерес к этим диапазонам для создания безлицензионных радиосистем с пролетами протяженностью 1-2 км.
- В условиях очень сухого климата, при малой вероятности осадков или на коротких пролетах, может использоваться диапазон частот 84-86 ГГц и выше.
- В России имеется аппаратура на диапазон частот 93 ГГц.

Поглощение в газах атмосферы



Способы резервирования

- С целью увеличения надежности работы линии связи применяются различные. В диапазонах частот выше 10 ГГц в ЦРПЛ наибольшее распространение получают системы резервирования 1 + 1, когда на один рабочий ствол приходится один резервный.
- В сложных условиях распространения радиоволн, оба ствола могут быть использованы для организации разнесенного приема, существенно улучшающего устойчивость работы системы связи.
- Зачастую строятся простые одноствольные системы связи без резервирования, учитывая высокую надежность современной аппаратуры. К примеру, время наработки на отказ аппаратуры ЦРПЛ типа MINI - LINK E шведской фирмы ERICSSON достигает (согласно рекламе) 20 - 30 лет.

Достоинства цифровых методов

- Высокая помехоустойчивость при использовании каналов с высоким уровнем помех и искажений. Качество практически не зависит от расстояния (от числа перезаписи сигналов).
- Совместимость каналов, предназначенных для передачи различной информации, и с электронными станциями, новые мультимедийные услуги.
- Возможность цифровой обработки, в том числе цифровой компрессии, удобство создания спецэффектов.
- Большая эффективность использования РЧС, в полосе частот аналогового ТВ канала (8 МГц) - 4...6 (8...12) цифровых.

Виды модуляции в РРС

- Модуляцию в цифровых РРЛ называют манипуляцией.
- Двоичные некогерентные АМ и ЧМ применяют в РРЛ с малой пропускной способностью.
- Двоичная ОФМ в РРЛ средней пропускной способности ОФМ применяется, чтобы исключить неопределённость фазы принятой несущей (приём в негативе).
- В РРС с высокой пропускной способностью используется ОФМ-4 и АФМ-16 (КАМ-16).
- Используется и CDMA, система с кодовым разделением каналов.

Радиорелейная связь

- РР сеть страны имеет протяжённость 133,3 тыс. км, состоит, в среднем, из двух телефонных и трёх ТВ стволов. Это, в основном, аналоговая аппаратура "Восход", "Рассвет", "Курс", "Радуга".
- К 2005 г. переведено на цифру менее четверти РРЛ.
- Для ЦРРЛ магистральной сети используются диапазоны частот 4,5,6 ГГц с передачей сигналов со скоростями до 620 Мбит/с (STM-2). Диапазоны 7, 8, 11 ГГц предпочтительно использовать для магистральных РРЛ небольшой протяжённости и в качестве вставок.
- Для ЦРРЛ внутризоновых сетей используются диапазоны частот 7, 8, 11, 13, 15 ГГц с передачей сигналов со скоростями до 51 Мбит/с.
- Для ЦРРЛ местных сетей используются диапазоны частот от 7 до 38 ГГц с возможностью передаче и сигналов со 620 Мбит/с на городских линиях и со скоростями до 51 Мбит/с на сельских линиях.

Области использования ЦРРЛ:

- Организация цифровых трактов магистральной, внутризоновой и местных сетей, сетей ведомственной связи.
- Организация СЛ, в том числе и для связи базовых станций сотовой связи с центрами коммутации.
- Резервирование кабельных линий связи.
- Использование для восстановительных работ и при чрезвычайных ситуациях.
- Современные отечественные и зарубежные ЦРРЛ способны обеспечить высокое качество и надежность работы, такие же как и ВОЛС. Они находят применение особенно в условиях сложного рельефа местности.

Рынок РРС

- Интенсивный рост рынка РРС в РФ объясняется развитием сотовой связи (85% доля операторов СС).
- Доля отечественных производителей не превышает 30%. Нет пока нашего магистрального SDH-оборудования. Идёт ценовая война наших и зарубежных производителей.
- Основными потребителями наших РРЛ являются: силовые ведомства, ведомственные операторы, стремящиеся к максимальной экономии затрат.
- Ассоциация отечественных производителей АПОРРС («Радиан»-С-Пб, ПКП «Бист»-Татарстан, «Фобос», «Сеть+сервис» и НТЦ уникального приборостроения РАН-Москва должна противостоять агрессивному проникновению зарубежных поставщиков.

ALCATEL

- РРЛ использовались при строительстве газопровода Уренгой-Ужгород, в ведомственных транспортных сетях «Газпрома», «Сургутнефтегаза», в сетях СС, в магистральной сети «Уралсвязь-информа».
- Производятся системы PDH средней и малой ёмкости (9400LX, 9400LU и 9400LY) и SDH системы высокой ёмкости (9600LSY 9600USY).
- Системы PDH нового семейства 9400AWY работают в полосах частот 7,1-8,5 ГГц, 10,7-11,7 ГГц, 12,7-13,3 ГГц, 14,4-15,4 ГГц, 17,7-19,7 ГГц, 21,2-23,6 ГГц, 24,5 - 26,5 ГГц, 27,5-29,5 ГГц, 31,8-33,4 ГГц, 37-39,5 ГГц с конфигурацией 1+1 или 1+0, скорость до 34 Мбит/с.
- Поддерживают до 16 портов E1 или один E3, возможно использование портов Ethernet и E1.

Израильская CEPAGON NETWORKS

- Поставляет PPC FibreAir в РФ с 2002 г. и контролирует до 10% рынка.
- Заказчики: «Вымпелтелеком», «Сибирьтелеком», «Урал-связьинформ», «Голден телеком», «Теле2» и другие.
- Диапазоны частот: 6, 7, 8.11, 13, 15, 18, 23, 26, 28, 29, 31, 32 и 33 ГГц.
- Поддержка двух несущих позволяет удвоить пропускную способность 2x311 Мбит/с и обеспечить разнесённый приём.
- Интерфейсы: NxSTM-1, STM-4, NxЕ1, NxЕ3, NxFast Ethernet, Gigabit Ethernet, встроенный мультиплексор ввода/вывода SDH.
- С 2006 г. производятся магистральные PPC SDH повышенной мощности (до 32 дБм) типа all indoor .

ERICSSON

- 40% мирового рынка РРЛ.
- В РФ – основной поставщик РРЛ для мобильной связи, кроме того РРЛ используют «Лукойл», «Транснефть», «ТНК», «РАО ЕС России», «Газком», ЦБ РФ.
- Поставляет PPC семейств: Mini-Link E ETSI, пропускная способность до 34 Мбит/с, Mini-Link HC (SDH-155Мбит/с), Mini-Link TN ETSI (до 32 потоков E1).
- диапазоны частот: 7, 8, 13, 15, 18, 23, 26, 28, 32 и 38 ГГц.
- Приобретённая компания Marconi производит MMDS и PPC MDRS.
- В Москве центр с запасными частями и блоками, ремонт станций в Швеции.

- **NERA** – норвежская компания, продано за последние годы более 700 РРС.
- Поставляет магистральное SDH оборудование 155Мбит/с InterLink и CityLink.
- **SIEMENS** – поставляет оборудование SRAL XD (pdh) SPA 4 (SDH). Пропускная способность и ширина полосы пропускания могут задаваться программным путём.
- **ООО «ДЖЕНЕРАЛ ДЕЙТАКОМ»** - продаёт в РФ ежегодно более 4 тыс. РРС. Основная модель «Антирум 630» для местных и внутризональных сетей. Сервис центры в Москве и С-Петербурге.

Отечественные РРС

- Наши РРС уступали зарубежным по надёжности и другим параметрам (разница как с автомобилями).
- Когда появился доступ к зарубежной элементной базе, качество отечественных РРС не стало уступать зарубежным, а стоимость ниже.
- **НПФ «МИКРАН»** (г.Томск) ей принадлежит 10% российского рынка РРС, не менее 40% всей производимой в РФ радиорелейной аппаратуры: - малоканальные МИК-РЛ150М и МИК-РЛ400М,- среднескоростные (до 34 Мбит/с) МИК-РЛ7 и МИК-РЛ40Р -РРС SDH для магистральных и внутризональных РРЛ.
- **ЗАО «НТЦ НАТЕКС»** -ей принадлежит около 1% рынка: - Nateks-Mikrolink-S, (m), (Sm), (S). Стоят дешевле и быстро поставляются.
- **ЗАО «РАДИАН»** - контролирует 5-7% рынка РРЛ в РФ. Производит РРС «Радиян» (PDH и SDH).

- **ООО «СЕТЬ+СЕРВИС»** поставляет РРС «Флокс», производимых МЦ «Фобос», в том числе для МЧС, МВД и МО России.
- **ЗАО «АО РАДИУС-2»**
- **ООО «Кедах Электроникс Инженеринг»**
- На рынке России представлен широчайший ассортимент РРС от малоканальных до высокоскоростных.

Благодарю за внимание!

