

РАЗДЕЛ 2

СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОГО АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

2.1. ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОГО АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

Сети беспроводного абонентского доступа, также именуемые системами WLL (wireless local loop, дословно – беспроводной абонентский шлейф), представляет собой тип технологий связи, используемый для подключения стационарного телефона к стационарным наземным телефонным сетям по радио. Логично предположить, что WLL используется там, где невозможно или слишком дорого – в силу разных причин – осуществить такое подключение традиционными проводными средствами. Такими условиями по опыту первых стран, наиболее широко внедрявших на ТфОП (телефонной сети общего пользования) сети беспроводного абонентского шлейфа, были: Швеция – по причине сложностей географического рельефа (фьорды и скальный грунт, значительно удорожавшие строительство проводных инфраструктур), Канада – труднодоступная местность и низкая плотность населения для прокладки экономически целесообразного линейно-кабельного хозяйства, Великобритания и Ирландия – традиции землепользования, затруднявшие прокладку кабельных линий по землям сельскохозяйственных угодий а также, например, в малонаселённых сельских регионах. Кроме того, данную технологию используют телефонные операторы, не обладающие собственными сетями, построенными на медно-проводной или оптоволоконной основе. Интерес операторов ТфОП продиктован также тем обстоятельством, что в иерархической структуре таких сетей (рис. 2.1) сеть доступа представляет собой самую широко разветвленную (обеспечивает доступ к каждому из многих тысяч абонентов) и практически незащищенную от случайного или преднамеренного разрушающего воздействия структуру (нарушение кабельных систем при производстве ремонтно-строительных работ, злонамеренные действия вандалов или охотников за цветными металлами).

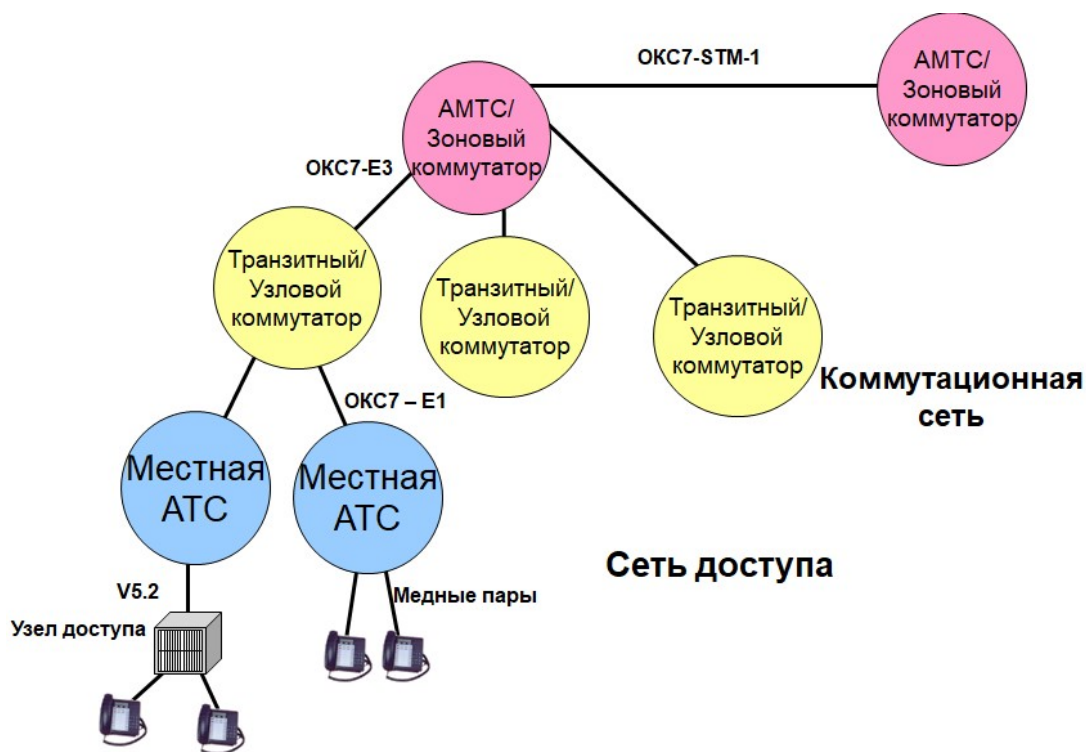


Рис. 2.1.

Можно даже не говорить о тех материальных и имиджевых убытках компаний-операторов, которые возникали в этой связи. Это давало надежду на то, что внедрение технологий радио в сети доступа будет востребовано операторами ТфОП. Появившиеся к 80-м годам прошлого века технологии радио интерфейса и освоение диапазонов частот в интервале сотен мегагерц – единиц гигагерц создали условия для построения сравнительно недорогих, а значит массовых устройств для решения задач беспроводного абонентского шлейфа. Таким образом, предлагалось заменить всю сложную в строительстве и обслуживании проводную инфраструктуру на участке от местной АТС до абонента (рис. 2.2а)

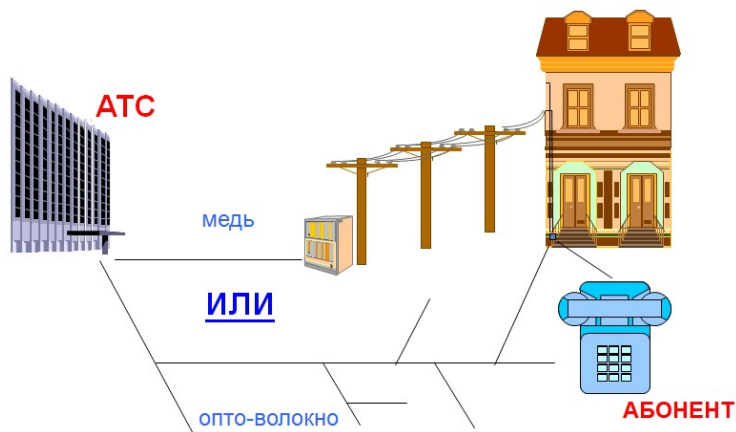


Рис. 2.2а.

радио линией (рис 2.2б) от стационарного оборудования, располагающегося в здании АТС и подключаемого к абонентским комплектам коммутационного оборудования, до радио терминала абонента, который с одной стороны поддерживает радио интерфейс со стационарным оборудованием сети беспроводного абонентского доступа, а с другой – формирует стандартные интерфейсы для подключения телекоммуникационных устройств абонента (в частности, через стандартизированный физический сетевой интерфейс RJ 11).

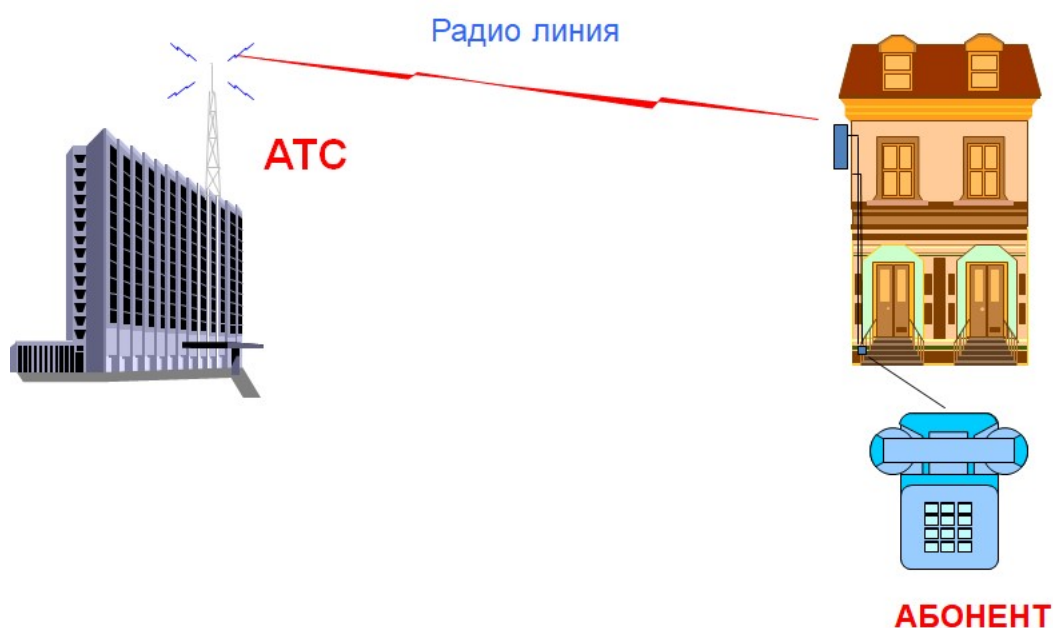


Рис. 2.2б.

Однако для разработки и производства оборудования таких сетей требовались капитальные вложения, а привлечь их можно было только доказав прибыльность таких вложений. Консалтинговые компании, которые обычно в существующей практике современного бизнес регулирования выработывают рекомендации по вложению свободных средств предпринимателей в определенные направления развития (в том числе, и для страхования прибылей путем диверсификации объектов капитальных вложений) при исследовании возможного эффекта капвложений прибегли к анализу востребованности беспроводного абонентского доступа различными типами операторов в различных по уровню развития связной инфраструктуры странах – соответствующая диаграмма приведена на рис.2.3.

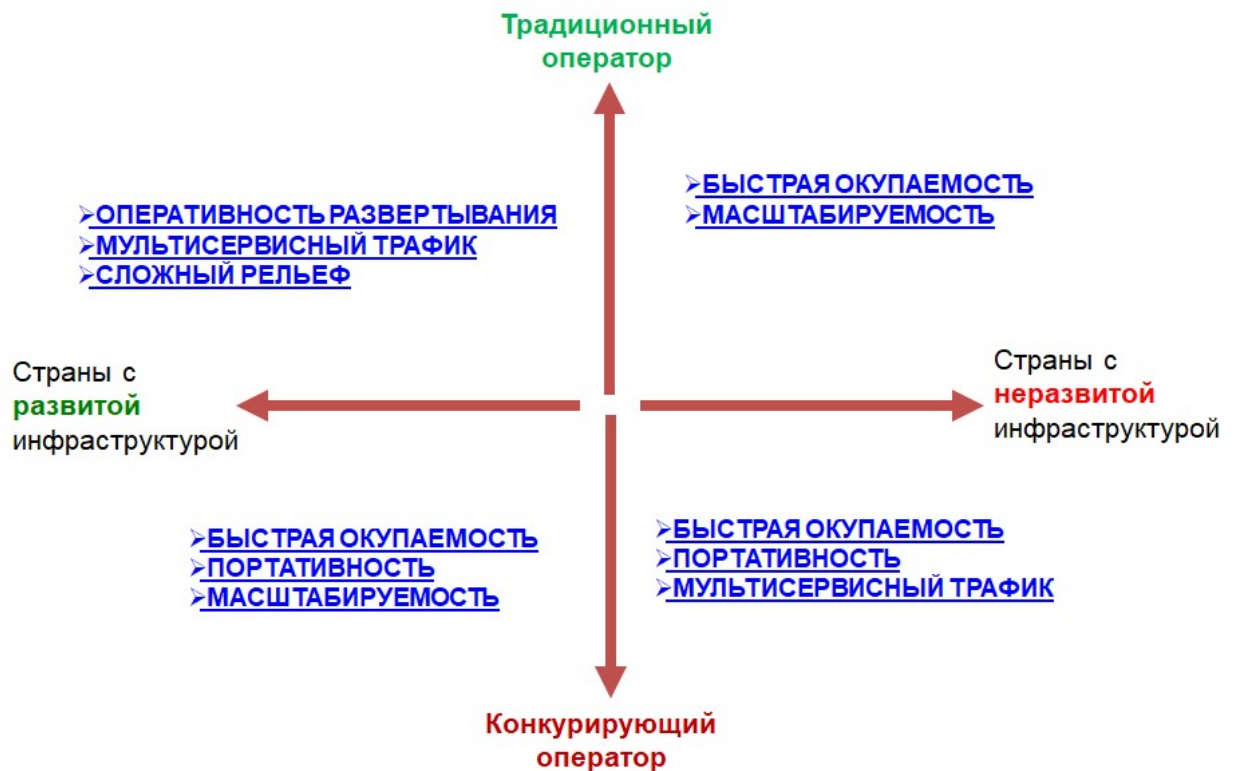


Рис. 2.3.

При анализе под традиционным (дословно в переводе с английского – обязательным или уполномоченным) оператором понимается оператор, которому местным органом власти поручено обеспечить и поддерживать связную инфраструктуру и предоставление соответствующих услуг на подчиненной территории – например, на Британских островах это British Telecom. В отечественной практике в те годы (конец 80-х – начало 90-х годов прошлого века), когда системы WLL начали внедряться в нашей стране, в Москве таким оператором была организация МГТС – Московская городская телефонная сеть, а в Санкт-Петербурге – ЛГТС (Ленинградская городская телефонная сеть), позже – ПТС (Петербургская телефонная сеть). Исходя из своей роли уполномоченного оператора такая организация была обязана развивать свою сеть, и сеть доступа в том числе, в соответствии с планами развития территории, например, строительством новых районов города, как бы малопривлекательно с коммерческой точки зрения это ни было. Так, например, Петербургской телефонной сети было поручено обеспечить в поселке Володарский телефонной связью ветеранов Великой отечественной войны к празднованию 50-летия победы в 1995 году. Несмотря на то, что поселок расположен всего в нескольких километрах от ближайшей АТС, дойти до него проводными средствами представляло непростую задачу прокладки линии под железнодорожным полотном и по сельскохозяйственным угодьям. Для решения этой задачи было применено оборудование WLL. А вот МГТС, не имея оборудования беспроводного абонентского доступа, не смогло оперативно решить проблему телефонизации микрорайона Жулебино, построенного за МКАД, куда сети

МГТС еще не были проложены. Там успешно развернул сеть радиодоступа конкурирующий с МГТС в московском регионе оператор – Центральный телеграф. Конкурирующими операторами ТфОП в Санкт-Петербурге являлись, например Петерстар и Метроком. Особенностью конкурирующего оператора является то, что он вырабатывает свою коммерческую политику без оглядки на потребности территорий, где он проводит операторскую деятельность, а исходя только из своего коммерческого интереса и/или определенных особенностей деятельности (например, Метроком формировал свою абонентскую базу только из юридических лиц), но при этом он не имеет тех льгот и преференций, которые предоставляются традиционному оператору властью, действующей на обслуживаемой территории. Это может быть, например, выделение на льготных условиях земельных участков для строительства линейно-кабельных сооружений, определенную емкость которых традиционный оператор может в дальнейшем сдавать в аренду конкурирующему оператору монопольных условиях. Таким образом, конкурирующий оператор также заинтересован в сетях беспроводного доступа, чтобы иметь возможность подключить своих абонентов без привлечения технических ресурсов традиционного оператора.

В квадрантах, образованных осями диаграммы на рис. 2.3, перечислены те аспекты, которые формируют заинтересованность оператора каждого типа (традиционного и конкурирующего), работающего в той или иной по уровню связной оснащенности стране (с развитой или неразвитой инфраструктурой связи) в использовании беспроводного абонентского доступа. Здесь следует отметить те особенности, которые выгодно отличают WLL от проводных систем. Во-первых, это оперативность развертывания: зачастую это до 48 часов на ввод в эксплуатацию станционного оборудования и до 1.5 ...2 часов на установку и запуск каждого абонентского комплекта. Такие характеристики, конечно, не идут ни в какое сравнение со строительством проводной инфраструктуры.

Не менее привлекательно для оператора выглядит и такое свойство, как портативность, то есть способность системы к перемещению из одной зоны обслуживания к другой. Так, например, Центральный телеграф после прихода МГТС своими каналами в Жулебино демонтировал действовавшее там оборудование беспроводного доступа и перенос в другую зону обслуживания в Московской области.

Очень важное значение для систем массового обслуживания (коей является сеть радиодоступа) имеет такое свойство, как масштабируемость. Под масштабируемостью понимается способность сети (в данном случае – станционного оборудования, поскольку абонентское оборудование по определению имеет это свойство в виде наращивания числа абонентских терминалов при расширении абонентской базы) справляться с увеличением рабочей нагрузки (увеличивать свою производительность) при добавлении

ресурсов (обычно аппаратных). И что очень важно в понимании масштабируемости – она означает способность сети увеличивать производительность пропорционально дополнительным ресурсам, а наращивание дополнительных ресурсов происходит без необходимости структурных изменений центрального узла системы – стационарного оборудования сети беспроводного абонентского доступа.

Существует два различных принципа функционирования сети беспроводного абонентского доступа:

- радиопередача от пункта к пункту, например, от какого-то узла сети доступа к конкретному абоненту (радио удлинение);
- радиопередача от какого-то узла сети доступа (как правило, по экономическим соображениям – от местной АТС ко множеству абонентов (топология, называемая точка – многоточие, или Р-МР по англоязычной терминологии), когда базовая станция обеспечивает распределение канального ресурса на множество приемо-передатчиков и используется несколько режимов передачи (каналов доступа) для обеспечения связи одновременно с несколькими абонентами.

2.2. РАДИО УДЛИНЕНИЕ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТОВ БЕСШНУРОВОГО ТЕЛЕФОНА

На современном этапе развития WLL радио удлинители в основном выродились в такую свою разновидность как бесшнуровые телефоны, использующие радио интерфейс на участке сети доступа от телефонной трубки до базовой части телефонного аппарата, подключенной к проводной телефонной сети. Возникнув уже в первом поколении сетей радиодоступа, такие системы быстро обрели стандартизованные решения и прошли определенный путь развития – от стандартов собственно бесшнуровых телефонов – СТ0, СТ1, СТ2 – до появления стандарта DECT, который изначально, судя по названию, задумывался как улучшенный цифровой бесшнуровой телефон (Digital Enhanced Cordless Telephone).

Еще в середине 70-х годов на рынке появились первые персональные радиотелефоны стандарта СТ (позже получившего обозначение СТ0). Аббревиатура СТ – Cordless Telephone – означает "бесшнуровой телефон". Этот стандарт предопределил будущее сложившегося стереотипа конструкции: базовый блок (ББ), подключенный к телефонной абонентской линии, и переносная радиотелефонная (бесшнуровая) трубка с встроенным аккумулятором. Функционально любой бесшнуровой телефон, независимо от стандарта, имеет в своем составе следующие узлы: радиоприемное и радиопередающее устройства, электронный номеронабиратель, вызывное устройство (звонок), системы управления и кодирования, блок питания и индикации. Кроме стандартных пользовательских услуг, в большинстве бесшнуровых телефонов предусмотрен вызов трубки с базы - функция Page. Это, кстати, позволяет легко найти трубку по звуку. Очень популярна также

двухсторонняя телефонная связь между ББ и трубкой, называемая Intersome, превращающая весь радиотелефонный комплект в мини-АТС с такими стандартными возможностями, как "переадресация", "внутренняя связь" и др. В простых аппаратах набор номера производится только с трубки, а в более дорогих - и с трубки, и с ББ.

Следует заметить, что стандарт СТ0 был только "пробным шаром" - его технические возможности весьма скромны:

- диапазон частот относительно невысок (1,5...50 МГц), что требует применения специальных укороченных антенн; это же обстоятельство нередко вызывает сильнейший эфирный шум, особенно в промышленных зонах, что в сочетании со следующим фактором снижает качество голосовой связи;

- передача речевых сообщений здесь ведется в аналоговом режиме с помощью частотной модуляции, причем количество рабочих каналов невелико - от 8 до 15, соответственно, и идентификация "своей" трубки производится просто по номеру частотного канала; понятно, что при этом возможен элементарный "захват" ББ "чужой" трубкой с таким же номером канала, находящейся в пределах зоны его действия. Поэтому в некоторых моделях предусмотрена блокировка работы ББ в радиоэфире при трубке, "положенной" на ББ, и находящейся в состоянии "заряд";

- телефонный разговор в радиоэфире, согласно стандартам, должен вестись только в дуплексном режиме, т. е. одновременно на прием и передачу; для простоты создания "дуплекса" используются разнесенные частоты приема и передачи, при этом ББ обычно имеет более низкую частоту передачи, чем трубка. Невозможность шифрации при использовании аналогового протокола связи делает легкодоступным перехват радио разговоров;

- использование аналогового радио интерфейса заставило использовать сравнительно высокие мощности передающих устройств (до 100 мВт) и предопределили небольшую дальность связи – до 50...300 м.

В 1985 г. СЕРТ (Conference of European Posts and Telegraphs) предложила первый стандарт СТ1 на систему беспроводных телефонов в полосе частот 900 МГц с 40 дуплексными каналами с ЧРК (частотным разделением). В 1985 г. на мировом рынке появился стандарт СТ1 для систем бесшнуровой телефонии, работающих на частоте 900 МГц (825...837 МГц в Европе, в России разрешена полоса частот 814...815/904...905 МГц) с 40 дуплексными каналами и традиционным частотным разделением каналов (FDMA). Таким образом, это - обычное расширение предыдущего стандарта (только в другом частотном диапазоне): связь по-прежнему аналоговая. Главное преимущество СТ1 - количество радиоканалов увеличилось, следовательно, возможна более высокая плотность абонентов в зоне радио покрытия.

Положительные отличия от стандарта СТ0:

- при малых радиусах действия оказалось возможным перейти на более высокие рабочие частоты, что сделало эфир чище, а мощность передачи

радиосигнала ниже (до 10 мВт); также значительно улучшились конструкции приемопередающих антенн;

- связь трубки осуществляется только через "свой" ББ благодаря наличию в системе "Т-ББ" идентификационного кода (число вариантов кода - более миллиона), а значит, теперь уже значительно затруднен захват ББ "чужой" трубкой; - очень часто вводят переключатель рабочих каналов (в последнее время автоматический) - для исключения помех от других близко расположенных бесшнуровых телефонов;

- улучшились пользовательские характеристики: значительно уменьшились габариты трубки (в некоторых моделях почти в два раза), нередко трубка обеспечивает и громкоговорящую связь, а для повышения информативности снабжают трубку и ББ дисплеями с пиктограммами режимов работ. Кроме того, часто вводятся функции шумоподавления, контроля за разрядом аккумулятора и выхода из зоны уверенной связи;

- стало возможным применение удаленного радиодоступа с помощью выноса наружу узконаправленных малогабаритных радиоантенн, в основном от ББ, для увеличения дальности радиосвязи, как правило, не более, чем на 5 км (при прямой видимости);

- появились комбинированные устройства (например, совмещающие функции радиотелефона и автоответчика, факса и т. д.), а главное - небольшая мобильность позволила подключить к ББ несколько трубок (обычно не более трех) и превратить всю систему в полнофункциональную мини-АТС с присущими ей возможностями. Для подзарядки трубки стали применять отдельный от ББ "зарядный стакан", который иногда содержит в себе отсек и для зарядки дополнительного аккумулятора. Применение радиотелефонов стандарта СТ1 в деловой сфере показало их высокую эффективность.

Но сорока дуплексных каналов все же оказалось недостаточно. Поэтому очень скоро был принят расширенный стандарт "СТ1+", имеющий 80 дуплексных каналов. Однако присущие ему недостатки (низкое качество связи, обусловленное аналоговым протоколом сигнализации; отсутствие секретности (криптозащиты) передачи речевых сообщений) привели к появлению принципиально нового цифрового стандарта - СТ2. Для него был выделен диапазон частот 864...868,2 МГц (он разрешен и в России), в котором размещается 40 радиоканалов с шириной полосы частот 100 кГц каждый. Вот основные особенности СТ2:

- применен метод временного разделения (TDD) приема и передачи между ББ и трубкой на одной частоте, которая выбирается автоматически сканированием всех свободных каналов при оптимизации наилучшего качества связи (метод DCS);

- для "закрытия" речи в радиоэфире введен цифровой поток в радиоканале (32 кбит/с) с применением АДИКМ-кодека для высококачественной передачи речи;

- средняя излучаемая мощность составляет 5 мВт (пиковая - 10 мВт), впервые введено двухуровневое управление мощностью передатчика, защищающее приемник ББ от перенасыщения и уменьшающее уровень помех и интерференции в эфире;

- применение цифровой технологии легко позволило осуществить возможность перемещения абонента от одной базовой станции к другой, что создало уникальные условия для построения радиосетей на основе "пикосот";

- цифровой протокол открыл возможность работы с цифровыми сетями.

Расширение стандарта СТ2, получившее наименование СТ2+, сделало возможным его использование в пикосотовых сетях. Этот стандарт был положен в основу системы "Telepoint" десяти стран Европы, где доступ абонентов осуществляется через радиопорты (базовые станции пикосот), подключенные в городах к телефонным сетям общего пользования. Более того, был применен удаленный абонентский радиодоступ для фиксированных абонентов как для радиотелефонии, так и для передачи данных. Популярность СТ-систем побудила западный концерн Ericsson создать систему бесшнуровых телефонов DCT900, коммерческая эксплуатация которой началась с октября 1990 г. На примере этого стандарта легко прослеживаются основные тенденции дальнейшего развития современных стандартов. Например, в DCT-900 предусматривается доступ уже к 64 полнодуплексным каналам; диапазон частот выделен в пределах 862...866 МГц. Основными новшествами его являются:

- временное разделение каналов (TDMA) совместно с временным разделением режимов приема/передачи (TDD);

- метод динамического распределения каналов;

- скорость передачи данных в канале составляет 640 кбит/с, а в состав аппаратных средств впервые введен шифратор речи;

- передача сообщений по радиоканалу осуществляется GMSK-модуляцией, обеспечивающей более "плотный" и "закрытый" эфир, а также высокую абонентскую плотность - до 50 тысяч терминалов на квадратный километр.

Логичным продолжением развития СТ-систем стал появившийся в июне 1992 г. общеевропейский стандарт DECT (по обозначению ETSI – стандарт ETS-300175), близкий по своим параметрам к DCT-900 и способный к взаимодействию как с цифровыми сетями ISDN, так и с сетями подвижной связи стандарта GSM.

2.3. СЕТИ РАДИОДОСТУПА DECT

Стандарт DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) – европейский стандарт беспроводного телефона – не только получил преимущественное распространение в Европе, но и является наиболее популярным стандартом абонентского радиодоступа в мире благодаря простоте развертывания DECT-сетей, широкому спектру пользовательских

услуг и высокому качеству связи. Буквально через несколько лет после публикации стандарта он был принят более, чем в 100 странах, а на сегодняшний день количество пользователей насчитывает сотни миллионов. Следует отметить, что кроме DECT в мире распространены и другие стандарты беспроводной связи общего пользования: американский стандарт PACS – Public Access Communications System (1850...1910/1930...1990 МГц) и японский PHS – Personal Handyphone System (1895...1918 МГц), однако в нашей стране они не получили распространения.

Оконечными устройствами DECT могут быть как носимые (мобильные) абонентские станции (АС), так и устройства беспроводного доступа (УБД) – рис. 2.4. существуют системы DECT, работающие одновременно с АС и УБД, в других системах применяют только УБД. В спецификациях и описаниях DECT АС и УБД называют пользовательской частью (ПЧ). Базовые станции (БС) и коммутатор DECT относят к фиксированной части (ФЧ).

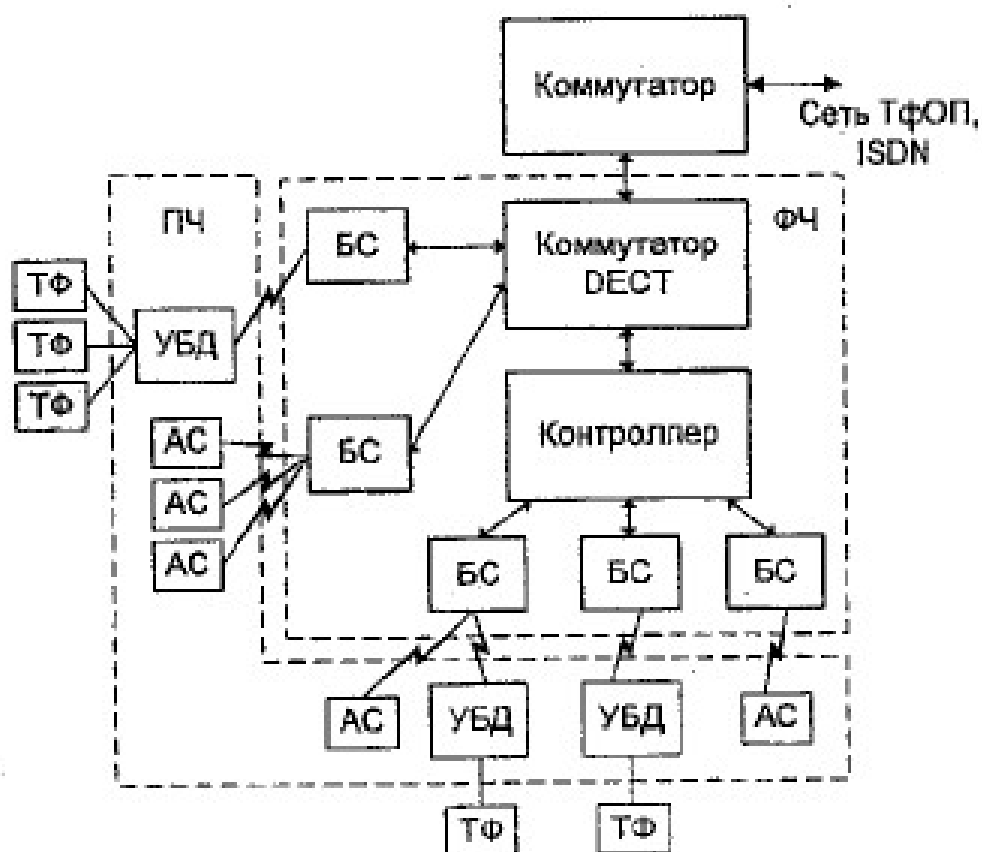


Рис. 2.4.

Коммутатор DECT служит расширением местного коммутатора телефонной сети или сети передачи данных и конструктивно представляет собой небольшую дополнительную стойку, устанавливаемую рядом с расширяемым коммутатором. В тех случаях, когда местный коммутатор и ФЧ DECT поставляется одной фирмой, абонентов DECT можно подключить

соответствующей заменой абонентских комплектов на местной АТС соответствующими платами DECT.

Формально стандарт DECT определяет только требования к радиоинтерфейсу, т.е. к каналу связи на участке между ПЧ и ФЧ. Интерфейс между БС и коммутатором DECT адаптируют к существующим типам коммутаторов. При большом числе БС их разбивают на группы и подключают к коммутатору через промежуточные узлы – контроллеры. DECT относится к системам пакетной радиосвязи с частотно-временным разделением каналов. Информацию передают по радиоканалу в виде пакетов, организованных в кадры – рис. 2.5. Каждый кадр длительностью 10 мсек разделен на 24 временных интервала (ВИ), причем первые 12 ВИ (0 ... 11) служат для передачи пакетов в направлении от ФЧ к ПЧ – DL (downlink, или нисходящее звено связи), а следующие 12 ВИ (12 ... 23) – для передачи в обратном направлении, представляя собой UL (uplink, или восходящее звено связи). Таким образом, разделение направление передачи осуществляется во времени и образует временной дуплекс.

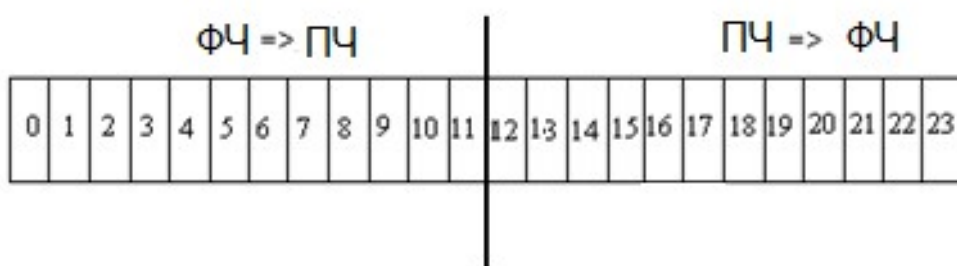


Рис. 2.5.

Дуплексный канал связи образуют два пакета с интервалом между ними в 12 ВИ, например, пары 0–12, 1–13, ..., 11–23 (рис. 2.6).

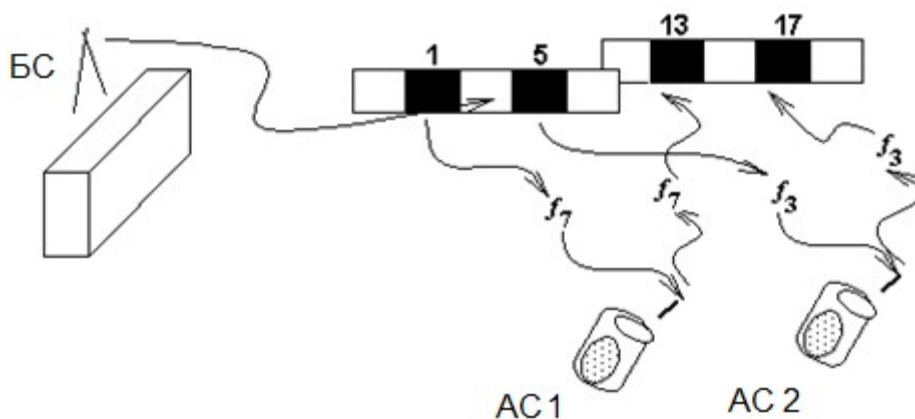


Рис. 2.6.

Структура кадра DECT приведена на рис. 2.7. Базовый информационный пакет состоит из 480 бит и включает в себя поля:

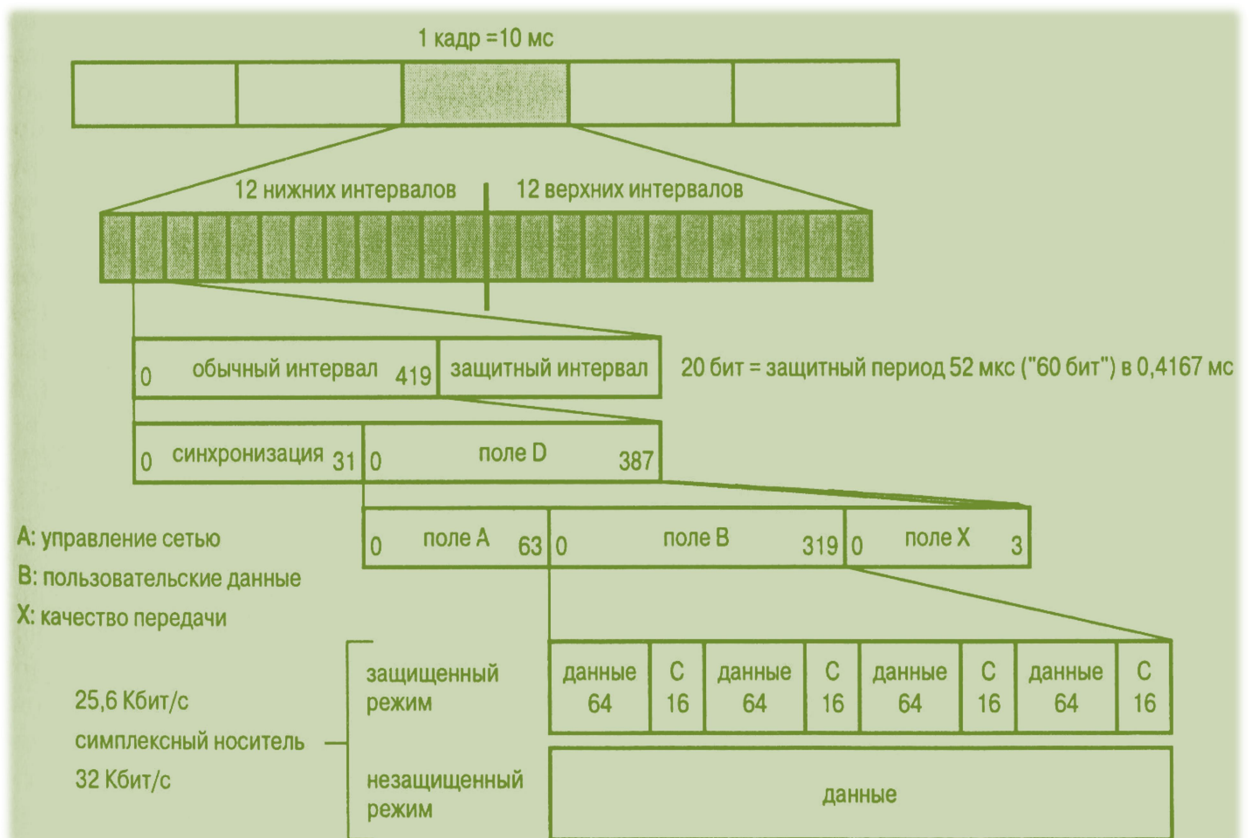


Рис. 2.7.

- синхронизации (32 бита),
- управления (поле А – 64 бита),
- пользовательских данных (поле В – 320 бит),
- биты контроля четности поля В (4 бита),
- защитный интервал длительностью 60 бит для предотвращения наложения данных соседних ВИ.

Таким образом, базовая скорость передачи информации составляет $320/10\text{мс} = 32\text{ кбит/с}$. С такой скоростью передают телефонию, используя АДИКМ. При передаче данных возможны два варианта: с защитой, когда данные одного ВИ разбиваются на блоки и каждый блок защищается полем С (при этом скорость пользовательская скорость снижается до 25,6 кбит/с; или без защиты данных – со скоростью 32 кбит/с.

Всего в частотном диапазоне 1880 – 1900 МГц выделено на фиксированных частотах 10 частотных каналов ($f_0...f_9$), так что потенциально DECT предоставляет $12 \times 10 = 120$ каналов связи. При подключении к сети приемник ПЧ просматривает все 120 каналов и выбирает наилучшие по критерию минимума уровня помех. Если БС состоит из одного приемопередатчика, то она может поддерживать одновременно связь по 12 каналам, что соответствует 12 парам ВИ. Каждый канал занимает одну пару ВИ на одной из 10 частот, причем и ВИ, и частоту выбирает ПЧ.

В примере на рис. 2.6 показано, что БС обеспечивает связь с двумя АС: с АС2 на частоте f_3 и с АС1 на частоте f_7 . Там же указаны и пары ВИ. В процессе передачи трафика АС, работая на выбранном канале, продолжает просмотр других каналов и, если находит канал с меньшим уровнем шума, то запрашивает его у БС и при получении разрешения производит смену канала, переходя на другую пару ВИ и, возможно, другую частоту. Таким образом, АС всегда работает на лучшем из свободных каналов, меняя их в процессе передачи сообщения несколько раз. Переход с одного канала на другой в DECT мягкий, происходит без нарушений в передаче информации, что обеспечивает высокое качество связи. В радиоканалах применяют Гауссовскую частотную модуляцию с минимальным сдвигом – GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), обладающую высокой компактностью спектра. Все станции DECT, как БС, так и АС и УПД, излучают при передаче пакета мощность 250 мВт, при этом чувствительность приемников радиостанций DECT не хуже -86 дБм. В диапазоне частот 1880 – 1900 МГц такой уровень мощности обеспечивает связь на трассах прямой видимости в сельской местности до 1...3 км. В городах площадь, покрываемая БС, обычно ограничена окружающими зданиями и другими препятствиями, так что радиус зоны покрытия обычно составляет не более 200...300 м. Ввиду малого размера сот DECT обеспечивает высокую плотность трафика - до нескольких сотен Эрланг на 1 кв.км. В системах беспроводного доступа средняя пользовательская нагрузка может достигать 0,14 – 0,25 Эрл при вероятности отказа в предоставлении канала 1%.

В соответствии с назначением сетей радио доступа, все устройства DECT, в том числе АС, разделены на несколько профилей. Основной профиль – профиль общего доступа GAP (Generic Access Profile) позволяет передавать сигналы телефонии и данные со скоростью 32 кбит/с. Большая часть носимых АС – это станции профиля GAP. Все остальные профили также обеспечивают передачу телефонии, но сверх того предоставляют высококачественные каналы для передачи данных и сопряжения с сетями ISDN и сотовыми сетями. Так, аппаратуру профиля RAP (Radio Access Profile) широко используют в качестве УБД. Профиль RAP позволяет передавать факсы и данные до скоростей 552 кбит/с. В сетях DECT, связанных с GSM, применяют аппаратуру профиля GIP. Для обеспечения связи по каналам DECT в зоне радио тени (дворах, поворотах улиц, коридоров, отдельных помещениях) используют ретрансляторы DECT.

2.4. СЕТИ БЕСПРОВОДНОГО АБОНЕНТСКОГО ШЛЕЙФА

Сеть строится по принципу от последней точки стационарной телефонной линии к первой точке новой зоны [радиосвязи](#) для подключения системы телефонной службы и/или услуг широкополосного доступа в [Интернет](#) для

абонентов беспроводной электросвязи. Существуют различные виды таких систем и технологий:

- широкополосный беспроводной доступ ([англ. broadband wireless access](#), сокр. *BWA*),
- радио в малой зоне ([англ. radio in the loop](#), сокр. *RITL*),
- фиксированный радиодоступ ([англ. fixed-radio access](#), сокр. *FRA*),
- фиксированный беспроводной доступ ([англ. fixed wireless access](#), сокр. *FWA*).

Система фиксированного беспроводного терминала ([англ. fixed wireless terminal](#), сокр. *FWT*) отличается от обычных мобильных терминалов, действующих в сотовой сети, в том, что фиксированный беспроводной терминал для стационарного [телефона](#) предусматривает практически постоянное местонахождение телефонного аппарата без возможности [роуминга](#). WLL и FWT — общие термины для обозначения использующих [радиосвязь](#) телекоммуникационных технологий и соответствующих устройств, которые могут быть реализованы с использованием целого ряда различных беспроводных технологий и [радио](#).

Для уяснения принципов работы и основных особенностей функционирования таких сетей рассмотрим более подробно две системы – AS4000 (производитель Airspan Corp.) и WipLL (Маркони-Израиль). Выбор этих систем не случаен: они отражают основную тенденцию развития систем беспроводного абонентского шлейфа – широкое применение проприетарных (нестандартизованных, запатентованных производителем) протоколов, ориентированных исключительно на решение задач WLL. Кроме того, эти системы охватывают практически весь спектр перспективных технических решений и технологий, использовавшихся разработчиками систем беспроводного абонентского шлейфа – расширение спектра методом прямой последовательности (AS4000) и скачков по частоте (WipLL), использование коммутации каналов (AS4000) и маршрутизации IP пакетов на основе оригинального протокола доступа к среде передачи (WipLL), реализация радиальной архитектуры «точка-многоточие» (P-MP) с центральной координацией распределения ресурсов с возможностью приоритизации абонентов (AS4000) или типа трафика (WipLL).

2.4.1. AS4000 – СИСТЕМА СТАЦИОНАРНОГО БЕСПРОВОДНОГО АБОНЕНТСКОГО ШЛЕЙФА С ПРЕДОСТАВЛЕНИЕМ КАНАЛОВ ПО ТРЕБОВАНИЮ

Система беспроводного стационарного доступа AS4000 представляет собой систему типа точка-многоточие, обеспечивающую беспроводной доступ в телефонную сеть для стационарных абонентов. Система AS4000 предоставляет услуги телефонии, передачи данных/факсимильных

сообщений в диапазоне тональных частот и передачи данных по выделенным каналам, обеспечивая те же функциональные возможности что и "медная пара", вследствие чего является прямой альтернативой системам, использующим для оказания подобных услуг медный кабель – рис. 2.8.

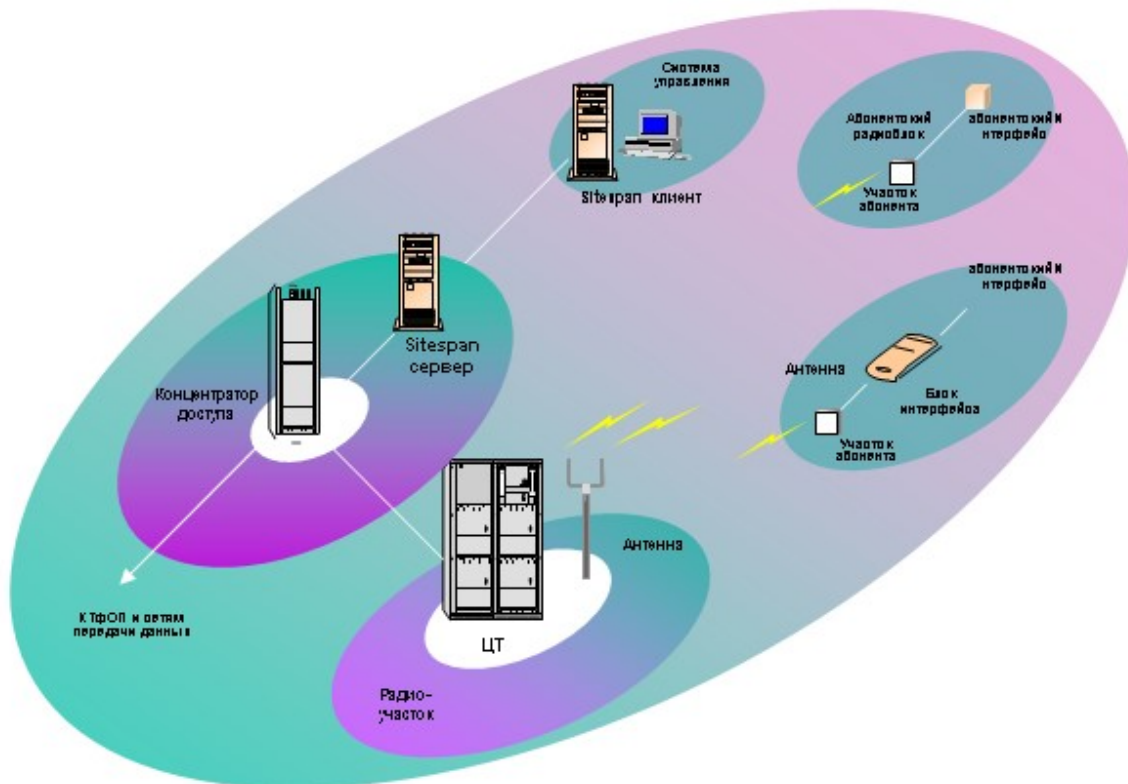


Рис. 2.8.

Как правило, система обеспечивает связь между оборудованием отдельных пользователей и местной АТС телекоммуникационной компании. Если требуется большая гибкость или более широкий диапазон использования, то радиооборудование сети может размещаться в другом подходящем здании или помещении.

Система AS4000 заменяет более традиционный медный кабель на участке абонентского шлейфа. Это снижает затраты по обслуживанию оборудования линии, а для новых пользователей жилых районов и офисов могут быть быстро развернуты цифровые линии связи.

Каждый абонентский узел обслуживается одной или несколькими радио линиями со скоростью передачи до 144 кбит/с каждая, которые могут использоваться в конфигурациях, поддерживающих либо до четырех телефонных линий, либо базовый доступ ISDN (2B+D).

Радио интерфейс с предоставлением каналов по требованию осуществляет временное, вызов за вызовом, назначение каналов для абонентских терминалов. Это позволяет иметь обслуживание различного уровня, позволяющее более эффективно использовать радиоканалы. Отличие данного типа радио интерфейса заключается в том, что радио каналы выполняют функции передачи трафика или управления. Каналы передачи трафика также могут быть определены как каналы с обычным доступом или как приоритетные каналы. Приоритетные каналы предназначены для обеспечения доступа к экстренным службам, когда все каналы системы уже заняты.

В состав системы AS4000 в режиме доступа по требованию входят следующие основные компоненты – рис. 2.9.

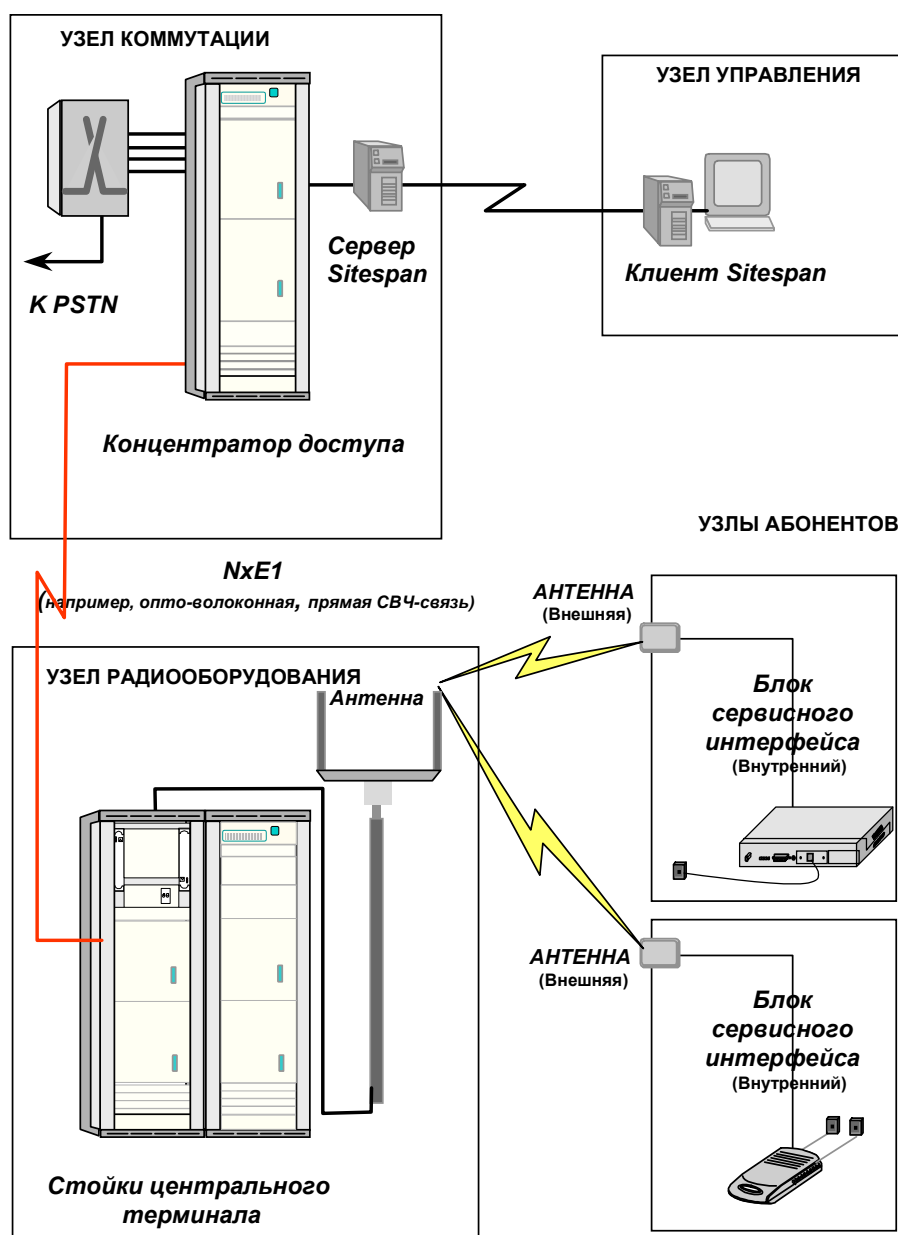


Рис. 2.9.

Абонентские терминалы (ST) расположены в помещениях заказчиков. Блок интерфейса (SIU) расположен внутри здания, а антенна с усилителем ПЧ расположена снаружи.

Центральный терминал (СТ) включает в себя по крайней мере одну стойку с секцией радиочастотного объединителя и модемные полки (одна или несколько). В стойке центрального терминала располагаются две модемные полки и секция радиочастотного объединителя. Стойка расширения предназначена для двух дополнительных модемных полок. Стойка радиочастотного объединителя используется для организации радио интерфейса для работы модемных полок. Обычно центральный терминал располагается в месте, обеспечивающем наилучшее радио покрытие, и соединяется с центральным офисом оператора для передачи сигналов управления, сигнализации и передачи трафика посредством системы связи типа точка-точка. Центральный терминал обрабатывает сигналы, передаваемые по цифровому сетевому интерфейсу, и обеспечивает одновременное подключение нескольких абонентских терминалов через радио-интерфейс AS4000 CDMA с предоставлением каналов по требованию.

Концентратор доступа (АС) располагается в центральном офисе оператора или на местной телефонной станции. Он предназначен для объединения трафика, передаваемого от нескольких модемных полок центрального терминала и текущего трафика и сигнализации, и передачи в сжатой и несжатой форме к узлу коммутации. Полностью укомплектованная полка концентратора доступа поддерживает до 64 каналов связи E1 с АТС. Концентратор доступа может также осуществлять обратную передачу сигналов управления к системе управления.

Система управления AS8100 Sitespan связана с концентратором доступа и центральными терминалами по выделенным каналам или через коммутируемую сеть. Sitespan обеспечивает конфигурацию системы и выполняет функции поддержки, передачу сообщений о неисправностях, контроль за функционированием системы, а также позволяет проводить тестирование оборудования.

Система использует технологию DS-CDMA (многостанционного доступа с кодовым разделением каналов и прямым расширением спектра) в радио интерфейсе между центральным терминалом и абонентскими терминалами, позволяя разделить один радиочастотный канал на несколько радиолиний. Между абонентскими терминалами и корреспондирующим с ними модемом центрального терминала распределен набор специальных кодов.

Процесс модуляции/демодуляции CDMA состоит из двух этапов. Вначале осуществляется прямое расширение спектра в каждой индивидуальной радиолинии при использовании псевдослучайного (PN) кода. Затем

достигается множественный доступ, когда много линий делят один радиоканал, при использовании набора ортогональных кодов (RW) Радемахера-Уолша. Коды PN и RW объединяются в один уникальный композитный код при модуляции и демодуляции каждой линии. В системе AS4000 реализуется версия CDMA, оптимизированная для фиксированного доступа. Она в значительной степени отличается от других коммерческих реализаций CDMA.

В режиме доступа по требованию радио интерфейс осуществляет временное, от вызова до отбоя, закрепление каналов за абонентскими терминалами, которое позволяет обеспечивать определенный уровень сервиса. Радио интерфейс в таких линиях отличается тем, что они предоставляются как для трафика, так и для каналов управления. Пул каналов трафика (ТСН) каждого радиочастотного канала поддерживает сочетание служб 32, 64 и 144 кбит/с – рис 2.10.

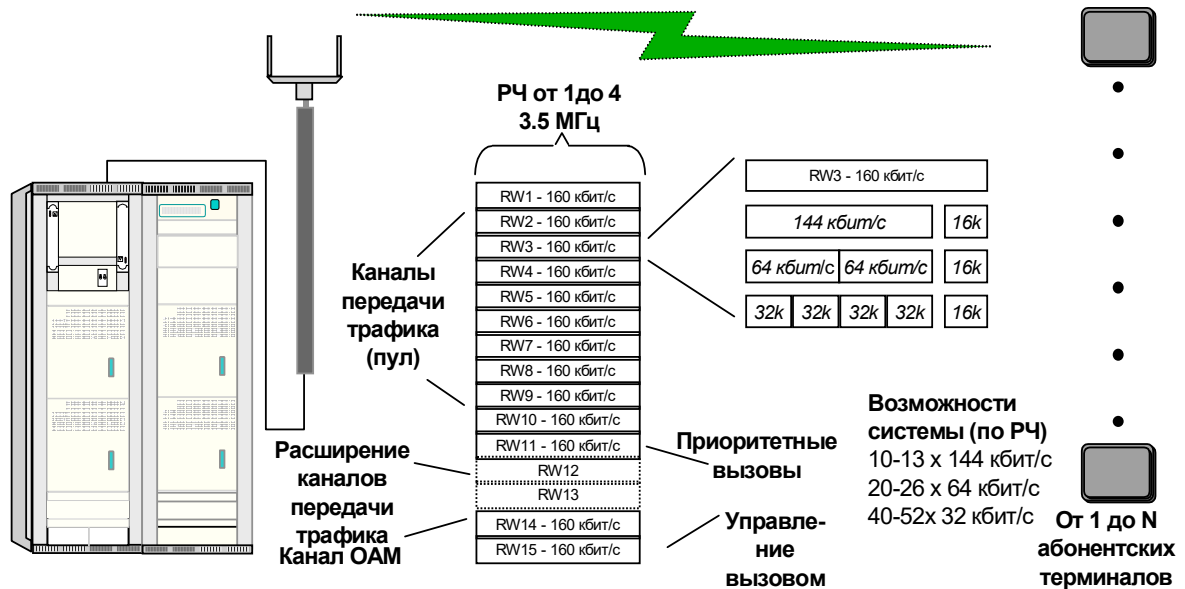


Рис. 2.10.

Осуществляется динамическое управление пулом, так что по требованию могут быть доступны каналы 32, 64 и 144 кбит/с. Объем пула трафика устанавливается автоматически и динамично, в зависимости от характеристик радио интерфейса и необходимого уровня сервиса, на основе контроля уровня шума доступа. Пул каналов трафика может быть увеличен, если позволяет уровень интерференции, или снижен, в случае, если шум доступа слишком велик. Протокол доступа по требованию может также поддерживать один или много приоритетных каналов, которые предоставляют гарантированный доступ для срочных вызовов. Каналы, предназначенные для трафика, собираются в пул и конфигурируются как 10 – 13 по 144 кбит/с, 20 – 26 по 64 кбит/с или 40 – 52 по 32 кбит/с. Две линии зарезервированы за функциями обслуживания и управления вызовами.

Каждая линия использует главный код Радемахера-Уолша для обеспечения канала 160 кбит/с. Затем эти линии подразделяются, используя коды Радемахера-Уолша 2 уровня, что позволяет организовать дробные линии 2 x 80 кбит/с или 4 x 40 кбит/с с сохранением той же самой спектральной плотности. Затем из линий 160 кбит/с, 80 кбит/с или 40 кбит/с формируются каналы трафика.

Абонентские терминалы устанавливают соединение с центральным терминалом через линию контроля вызовов, используя протокол, похожий на "Ethernet". Все абонентские терминалы непрерывно опрашиваются и регулярно получают информацию о свободных каналах трафика и их характеристиках (т.е. 144 кбит/с, 64 кбит/с или 32 кбит/с).

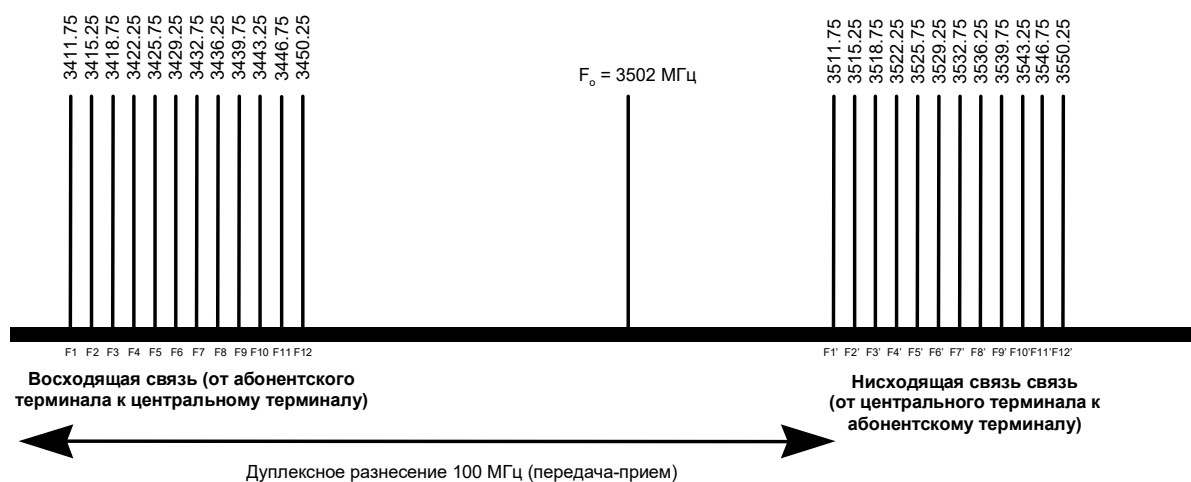
Абонентские терминалы отслеживают свободные каналы трафика для получения быстрого соединения. Когда абоненты снимают трубку, абонентский терминал запрашивает канал трафика из свободного пула. Центральный терминал инструктирует абонентский терминал о занятии определенного канала, если это позволяет шум доступа. Проектирование трафика осуществляется с помощью системы управления, которая позволяет программировать следующие параметры:

- минимальное / максимальное количество каналов трафика
- количество каналов доступа
- тип протокола доступа по требованию
- допустимый коэффициент ошибок
- допустимый порог блокировки вызова
- количество приоритетных каналов.

Система AS4000 работают в различных частотных диапазонах согласно рекомендациям ITU-R и ETSI для диапазонов 2 ГГц и 3 ГГц. Частотные планы, доступные для работы в специальных полосах (см. приложение А) работают в следующих частотных диапазонах:

- 2.0-2.3 ГГц, в соответствии с рекомендацией 13-01E СЕРТ/ЕРС, приложение С, с дуплексным разносом 175 МГц
- 2.3-2.5 ГГц, в соответствии с рекомендацией 746 ITU-R, с дуплексным разносом 94 МГц
- 3.4-3.6 ГГц, в соответствии с рекомендацией 14-03Е СЕРТ/ЕРС (Турку 1996), с дуплексным разносом 100 МГц.

Ниже – для примера – приведен один из частотных планов (рис. 2.11), используемый, в частности, оборудованием, развернутым в России.



- ◆ СЕРТ / ERC / Rec. 14-03E (Турку, 1996)
 - Разделение полосы по каналам 3,5 МГц, дуплексное разнесение 100 МГц
 - Схема 'X1' реализует нижние 12 из 25 радиочастотных каналов

Рис. 2.11.

Основные технические характеристики системы:

Технология радио интерфейса	Множественный доступ с кодовым разделением и прямым расширением спектра
Радиус зоны покрытия	В городе 2-5 км В пригороде 5-10 км В сельской местности 15-25 км
Абонентская емкость	26x64 кбит/с или 52x32 кбит/с на 1 радиочастотный канал, обычно 2000 линий на 1 центральный терминал при среднем трафике 70 мЭрл и вероятности блокировки 0,01
Частоты	Частотные планы лежат в диапазоне от 1,35 до 4.0 ГГц в соответствии с рекомендациями ITU-R и СЕРТ для стационарных служб доступа
Повторное использование частот	коэффициент повторения от N=3 для круговых сот до N=1 для секторизованных сот
Выходная мощность передатчиков	+ 21 дБм на 1 канал для ЦТ и АТ
Вид модуляции	Квадратурная/относительная квадратурная ФМ
Коэффициент ошибок	не более 10^{-7}
Чувствительность	– 98 дБм (при полной загрузке)
Коэффициенты	+10 дБи – круговая антенна

усиления антенн	+ 16,5 дБи – секторная антенна 65° + 10 дБи – направленная антенна АТ 30°
Задержка передачи	не более 1 мс (в канале 64 кбит/с)
Сетевые интерфейсы	Двухпроводные аналоговые линии или 2 Мбит/с (E1) по Рекомендации G.703/704, 10/100BaseT-Ethernet
Сигнализация	КАС в тайм-слоте 16, V5.1 и V5.2
Абонентские интерфейсы	Аналоговая двухпроводная телефония, базовый доступ к ISDN (интерфейс S0), 2 Мбит/с G.703 (опционально X.21 и V.35), 10BaseT-Ethernet
Скорости в канале	128 кбит/с, 64 кбит/с (ИКМ), n x 64 кбит/с, программно конфигурируемая 32 кбит/с, 512/128 кбит/с Ethernet

2.4.2. WipLL – ШИРОКОПОЛОСНАЯ IP ПЛАТФОРМА БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА

Данное решение предназначено для предоставления беспроводного абонентского шлейфа для обеспечения высокоскоростной передачи данных, голосовой телефонии в режиме Voice over IP (VoIP) и мультимедийных услуг. WipLL обеспечивает скорости соединения до 4 Мбит/с в лицензируемых (2.8 ГГц, 3.х ГГц) и нелицензируемых (2.4 ГГц и 5.8 ГГц) диапазонах, а также на частотах, выделенных для систем мультимедийного вещания MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Services).

Системная архитектура WipLL (рис. 2.12) базируется на трех основных элементах:

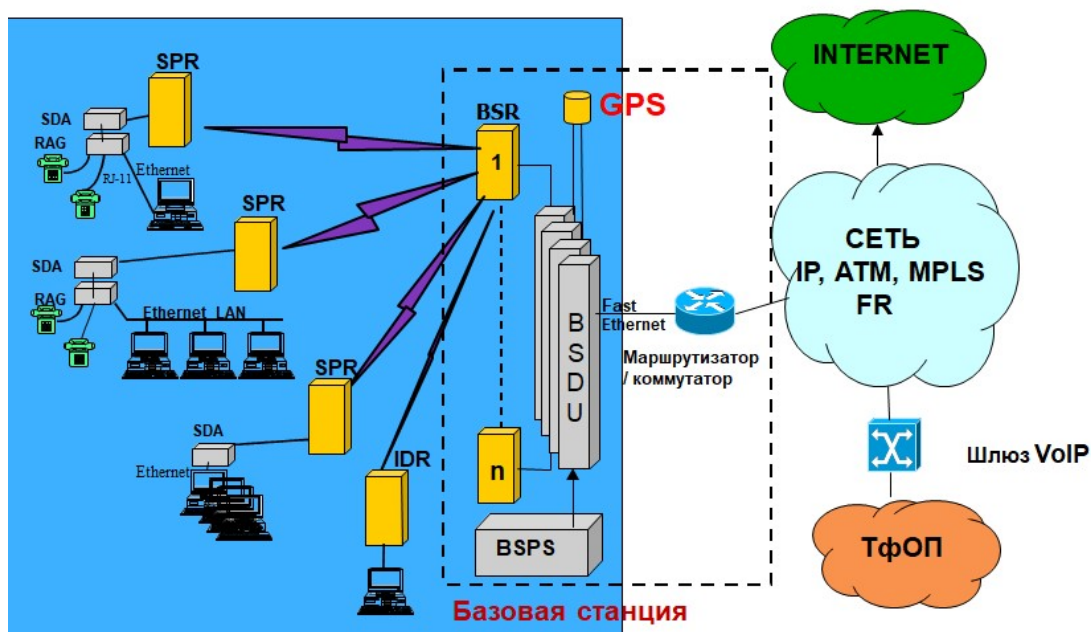


Рис. 2.12.

системе базовых станциях, состоящих из узлов доступа WipLL для обеспечения интерфейса системы WipLL с опорной сетью оператора; абонентской стороны, представляющей собой совокупность абонентского оборудования WipLL, обеспечивающего интерфейс между системой базовых станций и сетями абонентов; центра управления сетью, обеспечивающего управление всей системой WipLL по протоколу SNMP.

Базовая станция (Base Station Radio – **BSR**) представляет радиочастотный приемопередатчик, который обеспечивает беспроводное соединение между абонентом и магистралью оператора. Стандартный BSR обслуживает до 126 абонентов в 60-градусном секторе зоны покрытия. В максимальной конфигурации каждая базовая станция WipLL поддерживает 3024 абонентов. Для соединения с телефонной сетью общего пользования (ТфОП) WipLL использует шлюз IP–ТфОП. WipLL совместима с широким спектром VoIP-шлюзов сторонних производителей.



Распределительный блок базовых станций (Base Station Distribution Unit – **BSDU**) разворачивается при наличии нескольких BSR на объекте. BSDU обеспечивает BSR питанием (48 В постоянного тока), подключением к операторской магистрали, синхронизацией скачков по частоте.

Один BSDU может поддержать до 6 BSRs, а до 4 BSDU могут быть включены в последовательную цепочку для обслуживания до 24 BSR (что обеспечивает максимальную конфигурацию базового оборудования для обслуживания 3024 абонентов).

Блок питания базовых станций (Base Station Power Supply – **BSPS**) является необязательным элементом системы и используется для преобразования переменного тока в постоянный, если недоступно станционное питание, а также для резервирования функции источника питания блока BSDU. Приемник системы глобального позиционирования (Global Positioning System – **GPS**) подключается к BSDU и предназначен для синхронизации скачков по частоте, используя сигналы точного времени GPS.

Оборудование абонентской стороны состоит из:

приемо-передатчика (Subscriber Premises Radio – **SPR**), связанного по радио каналу скоростью до 4 Мбит/с базовой станцией,



и Ethernet концентратора WipLL (адаптера абонентских данных **SDA** – Subscriber Data Adapter), который осуществляет соединение с компьютером или сетью абонента и обеспечивает электропитание (-48 В постоянного тока) блока SPR.



Обычно SDA устанавливается внутри помещения абонента и соединяется кабелем с SPR, размещаемым снаружи здания в месте, наилучшем для обеспечения прямой видимости базовой станции. Таким образом, абонентское оборудование состоит из двух частей – внутренней и наружной.



Однако, существует внутренний абонентский терминал (Indoor Radio Adapter – **IDR**), который выполняет функции приемо-передатчика и концентратора. Он устанавливается внутри помещения (обычно на столе или крепится к стене) и использует внешнюю антенну (любую, подходящую по характеристикам), располагаемую вне здания – на крыше или мачте.

Резидентный шлюз (Residential Gateway – **RGW**) является опциональным устройством – для поддержки услуги VoIP на абонентской стороне. RGW подключается к 10BaseT порту SDA и обеспечивает два порта для

подключения обычных телефонных аппаратов и два порта LAN, один – для компьютера/сети абонента, другой – для подключения к SDA.

Радио интерфейс WipLL использует технологию расширения спектра методом скачков по частоте (Frequency Hopping Spread Spectrum – FHSS), при которой сигнал, подлежащий передаче, передается в полосе частот, значительно превосходящей по ширине минимально необходимую для передачи информации полосу сигнала. При этом энергия изначально сосредоточенная в узкой полосе распределяется по нескольким частотным каналам в более широком электромагнитном спектре рис. 2.13.

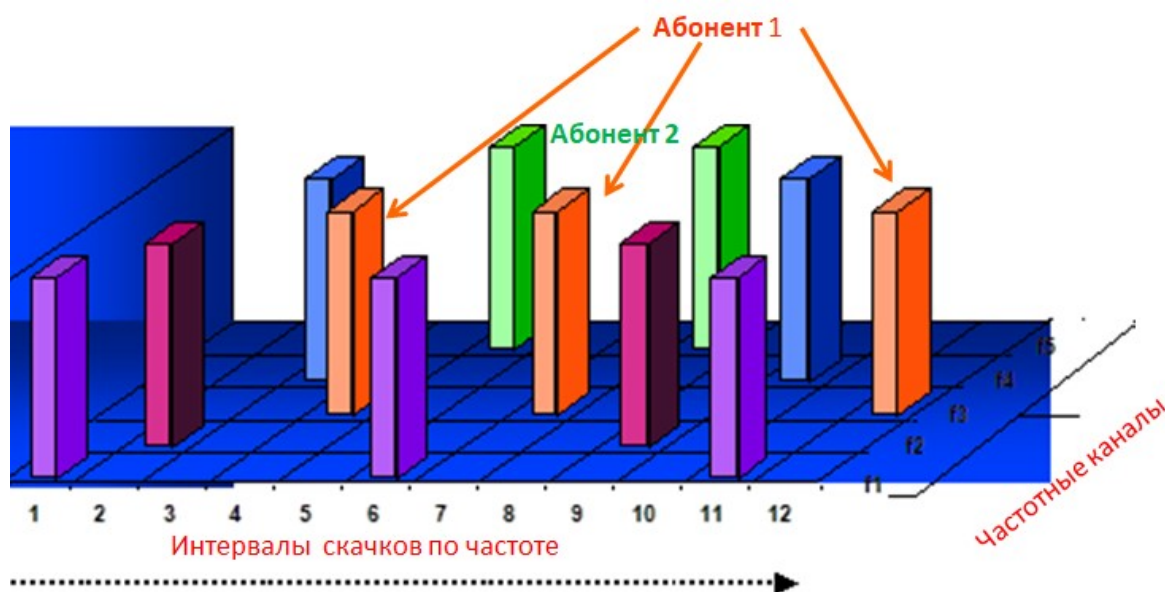


Рис. 2.13.

Достигается это переключением частот передатчика (скачками) между набором доступных частот по определенному алгоритму. Переключение частоты передатчика синхронизируется с изменением настройки приемника. Таким образом, информация передается порциями на разных частотных каналах. В системе WipLL такие переключения частот происходят 20 раз в секунду. Рис 2.13 иллюстрирует также кодовое уплотнение каналов, которое при технологии FHSS достигается формированием ортогональных последовательностей переключения частот различных абонентов – когда ни один частотный подканал (полосой 1 МГц) не задействуется одновременно для передачи информации разных абонентов. В системе WipLL задействуется до 64 таких последовательностей, использующих до 80 частотных подканалов. В таблице ниже приведен пример организации 6 ортогональных последовательностей из 7 подканалов.

№ последовательности	Подканал						
	0	1	2	3	4	5	6
1	0	1	2	3	4	5	6
2	0	2	4	6	1	3	5

№ последовательности	Подканал						
	0	3	6	2	5	1	4
3	0	3	6	2	5	1	4
4	0	4	1	5	2	6	3
5	0	5	3	1	6	4	2
6	0	6	5	4	3	2	1

Доступ к среде передачи в системе WipLL реализуется проприетарным протоколом MAC слоя под названием PPMA (Preemptive Polling Multiple Access) – множественный доступ с опросом по преимуществу – который определяет приоритетность обслуживания абонентов и приложений и обеспечивает высокую эффективность использования радиоканала. Порядок выделения ресурсов при обслуживании различных приложений разных абонентов схематично отражен на рис. 2.14.

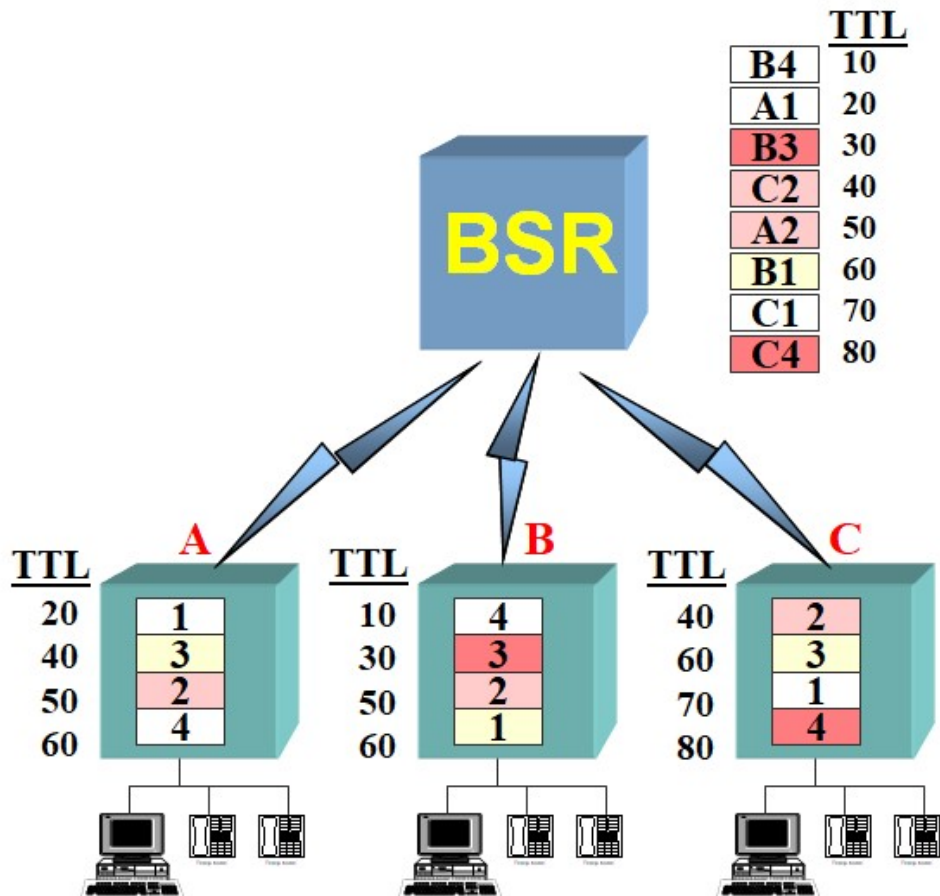


Рис. 2.14.

Пакетам абонентских терминалов А, В и С присваиваются приоритеты на основе их TTL – time to live (времени жизни), в соответствии с которыми они обрабатываются. Таким образом, различные приложения каждого терминала формируются в очередь. Данные об очередях терминалов при опросе их центральным координатором (BSR) формируют общую очередность предоставления доступа к радиоканалу.

Функция AutoConnect (автоматического подключения) абонентских терминалов WipLL позволяет выполнять роуминг между BSR по критерию мощности сигнала, либо подключаться к определенному BSR.

Основные технические характеристики системы:

	2.4 ГГц	3.5 ГГц
Спецификация радио интерфейса		
Полоса частот	2400 – 2500 МГц	3400 – 3800 МГц
Дуплекс	TDD	FDD (дуплексный разнос 50 или 100 МГц) (TDD – опция)
Технология радиодоступа	FH - CDMA	FH - CDMA
Выходная мощность	26 дБм	26 дБм
Разнос подканалов	1 МГц	1 МГц
Модуляция	Многоуровневая (2, 4 или 8) ЧММС	Многоуровневая (2, 4 или 8) ЧММС
Чувствительность приемника (при коэффициенте битовой ошибки 10^{-6} для 2-/4-/8- FSK)	-90 / -83 / -75 дБм	-90 / -83 / -75 дБм
Производительность	До 4 Мбит/с на радиоканал или абонентский терминал До 96 Мбит/с на базовую станцию	До 4 Мбит/с на радиоканал или абонентский терминал До 96 Мбит/с на базовую станцию
Дальность связи	Превышает 20 км	Превышает 15 км
Абонентских терминалов на радиоканал	126	126