

ЗНАЧЕНИЕ И РАЗВИТИЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

А.С. Иванцев, О.Г. Титова

Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева

Аннотация. В представленном материале произведен анализ состояния современных интегрированных сетей связи. В частности отмечены существующие трудности в развертывании и эксплуатации сетей. Особая роль при решении поставленных задач отводится использованию радиорелейных линий связи различных фирм производителей.

Ключевые понятия: интегрированные сети связи, радиорелейные линии связи, «последняя миля», опорная сеть.

В настоящее время наблюдается сложная ситуация в мире телекоммуникаций. Многие пользователи хотят получать интегрированные услуги телефонии, передачи данных, видеослужбы и т.д. В современных реалиях для успешной конкуренции на рынке телекоммуникационных услуг оператор должен уметь работать с мультисервисным трафиком и, следовательно, эксплуатировать мультисервисную сеть передачи данных.

Чтобы потребитель смог воспользоваться какой-либо телекоммуникационной услугой, будь то доступ в Интернет или сервис телефонии, оператор, работающий на рынке услуг связи для конечных пользователей, должен решить прежде всего две задачи:

- задача построения опорной сети связи;
- организовать доставку услуг связи от точки доступа до абонента (проблема "последней мили").

При этом линии связи должны соответствовать определенным требованиям, в частности:

- обеспечивать надежную бесперебойную связь на определенном расстоянии;
- поддерживать широкополосную передачу информации разных типов;
- быть защищенными от внешних помех и физических воздействий;
- обеспечивать стабильность технических параметров связи, ее надежность и экономичность.

Традиционные методы решения описанных задач - создание проводной инфраструктуры связана со многими трудностями (сложность прокладки проводных коммуникаций в условиях городской застройки, продолжительность выполнения и высокая стоимость работ и т.д.).

Радиосвязь по линии, образованной цепочкой приемо-передающих радиостанций, называется радиорелейной связью. Осуществляется обычно на

дециметровых 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. В этих диапазонах низок уровень атмосферных и промышленных помех радиоприему, а также возможно применение остронаправленных (с малым углом излучения) малогабаритных антенн.

Таблица 1–Радиочастоты, применяемые в радиорелейной связи

радиодиапазон	метрическая мера		частотная мера	
	длина волны, см	название	частота, ГГц	название
9	100-10	дециметровые волны, ДЦВ	0.-3.0	ультравысокие волны, УВЧ
10	10-1	сантиметровые волны, СВ	30.-30.0	сверхвысокие волны
11	1-0.1	миллиметровые волны	30-300	крайневысокие волны

Особые свойства, которые отличают радиорелейную связь от традиционной проводной, делают ее все более привлекательной для использования в глобальных, региональных и местных сетях связи. В тех случаях, когда требуется осуществить быстрое развертывание сети передачи данных в районах с неразвитой связной инфраструктурой или при создании сетей передачи данных, обслуживающих подвижных абонентов, радиорелейной связи нет альтернативы. Современные экспертные оценки признают, что линии связи на основе радиорелейного оборудования во многих случаях могут быть альтернативой волоконно-оптическим (ВОЛС). Дело не только в дешевизне радиорелейных линий, но в том, что за 60-летнюю историю развития радиорелейной связи оборудование РРЛ достигло такого технического уровня, что качество построенных на его основе линий не уступает ВОЛС. При этом оно позволяет оперативно развертывать сети связи с различной топологией: "звезда", "магистраль", "кольцо" и пр., а также может быть использовано в условиях, когда прокладка оптического кабеля невозможна.

Радиоволны дециметрового (ДЦВ) и сантиметрового диапазонов (СВ) (табл. 1) распространяются в основном за счет поверхностной волны прямолинейно. Поэтому связь с ее помощью может быть организована только на дальности прямой видимости. Для того чтобы максимально увеличить расстояние прямой видимости между РРС, их антенны устанавливают на мачтах или башнях высотой 70-100 м и по возможности - на возвышенных местах (рисунок 1).

Максимальная дальность радиорелейной связи определяется не только физической прямой видимостью, но и радиовидимостью (для высоких частот – чтобы 1-я зона Френеля не касалась поверхности), которая зависит от частотного диапазона используемых РРС, емкости ствола (скорость потока), диаметра антенн. На равнинной местности расстояние между РРС обычно составляет 40-70 км, в горах и на пересеченной местности оно может быть

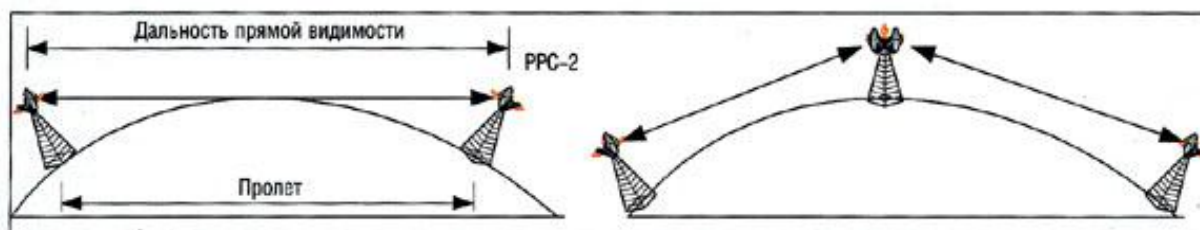


Рис. 1. Построение радиорелейной линии связи

увеличено за счет установки РРС на возвышенностях или вершинах гор. Если расстояние между РРС превышает пределы прямой видимости, то устанавливаются промежуточные (ретрансляционные) РРС. Применение (в отдельных звеньях цепочки) станций тропосферной радиосвязи, которые используют эффект рассеяния радиоволн СВЧ на неоднородностях тропосферы, позволяет увеличить это расстояние до 250-300 км.

Цифровые магистрали, на основе которых строятся современные сети передачи данных, должны соответствовать стандарту SDH (Synchronous Digital Hierarchy - синхронная цифровая иерархия), определяющему основные характеристики линий для цифровой сети передачи данных. Такие линии обеспечивают передачу любых видов данных: текста, звука, речи, изображений и видеофильмов с помощью дискретных электрических сигналов.

Современная цифровая РРС – сложный технический комплекс, в который входит приемопередатчик, модем, мультиплексор, приемопередающие антенны, система автоматического резервирования, система телеуправления и телесигнализации, контрольно-измерительная аппаратура, устройства служебной связи, система электропитания.

Приемопередатчик РРС – устройство, которое выполняет функции приема и передачи модулированных электрических колебаний заданных частот. Приемник выделяет электрический сигнал заданной частоты из сигналов, принятых приемной антенной. С выхода приемника сигнал поступает на модулятор. Передатчик вырабатывает модулированный электрический сигнал заданной частоты для последующего его излучения передающей антенной. На вход передатчика сигнал поступает из модулятора. Один комплект приемопередающей аппаратуры, установленный на РРС, образует ствол. Для увеличения пропускной способности на РРС устанавливают несколько комплектов такой аппаратуры - создают несколько стволов.

Таблица 2- Основные характеристики некоторых РРС

Типы РРС	Характеристики					
	Диапазон, ГГц	Скорость передачи, Мбит/с	Длина пролета, км	Количество стволов	Диаметр антенны, м	Поддерживаемый стандарт
Радан МГ-120	10.7-11.7	2.048	45	2	1,1	E1
Радан МГ-480		34.368		2	1,1	E3
Радан МГК-120		2.048, 8.448;		1	0,6	E1, E2
Радан МГК-480		34.368		1	0,6	E3
"Флокс"	1.5-2.6	2.048, 8.448;	70	1	0,6	E1, E2, E3
"Флокс"		34.368		2	0,6	

Радиорелейные линии на основе цифровых РРС стали важной составной частью цифровых сетей электросвязи - ведомственных, корпоративных, региональных, национальных и даже международных.

При организации связи по цифровой радиорелейной линии должна быть решена проблема выделения частот приема и передачи. Ее решение относится к компетенции ГКРЧ России, 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).

Спектр применения современных цифровых радиолиний достаточно широк, это объясняется тем, что они позволяют:

- оперативно наращивать возможности системы связи путем установки оборудования РРС в помещениях узлов связи, используя антенно-мачтовые устройства и другие сооружения, что уменьшает капитальные затраты на создание радиорелейных линий связи;
- организовать многоканальную связь в регионах со слабо развитой (или с отсутствующей) инфраструктурой связи, а также на участках местности со сложным рельефом;
- разворачивать разветвленные цифровые сети в регионах, больших городах и промышленных зонах, где прокладка новых кабелей слишком дорога или невозможна;
- восстанавливать связь в районах стихийных бедствий или при спасательных операциях и др.

Сеть РРС может строиться как однопролетная линия, многопролетная линия и радиорелейная сеть. Однопролетная РРЛ состоит из двух территориально разнесенных РРС. Такие радиолинии могут создаваться для соединения базовых центров сотовой связи, АТС и других аналогичных объектов. Примерами такой структуры могут служить радиолинии, разработанные фирмой Нега (Норвегия). Радиолиния с пропускной способностью 140 Мбит/с для российского телевидения соединила телецентр на Ямском поле с земной станцией спутниковой связи в Клину, обеспечив одновременную передачу 17 телевизионных каналов. РРЛ с пропускной способностью 155 Мбит/с и емкостью 1920 цифровых каналов РФ, связала Центробанк с его подразделением, удаленным на 140 км. Широкое применение получили малогабаритные, быстро разворачиваемые РРС диапазонов 18, 23 и 36 ГГц, которые способны передавать на расстояние до 25 км как аналоговую (телевизионную), так и цифровую информацию (со скоростью до 34 Мбит/с). Типичное применение цифровых РРС данных диапазонов - организация сетей местной связи, сетей сотовой и транковой связи. В последнем случае, как правило, применяются однопролетные РРЛ "базовая станция" - "базовая станция" и "базовая станция" - "коммуникационная станция".

РТС могут быть использованы также вместо широкополосных оптоволоконных линий, создаваемых в городских условиях для связи между узловыми АТС и другими объектами связи. Такие РРС могут быть встроены в телекоммуникационные сети, отвечающие стандартам SDH/SONET. Основными направлениями применения радиолиний в этом случае могут быть:

- магистраль. РРЛ вписывается в городские сети SDH/SONET и служит для замыкания колец, для соединения между кольцами и для подключения удаленных узлов доступа. Линия может использоваться как транспортная альтернатива оптоволокну или для его резервирования;
 - организация доступа к сети АТМ. РРЛ соединяется с оконечным сетевым устройством АТМ и концентратором доступа АТМ;
 - сопряжение между собой сетей АТМ, FAST ETHERNET и других.
- В настоящее время появилось большое количество РТС этих диапазонов, которые выпускаются зарубежными и отечественными производителями. На мировом рынке представлены РТС около 15 фирм, в том числе Microwave Network (США), Ceragon Networks.

Предлагают свои малогабаритные РТС и отечественные производители. С 1993-1994 гг. начали выпускаться РРС серии "Радан-МС", "Радан-МГ", семейство станций "Эриком", "Пихта-2", "Радиус-15", "Комплекс-15" и ряд других. В тот период эти РРС по техническому уровню и надежности не могли сравниться с зарубежными аналогами. В дальнейшем положение изменилось, и были разработаны РТС нового поколения - серия станций "Просвет", станции "Радиус-ДС", "Ради-ус-15М", "Звезда-11", "Радиус-18" и ряд других.

Для организации магистральных радиолиний связи используется отечественное оборудование "Астра" с интерфейсом Ethernet 10BST, "Woscom" с интерфейсом E1/Ethernet 10BST. Диапазон рабочих радиочастот: 10,38 - 10,68 ГГц. Гарантированная дальность связи, обеспечиваемая оборудованием в условиях прямой видимости, составляет 30 км. Выбор оборудования определяется наличием удобного интерфейса Ethernet, приемлемым набором технических характеристик, доступной ценой.

Выбор РРС огромен, но для предоставления высококачественных услуг телефонии оператор должен иметь возможность передавать голосовой трафик в своей опорной сети по независимым синхронным каналам. Один из способов независимой передачи голосового трафика - использование отдельных РРЛ с потоком E1. Однако стоимость опорной сети при реализации такого решения удваивается. К тому же, в условиях дефицита частотных ресурсов, развернуть опорную мультисервисную сеть указанного типа иногда просто невозможно, так как для работы данной сети требуются как минимум два полнодуплексных частотных ствола. Решить данную проблему позволяет применение РРС, обеспечивающих независимую передачу потоков E1 и Ethernet в одном частотном стволе. Такой возможностью обладает новая разработка "Вокком Системз" – радиорелейные станции AS-10 и AS-11. Их отличительной особенностью как раз и является отдельная и независимая передача голосового трафика и трафика данных в одном частотном стволе с сохранением стандартных линейных скоростей 2,048 и 10 Мбит/с соответственно. Поскольку потоки E1 и Ethernet передаются в синхронном групповом канале без преобразования скоростей, временные задержки также сведены к минимуму.

Еще одним сложным вопросом является радиочастотный план. Как известно, радиочастотный ресурс ограничен, поэтому использовать его следует экономно. Для этого важно правильно составить частотный план для радиорелейной линии. Проект сети РРЛ, кроме сведений о количестве и месторасположении сетевых узлов, должен содержать информацию о номиналах рабочих радиочастот. РРС "Астра" и "Woscom" являются полнодуплексными системами: для работы одной линии связи требуется две частоты. Разнос между частотами приема и передачи должен быть не менее 155 МГц.

При правильном составлении частотного плана можно обойтись всего одной парой частот для построения опорной сети связи масштаба крупного города с населением несколько миллионов человек (рисунок 2). Такой подход позволяет экономить средства как при получении разрешения на использование рабочих радиочастот, так и при покупке комплектов запасных приемопередатчиков (оператор должен иметь несколько запасных комплектов для каждого номинала используемых частот).

При использовании одной пары радиочастот число узлов в опорном кольце сети должно быть четным, что позволяет чередовать частоты приема и передачи в шахматном порядке. Уменьшение взаимного влияния станций достигается путем осуществления пространственной и поляризационной

селекции. Используя необходимую измерительную аппаратуру (например, анализатор спектра и широкополосный осциллограф), произвести эти операции несложно.

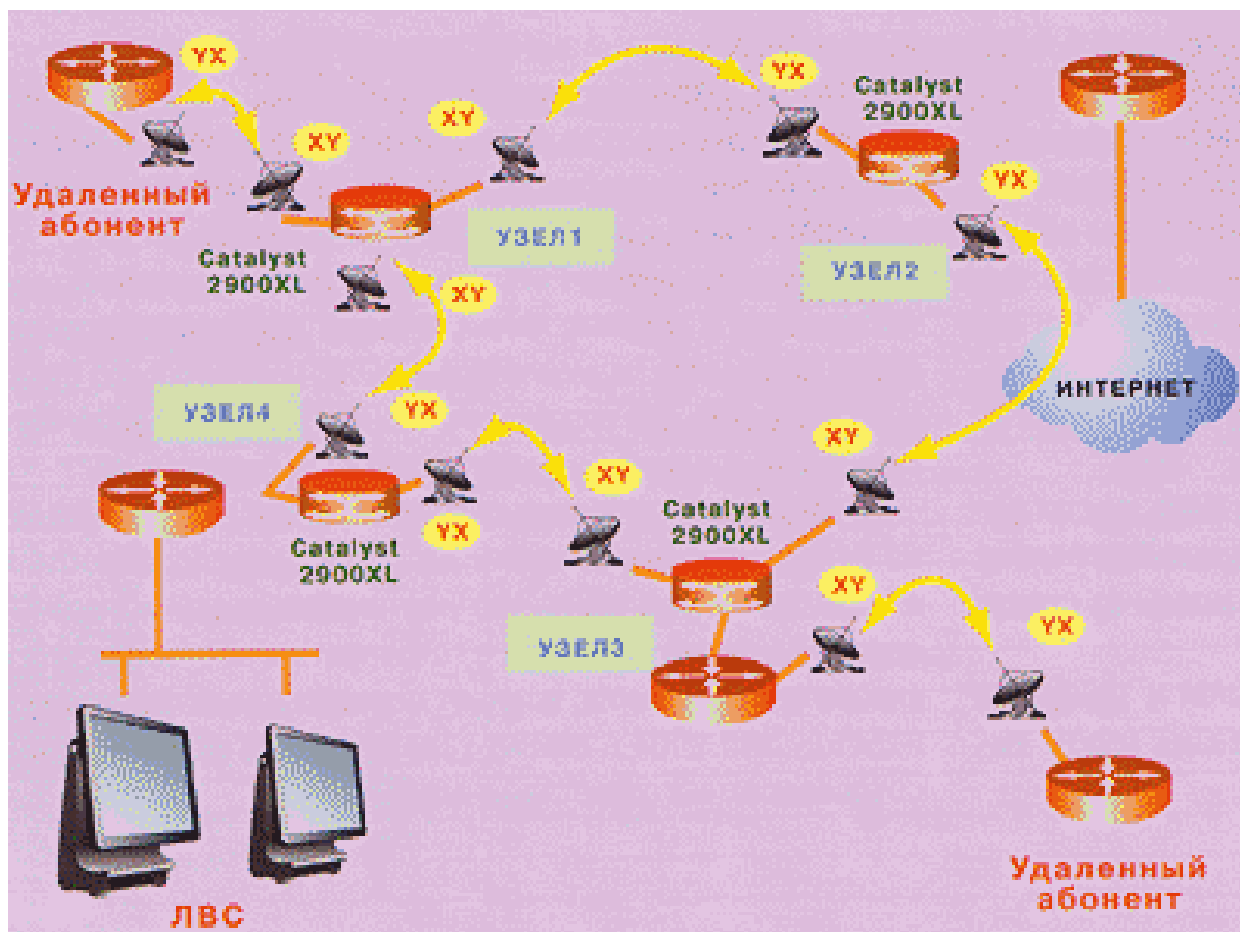


Рис. 2. Схема организации телекоммуникационной сети операторского класса на базе радиорелейной станции "Астра-СТЭЛ" (<http://rmt.ru/>)

Задача организации линии связи на "последней миле", то есть на участке между абонентом и ближайшей точкой доступа оператора связи, легко решается с помощью оборудования стандарта RadioEthernet. Этот беспроводной аналог обычной технологии Ethernet за последние несколько лет стремительно развивался. Сеть состоит из центрального узла и базовых станций, являющихся сегментами опорной мультисервисной сети. Каждая базовая станция подключена к центральному узлу по двум каналам E1 и Ethernet, организованным в одной радиорелейной линии. Подключение абонентов осуществляется через устройства беспроводного доступа. Преимущества такой сети очевидны: оператор может предложить абоненту качественные, а значит, более конкурентоспособные услуги высокоскоростной передачи данных и IP- телефонии.

Применение РРС "Астра-СТЭЛ" также позволяет организовывать абонентские линии связи при решении проблемы "последней мили". Для этого рабочие частоты всех передатчиков и приемников на одном объекте

должны быть одинаковыми. Пример построения сети подобного типа показан на рисунке, где схематично изображены узлы опорной сети передачи данных. Они соединены между собой радиолиниями и объединены в кольцо. Пусть верхние и нижние рабочие частоты РРС обозначены символами X и Y. Радиорелейная линия состоит из двух дополняющих друг друга полукомплектов приемопередатчиков. Если передатчик одного полукомплекта имеет рабочую частоту X, то приемник другого полукомплекта должен быть настроен на частоту Y и наоборот. Все оборудование, установленное на узле 1, передает радиосигнал на частоте X и принимает на частоте Y. Таким образом, полностью исключается взаимное влияние расположенного на одной площадке оборудования. По такому же принципу устанавливается оборудование на других узлах сети.

Одной из важнейших характеристик операторских сетей считается скорость переключения трафика с основных линий в случае их отказа на резервные. Переключение должно происходить быстро и автоматически. Распространенным способом организации отказоустойчивой сети на основе ВОЛС является применение метода одинарного резервирования, то есть построение сети в виде кольца. Для обеспечения устойчивой работы сети, построенной на базе радиорелейных станций, используется другой способ – организация дополнительных резервных каналов. При этом реализация схемы переключения может быть произведена на уровнях либо IP, либо Ethernet.

На уровне IP для переключения трафика на резервные каналы используются протоколы динамической маршрутизации OSPF (Open Shortest Path First) или BGP (Border Gateway Protocol). Метод предусматривает подключение каналов связи напрямую в маршрутизаторы.

Сама по себе такая классическая схема проста, однако она обладает некоторыми недостатками. Весь поток данных, проходящий через такую сеть, на пути его следования обрабатывается каждым маршрутизатором. При этом в каждом из узлов сети должен быть установлен маршрутизатор, способный обработать поток данных на скорости физического канала. Например, для канала с шириной полосы пропускания 10 Мбит/с требуются мощные маршрутизаторы, производительность которых должна быть соответственно не ниже 10 Мбит/с. При соединении в узловой точке нескольких каналов необходим маршрутизатор, обрабатывающий трафик их суммарной мощности.

Использование столь мощных маршрутизаторов в сетях малого и среднего масштаба экономически невыгодно. К тому же, при такой технологии появляются значительные задержки в обработке пакетов данных и, что еще более важно, возникают неконтролируемые вариации задержек.

Одним из эффективных методов, позволяющих существенно уменьшить задержки, возникающие при переключении трафика с основного канала на резервный, является перенос управления переключением с уровня IP на уровень Ethernet. При этом радиоканалы, организованные на базе РРС "Астра-СТЭЛ", подключаются не в маршрутизаторы, а в коммутаторы. Сеть такого типа изображена на рисунке 2.

В проекте опорной сети компании Р.М.ТЕЛЕКОМ применяются коммутаторы производства фирмы Cisco Systems. Из всего семейства коммутаторов, производимого Cisco, наиболее подходящим для реализации такого решения являются коммутаторы серии Catalyst 2900XL. Эти устройства поддерживают нужные протоколы и функции (в частности, STP (Spanning Tree Protocol) и UDLD (Unidirectional Link Detection) и обладают достаточной производительностью для коммутации потоков данных, передающихся по каналам связи, организованным с помощью РРС "Астра-СТЭЛ". Кроме того, коммутаторы этой серии дешевле большинства других аналогичных устройств.

Вопрос о применении того или иного рода связи или их комбинации в сетевой инфраструктуре диктуется конкретными географическими условиями, а также экономическими, социальными и политическими факторами, нуждами обороны и безопасности страны. 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, в том числе и радиорелейной.

Инфраструктура мировой и национальных сетей цифровой связи, которая развивается как интегрированная первичная транспортная сеть, обеспечивающая передачу любого вида информации, базируется на комплексном использовании проводной, радио, радиорелейной и спутниковой (космической) связи. Радиорелейная связь занимает в этой структуре свое достойное место.